

Digestibilidad proteica de semillas de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) sometidas a cocción tradicional

Protein digestibility of Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) seeds subjected to traditional cooking

Victor Delgado-Soriano^{1*}, Paola Cortés-Avendaño², Américo Guevara-Pérez³ y Carlos Vélchez-Perales⁴

Resumen

Se determinó la digestibilidad proteica de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) después del proceso de cocción tradicional. Las semillas procesadas fueron secadas, molidas e incorporadas en dietas isoproteicas e isocalóricas para su evaluación con ratas Holtzman. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía con la prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar diferencias significativas ($p < 0,05$) en los valores de composición proximal y un análisis de correlación entre consumo de proteína/ganancias de peso y consumo de alimento/ganancia de peso. Se obtuvo un valor de proteína de 20,58 en las semillas de pajuro cocidas, y valores de 25,89, 2,97 y 45,56 para consumo de alimento, ganancia de peso y tasa de crecimiento específica, respectivamente. Respecto a los indicadores de calidad proteica se obtuvo un balance de nitrógeno positivo con un valor de 0,19, valor biológico de 65,52%, digestibilidad aparente de 67,44% y digestibilidad verdadera de 76,74%; asimismo, teniendo en cuenta la presencia de aminoácidos azufrados como limitantes, se determinó un valor de 0,36 para el cómputo teórico de aminoácidos, un cómputo teórico de aminoácidos corregido en función de la digestibilidad de 28 y un cómputo teórico de aminoácidos esenciales digestibles de 26. Estos resultados colocan a la cocción tradicional como un proceso tecnológico que facilita el consumo de las semillas de pajuro producido en los andes tropicales, mejorando de esta manera su aprovechamiento y satisfacción de las necesidades del consumidor; sin embargo, resulta necesaria la complementación con otras fuentes alimentarias proteicas o incorporación de aminoácidos sintéticos para suplir la presencia de aminoácidos limitantes.

Palabras clave: Digestibilidad, valor biológico, nitrógeno retenido, conversión alimenticia, pajuro.

Abstract

The protein digestibility of pajuro seeds (*Erythrina edulis* Triana) was determined after the conventional cooking process. The processed seeds were dried, ground and incorporated into isoproteic and isocaloric diets for evaluation with Holtzman rats. The results were expressed in terms of means and standard deviations. A one-way analysis of variance (ANOVA) was performed with Tukey's multiple comparison test to determine significant differences ($p < 0.05$) in the proximal composition values and a correlation analysis between protein consumption / gains weight and feed intake / weight gain. A protein value of 20.58 was obtained in the cooked straw seeds, and values of 25.89, 2.97 and 45.56 for feed consumption, weight gain and specific growth rate respectively. Regarding the protein quality indicators, a positive nitrogen balance was obtained with a value of 0.19, biological value of 65.52%, apparent digestibility of 67.44% and true digestibility of 76.74%; likewise, taking into account the presence of sulfur amino acids as limiting factors, a value of 0.36 was determined for the theoretical count of amino acids, a theoretical count of amino acids corrected for digestibility of 28 and a theoretical count of digestible essential amino acids of 26. These results place traditional cooking as an alternative to facilitate the consumption of pajuro seeds produced in the tropical Andes, thus improving its use and satisfaction of consumer needs; however, supplementation with other food sources or incorporation of synthetic amino acids is necessary to replace the presence of limiting amino acids.

Keywords: Digestibility, biological value, nitrogen retained, feed conversion, pajuro.

Recibido: 11/01/2022

Aceptado: 20/04/2022

Publicado: 28/03/2022

Seccion: Artículo original

*Autor correspondiente: vdelgado@lamolina.edu.pe

Introducción

El conocimiento sobre la seguridad alimentaria y el desafío de una población mundial en constante crecimiento, amplían el interés en las proteínas de origen vegetal de alta calidad (Burgos-Díaz *et al.*, 2019). Dentro de ellas, las fuentes proteicas no convencionales, vienen tomando importancia por sus beneficios en la salud y la sostenibilidad ambiental (Pihlanto *et al.*, 2017).

Pajuro (*Erythrina edulis* Triana), un producto de gran importancia alimentaria para poblaciones asentadas en los andes tropicales de Sudamérica (Bolivia, Perú, Ecuador, Colombia y Venezuela), es la única especie comestible

dentro del género *Erythrina* (Velásquez *et al.*, 2019); no

¹ Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9625-5424>

² Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7622-8894>

³ Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2767-2726>

⁴ Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. Av. La Universidad s/n. La Molina, Lima, Perú.

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4757-527X>

Como citar: Delgado-Soriano, V., Cortés-Avendaño, P., Guevara-Pérez, A. y Vélchez-Perales, C. (2022). Digestibilidad proteica de semillas de Pajuro (*Erythrina edulis* Triana) sometidas a cocción tradicional. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 24(2), 75-83. DOI: <https://doi.org/10.18271/ria.2022.333>



obstante, se encuentra poco difundida dentro de las zonas urbanas o como producto industrializado (Villafuerte *et al.*, 2019). Las semillas de pajuro son una fuente importante de proteínas (16 – 25%) (Escamilo, 2012; Intiquilla *et al.*, 2016) y a menudo se consumen después de cocinarlas como semillas enteras; asimismo, son destinadas para la alimentación animal (forraje) y en la recuperación del contenido de nitrógeno del suelo (Velásquez *et al.*, 2019).

La incorporación de proteínas a la dieta a partir de fuentes no convencionales requiere el uso de técnicas para mejorar y evaluar su digestibilidad y biodisponibilidad comúnmente afectadas por la presencia de factores antinutricionales (Nosworthy *et al.*, 2017; Sá *et al.*, 2019). Para reducir la concentración y/o actividad de dichos factores, la cocción permite lograr importantes resultados nutricionales en las leguminosas (Alonso *et al.*, 2000; Frias *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2019). Por otro lado, para evaluar la digestibilidad y la biodisponibilidad de las proteínas se dispone de técnicas *in vivo* basadas en el balance de nitrógeno, empleando animales experimentales, siendo las más utilizadas, la utilización neta de la proteína (UNP), valor biológico (VB) y balance de nitrógeno (BN) (Hughes *et al.*, 2011; Jin *et al.*, 2014; Hooper *et al.*, 2019); todas ellas basadas en determinar el nivel mínimo de ingesta de proteína necesaria para compensar las pérdidas de nitrógeno corporal, proporcionando la base estructural y funcional para el mantenimiento y crecimiento del organismo (Berryman *et al.*, 2018).

En la literatura es posible encontrar resultados de investigaciones que proporcionan información sobre la composición química de las semillas de pajuro (Delgado-Soriano *et al.*, 2020), obtención de péptidos bioactivos (Guerra-Almonacid *et al.*, 2019), hidrolizados proteicos (Villafuerte *et al.*, 2019) y evaluación de la calidad proteica *in vivo* mediante la relación de eficiencia proteica (PER) (Pérez, 1979), la misma que subestima la calidad de la proteína de un alimento destinado al consumo humano (Marinangeli y House, 2019). Sin embargo, no existe información científica sobre el efecto del procesamiento de cocción tradicional sobre la digestibilidad de la proteína de las semillas de pajuro.

En este contexto, el objetivo de la investigación fue determinar el efecto del proceso de cocción tradicional sobre la digestibilidad de la proteína de las semillas de pajuro.

Materiales y métodos

Materia prima

Se emplearon semillas maduras de pajuro (Figura 1), obtenidas del distrito de Jesús (latitud 7°14'S, longitud 78°23'O, 2564 m.s.n.m.) de la Provincia de Cajamarca, Departamento de Cajamarca, Perú.



Figura 1. Semillas de pajuro.

Acondicionamiento y cocción de las semillas

Las semillas fueron seleccionadas en base al color de la cáscara (marrón-guinda), característico de las semillas maduras, separando las que presentaron color verde y signos de inicio de deterioro avanzado, posteriormente las semillas fueron lavadas y desinfectadas con una solución de hipoclorito de sodio a 100 ppm de cloro libre residual por 5 minutos.

La cocción se realizó empleando el método tradicional a presión atmosférica, teniendo en cuenta la relación de agua semillas de 3:1, por 30 minutos (López y Bressani, 2008). Después de la cocción, las semillas fueron drenadas, secadas a 50 °C por 24 horas y molidas para su incorporación en la dieta experimental.

Métodos de Análisis

Análisis proximal

La humedad, ceniza, proteína cruda (% N x 6,25), extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno se determinaron de acuerdo a lo establecido por AOAC (2005); el contenido energético fue calculado usando los factores de conversión de Atwater (Hussein *et al.*, 2018).

Análisis biológicos

Dietas experimentales y condiciones de alimentación

La dieta experimental fue formulada según requerimientos establecidos para animales de laboratorio (NRC, 1995), en la cual el 10 % del aporte proteico provenía de la harina de semillas de pajuro cocidas, tal como se describe en la Tabla 1.

Tabla 1. Composición de la dieta experimental a base de semillas cocidas.

Ingredientes	g/Kg
Harina de semillas de pajuro	527,7
Mezcla de minerales ¹	40,0
Mezcla de vitaminas ²	50,0
Maicena	148,6
Manteca vegetal	82,0
Azúcar	115,3
Fibra	36,4
Valor nutritivo calculado:	
Energía metabolizable (Kcal/g)	3,80
Proteína total (%)	10,2

¹Mix de minerales MP Biomedicals (AIN-76).²Mix de vitaminas MP Biomedicals (AIN-76).

Se suministraron 15 gramos de la ración formulada a cada animal experimental, realizándose la alimentación todos los días entre las 9:00 y 10:00 a.m., para evitar variaciones debidas al ritmo circadiano, asimismo, el agua de bebida durante todo el experimento fue ofrecida *ad libitum*, y cambiada cada dos días. La limpieza de los comederos de vidrio se realizó todos los días, retirando el alimento residual y material ajeno al alimento como heces ya que esto podía influir en el consumo normal de alimento.

Manejo de los animales usados en el experimento

Se utilizaron 6 ratas albinas machos de raza Holtzman con 21 días de edad, las mismas que recibieron la dieta experimental. Los animales experimentales fueron alojados en 6 jaulas metabólicas individuales, acondicionadas para la colección de heces y orina por separado. El experimento de 11 días de duración constó de dos períodos, el primer período (primeros 4 días) tuvo como objetivo acostumbrar a las ratas al manejo y al tipo de alimento, mientras que el segundo período (siguientes 7 días) fue destinado a evaluar el efecto del alimento.

Estudios de crecimiento

El consumo de alimento se determinó sobre la base de materia seca total; además, ésta se registró en forma diaria y de manera individual por jaula, mediante la diferencia de la cantidad ofrecida con la residual, a partir de lo cual se calculó el consumo de materia seca total; por otro lado, los animales fueron pesados individualmente y de manera interdiaria antes del suministro del alimento. A partir de los datos del peso corporal, se determinó la ganancia de peso total de cada animal que correspondió a la diferencia entre el peso final (a los 11 días del experimento) y el peso inicial (día 4). Los datos obtenidos para el rendimiento de crecimiento y utilización alimenticia se evaluaron calculando la ganancia de peso, tasa de crecimiento específica, relación de conversión alimenticia y tasa de supervivencia (%) (Alonso *et al.*, 2000; Monsalve *et al.*, 2007; Agengo *et al.*, 2020).

$$\text{Consumo de alimento} = \text{Alimento ofrecido (g)} - \text{Alimento residual (g)}$$

$$\text{Ganancia de peso} = \text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}$$

$$\text{Eficiencia alimenticia} = \frac{\text{Ganancia de peso (g)}}{\text{Consumo de alimento (g)}}$$

$$\text{Tasa de crecimiento específica} = \frac{[(\text{Peso final (g)} - \text{Peso inicial (g)}) / \text{Tiempo (días)}] \times 100}$$

$$\text{Tasa de supervivencia} = \frac{(\text{Número de ratas sobrevivientes por tratamiento} / \text{Número total de ratas experimentales por tratamiento}) \times 100}$$

Estudios de balance de nitrógeno

Se registraron el peso de heces y volumen de orina en forma individual durante el periodo de 7 días; posteriormente, las muestras de heces fueron secadas, molidas y mezcladas, mientras que las muestras de orina fueron mezcladas y homogenizadas, luego, en ambos casos se procedió a determinar el contenido de nitrógeno.

Considerando el consumo de nitrógeno, nitrógeno presente en heces y orina se determinó el balance de nitrógeno (BN), valor biológico aparente (VBap) y digestibilidad aparente (Dap). Partiendo de los registros tomados en la determinación de digestibilidad aparente se determinó la digestibilidad verdadera (Dv) teniendo en cuenta el valor determinado con el grupo de 6 ratas alimentadas con la dieta libre de proteína, permitiendo de esta manera valorar la excreción de nitrógeno fecal (FAO/WHO/UNU, 2007).

$$\text{BN} = \text{Nitrógeno ingerido (g)} - [\text{Nitrógeno fecal (g)} + \text{Nitrógeno urinario (g)}]$$

$$\text{VBap} = \frac{[(\text{Nitrógeno ingerido (g)} - (\text{Nitrógeno fecal (g)} + \text{Nitrógeno urinario (g)}))] \times 100}{\text{Nitrógeno ingerido (g)} - \text{Nitrógeno fecal (g)}}$$

$$\text{Dap} = \frac{[(\text{Nitrógeno ingerido (g)} - \text{Nitrógeno fecal (g)}) / \text{Nitrógeno ingerido (g)}] \times 100}$$

$$\text{Dv} = \frac{[(\text{Nitrógeno ingerido (g)} - (\text{Nitrógeno fecal (g)} - \text{Nitrógeno fecal endógeno (g)}))] \times 100}{\text{Nitrógeno ingerido (g)}}$$

Cómputo teórico de aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína (PDCAAS - teórico)

Se determinó el PDCAAS – teórico, que fue calculado como:

$$\text{PDCAAS} = \text{Digestibilidad verdadera} \times \text{Cómputo de aminoácidos}$$

El cómputo de aminoácidos fue determinado expresando el contenido del primer aminoácido esencial limitante de la proteína de prueba como un porcentaje del contenido del mismo aminoácido en un patrón de referencia

(FAO/WHO, 1991), considerando el requerimiento de aminoácidos de niños de 2 – 5 años de edad.

Cómputo teórico de aminoácidos esenciales digestibles (DIAAS - teórico)

El DIAAS – teórico fue calculado usando el patrón de referencia de aminoácidos para niños de 6 meses a 3 años de edad (FAO/WHO, 2013), que fue usado en conjunción con la siguiente ecuación.

$$\text{DIAAS} = 100 \times \left[\frac{\text{mg del aminoácido esencial digestible del alimento en 1 g de la proteína del alimento}}{\text{mg del mismo aminoácido en 1 g de la proteína de referencia}} \right]$$

La digestibilidad verdadera empleada para PDCAAS fue empleada para determinar DIAAS en lugar de la digestibilidad ileal. Aunque la FAO/WHO recomiendan que la digestibilidad debería basarse en la digestibilidad ileal verdadera de los aminoácidos individuales, existe un reconocimiento que hasta que se desarrolle un conjunto de datos de digestibilidad ileal verdadera, debe usarse la digestibilidad fecal para la determinación de los valores DIAAS (FAO/WHO, 2013).

Para la determinación de PDCAAS y DIAAS teóricos, se tuvo en cuenta el perfil de aminoácidos reportado por Intiquilla *et al.* (2016) en semillas de pajuro.

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron en términos de medias y desviaciones estándar. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía con la prueba de comparación múltiple de Tukey para determinar diferencias significativas ($p < 0,05$) entre las observaciones obtenidas en la comparación proximal de las semillas crudas y cocidas. La correlación entre consumo de proteína/ganancias de peso y consumo de alimento/ganancia de peso fueron determinados vía análisis de regresión lineal empleando el software GraphPad Prism 6,0 y los demás análisis estadísticos se realizaron con el Software Stathgraphics Centurion XV.

Resultados

Análisis proximal

La composición proximal y valor energético son presentados en función a la materia seca, tal como se aprecia en la Tabla 2.

Tabla 2. Análisis proximal y energético de las semillas crudas y cocidas (100% base seca).

Componentes	Semillas crudas	Semillas cocidas
Materia seca (%)	86,92	91,14
Proteína cruda (%)	21,10±0,12 ^a	20,58±0,49 ^b
Extracto etéreo (%)	0,54±0,02 ^a	0,47±0,02 ^a
Fibra cruda (%)	2,86±0,03 ^a	2,83±0,07 ^a
Ceniza (%)	4,91±0,19 ^a	4,51±0,06 ^a
Extracto libre de nitrógeno (%)	70,59±0,20 ^a	71,61±0,64 ^b
Materia orgánica (%)	95,09	95,49
Valor energético (Kcal)	372	373

Resultados expresados como el promedio ± DS.

^{a, b} letras diferentes en la misma fila indican diferencia estadística ($p < 0,05$).

El porcentaje de proteína cruda, fue significativamente diferente entre las muestras crudas y cocidas ($p < 0,05$), siendo mayor para el caso de las semillas crudas. Así mismo, se evidenció diferencias significativas ($p < 0,05$) para el porcentaje de carbohidratos de las semillas crudas y cocidas; mientras que los valores de extracto etéreo, fibra cruda y ceniza no presentaron diferencias significativas ($p > 0,05$).

Estudios de crecimiento

Los resultados sobre la respuesta alimenticia de las dietas basadas en semillas cocidas se presentan en la Tabla 3, observándose resultados positivos para consumo de alimento, ganancia de peso y tasa de crecimiento específica.

Tabla 3. Performance del crecimiento y utilización de la dieta a base de semillas cocidas.

Parámetros de evaluación	Valor ¹
Consumo de alimento (g/rata)	25,89±2,16
Ganancia de peso (g/rata)	2,97±1,17
Tasa de crecimiento específica (%)	45,56±21,34
Eficiencia alimenticia	0,12
Tasa de supervivencia (%)	100

¹Resultados expresados como el promedio ± DS.

Se obtuvo un valor de 0,12 para eficiencia alimenticia con las semillas cocidas y una tasa de supervivencia de 100%, lo que significa que todos los animales experimentales sobrevivieron

Se observó una correlación positiva entre el consumo de alimento y la ganancia de peso, así como en

el consumo de proteína y ganancia de peso de los animales experimentales, tal como se muestra en la Figura 2.

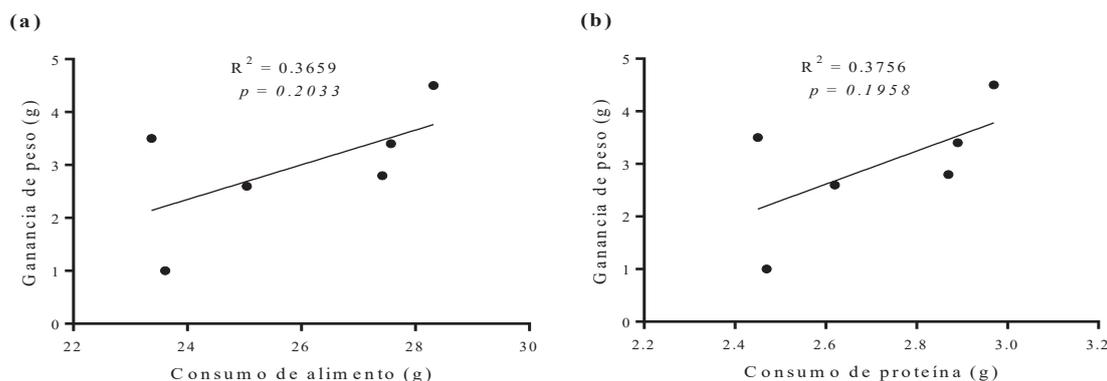


Figura 2. (a) Relación entre ganancia de peso y alimento consumido; (b) Relación entre ganancia de peso y proteína consumida.

Estudios de balance de nitrógeno, PDCAAS – teórico y DIAAS - teórico

Los resultados correspondientes y derivados del balance de nitrógeno, así como los que implican la composición de aminoácidos, presentaron resultados positivos (Tabla 4).

Tabla 4. Bio-utilización de las semillas de pajuro cocidas

Mediciones	Valores ¹
Ingesta	
Ingesta de alimento (g)	25,89±2,16
Nitrógeno ingerido (g)	0,43±0,03
Heces	
Excreción fecal (g)	6,06±1,48
Nitrógeno fecal (g)	0,14±0,03
Orina	
Excreción urinaria (ml)	15,74±5,67
Nitrógeno urinario (g)	0,10±0,03
BN (g)	0,19
VBap (%)	65,52
Dap (%)	67,44
Dv (%)	76,74
CAAS- teórico	0,36
PDCAAS - teórico (%)	28
DIAAS - teórico (%)	26

BN: Balance de nitrógeno; VBap: Valor biológico aparente; Dap: Digestibilidad aparente; Dv: Digestibilidad verdadera; CAAS - teórico: Cómputo teórico de aminoácidos; PDCAAS- teórico: Cómputo teórico de aminoácidos corregido por la digestibilidad de la proteína; DIAAS - teórico: Cómputo teórico de aminoácidos esenciales digestibles.

¹Resultados expresados como el promedio ± DS.

El valor correspondiente a la Dv de las semillas cocidas, refleja una diferencia respecto a los valores de Dap, tras realizar la corrección de los resultados considerando el nitrógeno endógeno generado por el grupo de ratas alimentadas con la dieta aptoteica.

Discusión

Análisis proximal

Los valores reportados se encuentran dentro de los rangos mencionados por Velásquez *et al.* (2019) para semillas de pajuro.

Alimentos con alto contenido proteico sometidos a tratamientos térmicos, conducen a la formación de enlaces cruzados covalentes isopeptídicos, reacción de Maillard, oxidación de aminoácidos y desaminación, afectando así el valor nutricional y el contenido de nitrógeno total, lo que pudo reflejarse para el caso de las semillas cocidas (da Silva Teba *et al.* 2017). De igual forma, teniendo en cuenta los valores de proteína cruda, se puede calificar a las semillas de pajuro como “excelente fuente de proteínas” bajo el sistema empleado en la Unión Europea, cuyo principal requisito exige que más del 20% de la energía provenga de la proteína cruda (Nosworthy *et al.*, 2017).

Estudios de crecimiento

Respecto a la ganancia de peso, Apaza (2019) determinó valores de -4,40, 10,63, 12,77 y 24,75 en galletas cuya fuente de proteínas provenía de harinas de trigo, quinua, cañihua y tarwi, respectivamente, en un experimento de 42 días de duración; teniendo en cuenta estos valores, la ganancia de peso obtenida por las semillas de pajuro cocidas ($2,97 \pm 1,17$), puede ser considerada como buena, considerando que este valor se obtuvo en un período de siete días.

Aunque los valores presentaron una correlación positiva entre el consumo de alimento y ganancia de peso, se determinó un bajo coeficiente de determinación ($R^2 = 0,3659$), lo que sugiere que la variabilidad de 36,59% en

la ganancia de peso puede ser explicada por el valor de alimento consumido. Del mismo modo entre el consumo de proteína y la ganancia de peso, donde las semillas cocidas presentaron un coeficiente de determinación bajo ($R^2 = 0,3756$), lo que sugiere que la variabilidad del 37,56% en la ganancia de peso pueden ser explicadas por los valores de proteína consumida.

Estudios de balance de nitrógeno

Teniendo en cuenta el nitrógeno ingerido, nitrógeno fecal y nitrógeno urinario (Tabla 4), se puede observar un BN positivo. Como se mencionó anteriormente, se dispone de poca información sobre la calidad biológica de una dieta complementada con semilla de pajuro; por lo tanto, los resultados se comparan con otros granos y legumbres que tienen similitud en términos de composición, como los frejoles. Al respecto, Santoro *et al.* (1999) señalan que la faseolina, principal proteína de almacenamiento en los frejoles, estimula la secreción de nitrógeno en ratas.

El VBap obtenido fue superior a 58,1% reportado por Frias *et al.* (2011) en muestras de alverjas crudas y 50,6% en alverjas extruidas a 129 °C.

La Dap presentó un valor cercano al determinado por Díaz (1999) quien reportó valores de 64,7% y 62,8% en muestras de frejol blanco y frejol negro, respectivamente, remojadas y cocidas previamente.

La Dv muestra un valor cercano al reportado por la FAO/WHO/UNU (2007), quienes indican un valor de 78% para frejoles y cercano a lo reportado por Nosworthy *et al.* (2017) quienes determinaron un valor de 76,23% en muestras de frejol pinto sometido a cocción.

PDCAAS – teórico y DIAAS - teórico

El cómputo de aminoácidos teórico presenta como primer aminoácido limitante a los aminoácidos azufrados (metionina y cisteína) con una puntuación de 0,36; valor que resultó inferior a los determinados por Nosworthy *et al.* (2018) quienes reportaron valores entre 0,66 a 0,92 en muestras de frejol y haba sometidas a cocción y extrusión, respectivamente.

Desde un punto de vista nutricional, las proteínas de almacenamiento como albúminas y globulinas solubles en agua, que representan el 40 – 50% de la proteína total en las legumbres crudas y cocidas, presentan un bajo contenido de aminoácidos azufrados y una mala digestión, lo que se traduce en un valor nutritivo limitado y bajo valor biológico en condiciones crudas; además, es posible que el procesamiento térmico interactúe con las fracciones proteicas de una manera única, lo que resulta en diferentes

composiciones de aminoácidos en el producto final (Nosworthy *et al.*, 2018).

El valor obtenido en PDCAAS – teórico, resultó inferior a lo determinado en otras legumbres como 66% en muestras de alverjas (Frias *et al.*, 2011) y 53% en frejoles negros (Nosworthy *et al.*, 2017).

Respecto al DIAAS – teórico, se obtuvo un valor inferior a 39% reportado por Nosworthy *et al.* (2017) para harina de frijol pinto horneado. Las diferencias entre estos estudios destacan aún más el impacto potencial de la variedad y lugar de procedencia en la calidad general de la proteína de las legumbres. En general, los valores de PDCAAS son mayores que valores de DIAAS, porque este último requiere el uso de un patrón de referencia diferente, es así que un aumento en el requerimiento de aminoácidos azufrados de 25 mg/g de proteína en PDCAAS a 27 mg/g de proteína en DIAAS resultará en valores de DIAAS más bajos en comparación con los valores obtenidos en PDCAAS para aquellas fuentes de proteínas que presenten a los aminoácidos azufrados como limitantes.

Teniendo en cuenta lo descrito por Escobar-Mamani *et al.* (2020), los resultados aportan de manera significativa al desarrollo tecnológico sobre el aprovechamiento de un recurso oriundo de los Andes Amazónicos; lo que a su vez, de acuerdo a lo mencionado por Haller y Branca (2020) puede estar considerado como montaña.

Conclusiones

La cocción tradicional no modifica significativamente la composición proximal de las semillas de pajuro.

Las semillas cocidas presentaron balance de nitrógeno similares a otras legumbres; sin embargo, presentaron valores inferiores al realizar la valoración teórica de la proteína en función de los aminoácidos limitantes corregidos por digestibilidad.

La cocción tradicional sigue siendo una buena alternativa para facilitar el consumo de las semillas; asimismo, para mejorar su calidad proteica se recomienda la complementación con otras fuentes alimentarias proteicas o la incorporación de aminoácidos sintéticos en la formulación de alimentos para consumo humano y/o animal.

Finalmente, el conocimiento generado permitirá fortalecer el desarrollo de tecnologías de aprovechamiento industrial de las semillas de pajuro producido en los Andes Amazónicos del Perú, con el fin de consolidar e incrementar su cultivo y el desarrollo de productos en el marco de actividades sostenibles y sustentables que no afecten las condiciones ambientales de la región consolidando las cadenas de valor.

Referencias

- Agengo, F., Onyango, A., Serrem, C. y Okoth, J. (2020). Efficacy of compositing with snail meat powder on protein nutritional quality of sorghum-wheat buns using a rat bioassay. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 100, 2963–2970. <https://doi.org/10.1002/jsfa.10324>
- Alonso, R., Grant, G., Dewey, P. y Marzo, F. (2000). Nutritional Assessment in Vitro and in Vivo of Raw and Extruded Peas (*Pisum sativum* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 2286–2290. <https://doi.org/10.1021/jf000095o>
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2005. Official Methods of Analysis. 18th Edition. Washington. USA.
- Apaza, M. (2019). Efecto del consumo de cultivos andinos quinua, cañihua y tarwi sobre el incremento de peso y nitrógeno retenido en ratas Wistar. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 21(3), 194–204. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.477>
- Berryman, C., Lieberman, H., Fulgoni, V. y Pasiakos, S. (2018). Protein intake trends and conformity with the dietary reference intakes in the United States: Analysis of the national health and nutrition examination survey, 2001–2014. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 108, 1–9. <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqy088>
- Burgos-Díaz, C., Opazo-Navarrete, M., Wandersleben, T., Soto-Añual, M., Barahona, T. y Bustamante, M. (2019). Chemical and Nutritional Evaluation of Protein-Rich Ingredients Obtained through a Technological Process from Yellow Lupin Seeds (*Lupinus luteus*). *Plant Foods for Human Nutrition*, 74(4), 508–517. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00768-0>
- da Silva Teba, C., da Silva, E., Chávez, D., de Carvalho, C. y Ascheri, J. (2017). Effects of whey protein concentrate, feed moisture and temperature on the physicochemical characteristics of a rice-based extruded flour. *Food Chemistry*, 228, 287–296. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.01.145>
- Delgado-Soriano, V., Cortés-Avenidaño, P., Guevara-Pérez, A. y Vilchez-Perales, C. (2020). Características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(3), 263 – 273. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.660>
- Díaz, J. (1999). Evaluación de la calidad de la proteína en cinco variedades de frejol común (*Phaseolus vulgaris*) y su relación con el contenido de taninos. Tesis para optar el grado de Magister Scientiae en Nutrición. Universidad Nacional Agraria la Molina. Lima, Perú. 132 pp.
- Escamilo, S. (2012). El Pajuro (*Erythrina edulis*) alimento andino en extinción. *Investigaciones Sociales*, 16(28), 97–104. <https://doi.org/10.15381/is.v16i28.7389>
- Escobar-Mamani, F., Branca, D. y Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 22(4), 311–312. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.191>
- FAO/WHO. (1991). Protein Quality Evaluation. Report of the Joint FAO/WHO Expert Consultation. Rome, Italy. Recuperado de <https://bit.ly/3bspwcd>
- FAO/WHO. (2013). Dietary Protein Quality Evaluation in Human Nutrition Report of an FAO Expert Consultation. Rome, Italy. Recuperado de <https://bit.ly/3ydQT41>
- FAO/WHO/UNU. (2007). Joint of Expert Consultation on Protein and Amino Acid Requirements in Human Nutrition. Geneva, Suiza. Recuperado de <https://bit.ly/3fqDvAS>
- Frias, J., Giacomino, S., Peñas, E., Pellegrino, N., Ferreyra, V., Apro, N., Olivera, M. y Vidal-Valverde, C. (2011). Assessment of the nutritional quality of raw and extruded *Pisum sativum* L. var. *laguna* seeds. *LWT - Food Science and Technology*, 44, 1303–1308. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.12.025>
- Guerra-Almonacid, C., Torruco-Uco, J., Murillo-Arango, W., Méndez-Arteaga, J. y Rodríguez-Miranda, J. (2019). Effect of ultrasound pretreatment on the antioxidant capacity and antihypertensive activity of bioactive peptides obtained from the protein hydrolysates of *Erythrina edulis*. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 31(4), 288–296. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2019.v31.i4.1938>
- Haller, A. y Branca, D. (2020). Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Journal of High Andean Research*, 22(4), 313–332. <https://doi.org/10.18271/ria.2020.193>
- Hooper, S., Glahn, R. y Cichy, K. (2019). Single Varietal Dry Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Pastas: Nutritional

- Profile and Consumer Acceptability. *Plant Foods Human Nutrition*, 74(3), 342–349. <https://doi.org/10.1007/s11130-019-00732-y>
- Hughes, G., Ryan, D., Mukherjea, R. y Schasteen, C. (2011). Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Scores (PDCAAS) for Soy Protein Isolates and Concentrate: Criteria for Evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59, 12707–12712. <https://doi.org/10.1021/jf203220v>
- Hussein, A., Hussein, M., Salama, M., Hamed, I., Fouda, K. y Mohamed, R. (2018). Formulation and Evaluation of Functional Cookies for Improving Health of Primary School Children. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 21, 401–408. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2018.401.408>
- Intiquilla, A., Jiménez-Aliaga, K., Zavaleta, A., Arnao, I., Peña, C., Chávez-Hidalgo, E. y Hernández-Ledesma, B. (2016). *Erythrina edulis* (Pajuro) Seed Protein: A New Source of Antioxidant Peptides. *Natural Product Communications*, 11(0), 1–6. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100620>
- Jin, J., Ma, H., Zhou, C., Luo, M., Liu, W., Qu, W., He, R., Luo, L. y Yagoub, A. (2014). Effect of degree of hydrolysis on the bioavailability of corn gluten meal hydrolysates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(12), 2501–2509. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6982>
- López, C. y Bressani, R. (2008). Uso del cowpea (*Vigna unguiculata*) en mezclas con frijol común (*Phaseolus vulgaris*) en el desarrollo de nuevos productos alimenticios. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 58(1), 71–80. <https://bit.ly/3tUyK85>
- Mariangeli, C. y House, J. (2019). Potential impact of the digestible indispensable amino acid score as a measure of protein quality on dietary regulations and health. *Nutrition Reviews*, 75(8), 658–667. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nux025>
- Monsalve, C., Carías, D., Cioccia, A. y Hevia, P. (2007). Efecto de un incremento en la diuresis sobre la absorción y retención de algunos nutrientes en ratas. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 41(1), 67–76. <https://bit.ly/3bwDISa>
- Nosworthy, M., Franczyk, A., Zimoch-Korzycka, A., Appah, P., Utioh, A., Neufeld, J. y House, J. (2017). Impact of processing on the protein quality of pinto bean (*Phaseolus vulgaris*) y buckwheat (*Fagopyrum esculentum Moench*) flours and blends, as determined by in vitro and in vivo methodologies. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 65(19), 3919–3925. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.7b00697>
- Nosworthy, M., Medina, G., Franczyk, A., Neufeld, J., Appah, P., Utioh, A., Frohlich, P. y House, J. (2018). Effect of processing on the in vitro and in vivo protein quality of beans (*Phaseolus vulgaris* and *Vicia faba*). *Nutrients*, 10(6), 671. <https://doi.org/10.3390/nu10060671>
- Nosworthy, M., Neufeld, J., Frohlich, P., Young, G., Malcolmson, L. y House, J. (2017). Determination of the protein quality of cooked Canadian pulses. *Food Science and Nutrition*, 5, 896–903. <https://doi.org/10.1002/fsn3.473>
- NRC, National Research Council. (1995). Nutrient Requirements of Laboratory Animals. 4th ed., Editorial National Academy Press. Washington. <https://doi.org/10.17226/4758>
- Pérez, G., Martínez, C. y Díaz, E. (1979). Evaluación de la Calidad de la proteína de la *Erythrina edulis* (Balu). VOL. XXIX No. 2. Recuperado de <https://bit.ly/3ycl3DI>
- Pihlanto, A., Mattila, P., Mäkinen, S. y Pajari, A. (2017). Bioactivities of alternative protein sources and their potential health. *Food y Function*, 8, 3443–3458. <https://doi.org/10.1039/C7FO00302A>
- Sá, A., Franco, Y. y Mattar, B. (2019). Food processing for the improvement of plant proteins digestibility. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(20), 3367–3386. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1688249>
- Sánchez, X., Corzo, L., Martínez, J., Cardador, A. y Jiménez C. (2019). Effect of thermal treatment on the extraction efficiency, physicochemical quality of *Jatropha curcas* oil, and biological quality of its proteins. *Journal of Food Science and Technology*, 56, 1567–1574. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03666-0>
- Santoro, L., Grant, G. y Pusztai, A. (1999). In vivo degradation and stimulating effect of phaseolin on nitrogen secretion in rats. *Plant Foods for Human Nutrition*, 53, 223–236. <https://doi.org/10.1023/A:1008025922615>
- Velásquez, L., Montoya, D., Jiménez, A., Murillo, W. y Méndez, J. (2019). Género *Erythrina*: actualidad en la investigación y perspectivas de desarrollo científico. *Universidad del Tolima. Tolima, Colombia*. Recuperado de <https://bit.ly/3eWzPYZ>

Villafuerte, F., Pérez, E., Mahfoud, A., Valero, Y. y Pérez, A. (2019). Obtención de hidrolizados proteicos bajos en fenilalanina a partir de suero dulce de leche y chachafruto (*Erythrina edulis* Triana). *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 69(1), 25–33. <https://bit.ly/3yf5qMN>