

Características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y propiedades funcionales después de la extrusión

Physicochemical characteristics of Pajuro seeds (*Erythrina edulis* Triana) and functional properties after the extrusion

Victor Delgado-Soriano^{1,*}, Paola Cortés-Avendaño¹, Américo Guevara-Pérez¹ & Carlos Vilchez-Perales²

¹ Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

² Facultad de Zootecnia de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

*Autor para correspondencia: vdelgado@lamolina.edu.pe

Victor Delgado-Soriano  <https://orcid.org/0000-0002-9625-5424>

Paola Cortés-Avendaño  <https://orcid.org/0000-0001-7622-8894>

Américo Guevara-Pérez  <https://orcid.org/0000-0002-2767-2726>

Carlos Vilchez-Perales  <https://orcid.org/0000-0002-4757-527X>

ARTÍCULO BREVE

INFORMACIÓN DE ARTÍCULO

Artículo recibido: 08/02/2020

Artículo aceptado: 25/06/2020

En línea: 30/07/2020

PALABRAS CLAVE:

Pajuro,
extrusión,
semillas,
legumbre,
subutilizado.

BRIEF ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 08/02/2020

Article accepted: 25/06/2020

On line: 30/07/2020

KEYWORDS:

Pajuro,
extrusion,
seeds,
legume,
underutilized.

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue determinar las características físico-químicas de las semillas de pajuro (*Erythrina edulis* Triana) y los efectos de la temperatura y humedad sobre las propiedades funcionales de las semillas extruidas. Las semillas maduras fueron acondicionadas para su caracterización físico-química y extrusión bajo tres condiciones de temperatura (110, 120 y 130 °C) y dos niveles de humedad (13 y 18%). Los resultados de las características físico-químicas se presentaron en términos de promedios y desviaciones estándar, mientras que los datos de las propiedades funcionales se sometieron a ANOVA bajo un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 3x2 y para la comparación de medias se usó la prueba Tukey ($p < 0,05$). Las semillas presentaron valores de color en la testa como L^* (27,26), a^* (8,60) y b^* (4,81), dimensiones de largo (4,35 cm), ancho (2,58 cm) y espesor (1,28 cm); asimismo, se registró un valor de 478,96 g para el peso de 100 semillas, porcentajes de cáscara (10,8%) y cotiledones (89,2%) respecto a la semilla entera, y actividad de agua (0,983) a 66% de humedad. Las semillas de pajuro extruidas a 130 °C y 13% de humedad mostraron mejores propiedades funcionales, para el índice de expansión (2,58 cm), índice de absorción de agua (7,57%) e índice de solubilidad en agua (38,85%). Las características de las semillas enteras como extruidas, colocan al pajuro como un alimento potencial para el desarrollo de nuevos productos que permitirán satisfacer las necesidades del consumidor.

ABSTRACT

The aim of the present study was to determine the physico-chemical characteristics of pajuro seeds (*Erythrina edulis* Triana) and the effects of temperature and moisture on the functional properties of extruded seeds. The mature seeds were conditioned for their physical-chemical characterization and extrusion under three temperature conditions (110, 120 and 130 °C) and two moisture levels (13 and 18%). The results of the physico-chemical characteristics were presented in terms of averages and standard deviations, while the data of the functional properties were submitted to ANOVA under a Completely Randomized Design with 3x2 factorial arrangement and for the comparison of means the Tukey's ($p < 0.05$) test was used. The seeds presented values of color in the hull like L^* (27.26), a^* (8.60) and b^* (4.81), dimensions of length (4.35 cm), width (2.58 cm) and thickness (1.28 cm); likewise, a value of 478.96 g was recorded for the weight of 100 seeds, percentages of hull (10.8%) and cotyledons (89.2%) with respect to the whole seed, and water activity (0.983) at 66% moisture. Pajuro seeds extruded at 130 °C and 13% of moisture showed better functional properties, for the expansion index (2.58 cm), water absorption index (7.57%) and water solubility index (38.85%). The characteristics of the whole seeds as extruded, place the pajuro as a potential food for the development of new products that will satisfy the needs of the consumer.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas desafíos como la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental se han ganado el estatus de prioridades en todo el mundo (Gulisano, Alves, Martins, & Trindade, 2019), frente a lo expuesto, el reto en la actualidad se enfoca en la búsqueda de fuentes alimentarias que permitan encarar la creciente demanda de alimentos, para una población que viene creciendo exponencialmente y se espera que alcance los 9,6 mil millones para el 2050 (Bessada, Barreira, & Oliveira, 2019).

Por otro lado, los cambios en las tendencias de los consumidores llevan a una transición de dietas con altos niveles de proteína animal a dietas basadas en proteínas vegetales (Jones, 2016), mostrando a las legumbres como una buena alternativa, debido a su composición de proteínas y otros nutrientes, además de su capacidad de fijar nitrógeno (Hoang, Tóth, & Stacey, 2020). Debido a estas características son vistas como responsables de la próxima generación de plantas, mantenimiento del germoplasma, diversidad y alta capacidad de producción (Sharififar, Nazari, & Asghari, 2015).

Dentro de la diversidad de especies originarias del Perú, existen algunas de importancia económica mundial y otras de importancia regional, como las semillas de pajuro que en el futuro podrían contribuir a la sostenibilidad alimentaria. Estas semillas se encuentran poco difundidas en zonas urbanas o como productos industrializados, por lo que es común encontrarlo formando cercas vivas o destinados a la alimentación animal (Villafuerte, Pérez, Mahfoud, Valero, & Pérez, 2019), características por las cuales se las clasifica como un cultivo subutilizado con popularidad en el pasado, sin embargo, hoy en día es apreciado casi exclusivamente por los productores y consumidores en el ámbito local (Leal, Alves, & Hanazaki, 2018).

Dentro de las diferentes alternativas tecnológicas para la transformación de alimentos, la extrusión es un proceso versátil, que comprende operaciones como mezclado, cizallamiento y cocción del material alimenticio en corto tiempo (Dalbhagat, Kumar, & Mishra, 2019). Muchas características del producto extruido dependen de las variables de extrusión, siendo la humedad del alimento y la temperatura de extrusión, factores significativos (Honcú et al., 2016). El proceso de extrusión produce cambios químicos, como la desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón, reducción de la oxidación de lípidos, solubilidad de la fibra dietética y disminución de factores antinutricionales (Huang, Ma, Tsai, & Chang, 2019). Estas reacciones complejas, no sólo brindan a los alimentos extruidos su textura y sensación única en la boca, sino también producen cambios significativos en las propiedades funcionales (expansión, absorción y solubilidad en agua) (Zhang, Liu, Ying, Sanguansria, & Augustina, 2017) y nutricionales (digestibilidad de proteínas y almidones) (Koksel & Masatcioglu, 2018). Características que las hacen favorables para el desarrollo de nuevos productos alimenticios listos para el consumo como pastas, cereales para el desayuno, alimentos para bebés y snacks (Grasso, 2020).

La mayoría de las investigaciones proporcionan información preliminar sobre la composición química de las semillas de pajuro, sin embargo, la literatura carece de información sobre las propiedades funcionales de la semilla entera y las condiciones de procesamiento específicas sobre las características físicas de los extruidos de pajuro. El conocimiento de estas características permitirá considerar al pajuro como una alternativa en el desarrollo de nuevos productos. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue determinar las características físico-químicas de las semillas de pajuro y las propiedades funcionales de las semillas extruidas a diferentes condiciones de extrusión.

MATERIALES Y MÉTODOS

2564 m.s.n.m.) de la provincia de Cajamarca, departamento de Cajamarca, Perú (Figura 1).

Materia prima

Se emplearon semillas maduras de pajuro, obtenidas del distrito de Jesús (latitud 7°14'S, longitud 78°23'O,

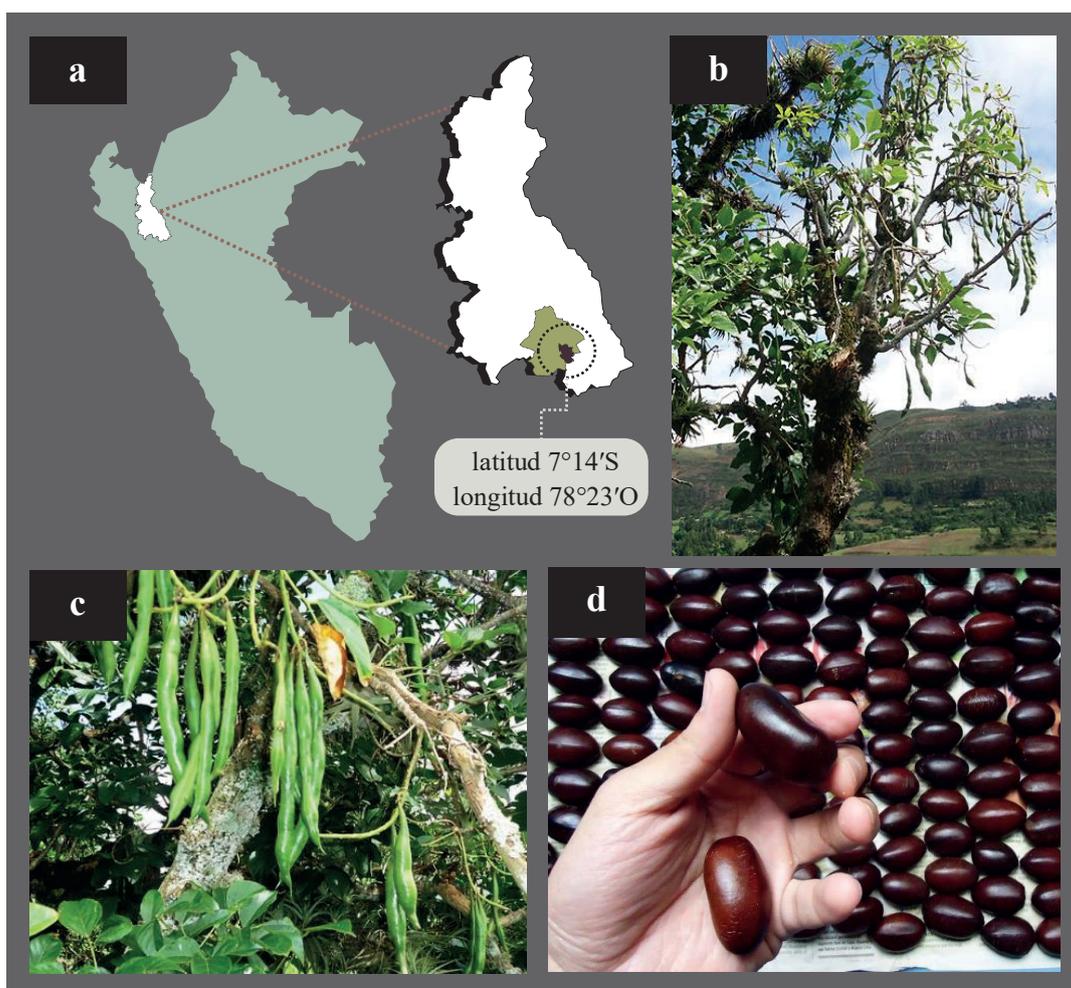


Figura 1. (a) Lugar de procedencia de las semillas de pajuro; (b) Árbol; (c) vainas y (d) semillas de pajuro.

Acondicionamiento de las semillas y proceso de extrusión

El acondicionamiento de las semillas y el proceso de extrusión se describen en la Figura 2. Las semillas fueron seleccionadas en base al color característico de las semillas maduras, separando las que presentaron un color verde y signos de inicio o 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. Las semillas fueron peladas y secadas a 50 °C por 24 horas, hasta una humedad de 12%. Seguidamente, las semillas fueron molidas en un molino de martillos (Fagro Min SRL. Modelo 1X5, motor Siemens de 6,6 HP) y tamizadas hasta obtener partículas entre 600 y 2360 µm. Las muestras tamizadas fueron almacenadas en bolsas de polietileno.

El peso (g) de 100 semillas (12–14% de humedad) escogidas aleatoriamente se determinó en una balanza digital (OHAUS), de acuerdo a IPGRI (2001). Para la determinación del porcentaje de cáscara y cotiledón, se separaron ambas partes y fueron pesadas según lo indicado por IPGRI (2001).

La actividad de agua fue determinada empleando un higrómetro (AQUA LAB 3TE) tal como lo señalan Nevara, Yea, Karim, Muhammad, & Ghazali (2018).

Para la determinación de la capacidad de hidratación (CHid) y el índice de hidratación (IHid) se pesaron

100 g de semillas y fueron transferidas a un beacker con 100 mL de agua destilada y para la capacidad de hinchamiento (CHin) e índice de hinchamiento (IHin), se pesaron 100 g de semillas y fueron transferidas a un beacker que contenía 400 mL de agua destilada, ambos beackers fueron cubiertos con papel aluminio y se dejaron en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente. Transcurrido este tiempo se procedió a medir el volumen del agua residual y se calcularon con las siguientes fórmulas (Adebowale, Adeyemi, & Oshodi, 2005).

$$CHid = \frac{\text{Peso de semillas remojadas} - \text{Peso de semillas sin remojar}}{\text{Número de semillas}}$$

$$IHid = \frac{\text{Capacidad de Hidratación por semilla}}{\text{Peso de una semilla}}$$

$$CHin = \frac{\text{Volumen después del remojo} - \text{Volumen antes del remojo}}{\text{Número de semillas}}$$

$$IHin = \frac{\text{Capacidad de Hinchamiento por semilla}}{\text{Volumen de una semilla}}$$

Determinación de las propiedades funcionales de los extruidos

determinó mediante la fórmula recomendada por Stojceska et al. (2009).

Índice de expansión (IE)

$$IAA = \frac{\text{gramos del precipitado}}{\text{gramos de la muestra}}$$

Se midió el diámetro de los extruidos y de la boquilla del extrusor, y el IE se determinó mediante la fórmula recomendada por Meng, Threinen, Hansen, & Driedger (2010).

Del peso de la muestra se descontó el peso de solubles del sobrenadante.

$$IE = \frac{\text{Diámetro promedio de la muestra (cm)}}{\text{Diámetro de la boquilla (cm)}}$$

Índice de solubilidad en agua (ISA)

Índice de absorción de agua (IAA)

Se pesaron 2,5 g de harina y se adicionaron 30 mL de agua destilada a 30 °C, la solución se agitó por 30 min en un agitador vórtex y se centrifugó a 3000 rpm por 15 min, el sobrenadante se pasó a un vaso registrándose el peso del precipitado, y el IAA se

Se pesaron 2,5 g de harina y se agregaron 30 mL de agua destilada a 30 °C, la solución fue agitada por 30 min con un agitador vórtex y se centrifugó a 3000 rpm por 15 min. El sobrenadante se pasó a un crisol y se llevó a una estufa a 90 °C, posteriormente, se determinó el peso de los sólidos solubles, y el ISA se determinó mediante la fórmula recomendada por Stojceska et al. (2009).

$$ISA = \frac{\text{gramos de sólidos solubles}}{\text{gramos de muestra}}$$

Análisis estadístico

Los resultados de las características físico-químicas de las semillas de pajuro se expresaron en términos de medias y desviaciones estándar. Para evaluar el efecto de las temperaturas (110, 120 y 130 °C) y las humedades (13 y 18%) sobre las propiedades funcionales (IE, IAA e ISA) de las semillas extruidas, se utilizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo factorial 3x2 y para la comparación de medias se utilizó la Prueba de Tukey ($p < 0,05$) utilizando Minitab 19 Statistical software.

RESULTADOS

Características físico-químicas de las semillas enteras

Las características físico-químicas de las semillas enteras de pajuro se presentan en la Tabla 1. Respecto al color, las semillas presentaron valores de L^* correspondientes a variedades oscuras, y los valores de a^* y b^* indican la presencia de tonos marrones y guindas, característicos en semillas maduras. Los resultados de largo, ancho y espesor muestran que las semillas corresponden a los tamaños mediano y grande, valores contrastados con el peso de 100 semillas, siendo los cotiledones la parte más representativa. El valor de actividad de agua se encuentra dentro del rango establecido para las legumbres y la humedad de 66%, representa el mayor componente de las semillas en estado fresco. Respecto a la capacidad de hidratación, índice de hidratación, capacidad de hinchamiento e índice de hinchamiento, las semillas presentaron valores superiores a otras legumbres.

Tabla 1. Características físico-químicas de las semillas enteras de pajuro

Mediciones	Valores ¹
Humedad de semillas frescas (%)	66 ± 0,42
Composición proximal (100% base seca)	
Proteína cruda (% N x 6,25)	21,10 ± 0,13
Grasa	0,54 ± 0,03
Fibra cruda	2,86 ± 0,03
Ceniza	4,91 ± 0,22
Carbohidratos	70,59 ± 0,11
Materia orgánica (%)	95,09 ± 0,21
Valor energético (kcal)	371,62 ± 1,02
Color de la testa	
L^*	27,26 ± 1,02
a^*	8,60 ± 1,37
b^*	4,81 ± 1,26
Dimensiones (cm)	
Largo	4,35 ± 1,54
Ancho	2,58 ± 1,42
Espesor	1,99 ± 1,28
Peso de 100 semillas secas (g)	478,96 ± 2,89
Cáscara (% respecto a la semilla entera)	10,8 ± 0,54
Cotiledones (% respecto a la semilla entera)	89,2 ± 0,27
Actividad de agua	0,983 ± 0,04
Capacidad de hidratación (g/semilla)	7,28 ± 0,23
Índice de hidratación	0,53 ± 0,06
Capacidad de hinchamiento (mL/semilla)	5,56 ± 0,85
Índice de hinchamiento	0,2 ± 0,10

¹ Expresados como el promedio ± DS

Propiedades funcionales de los extruidos

El IE fue significativamente diferente en las tres temperaturas de extrusión ($p < 0,05$), resultando mayor a 130 °C y menor a 110 °C (Tabla 2, Figura 3), a medida que se incrementa la temperatura de extrusión, se pudo observar diferencias superiores al 50% entre ellas. Así mismo, se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) por efecto de la humedad. El efecto de la interacción temperatura y humedad mostró diferencias significativas ($p < 0,05$), resultando mayor a 130 °C y 13%. El IAA resultó significativamente diferente ($p < 0,05$) para las tres temperaturas, siendo mayor a 130 °C y menor a 110 °C. El IAA aumentó conforme se incrementó la temperatura, en 40% a 120 °C respecto a 110 °C y en 19% a 130 °C respecto a 120 °C. Por otro lado, el efecto de la interacción temperatura y humedad

resultó significativamente diferente ($p < 0,05$) siendo mayor a 130 °C y 13%. El ISA es significativamente diferente ($p < 0,05$) para las tres temperaturas de extrusión, siendo mayor a 130 °C y menor a 110 °C. El

ISA aumenta conforme se incrementa la temperatura de extrusión, observándose un incremento de 83% a 120 °C respecto a 110 °C y un incremento de 33% a 130 °C respecto a 120 °C.

Tabla 2. Efecto de la temperatura y humedad sobre las propiedades funcionales de las semillas extruidas

Factores en estudio			Propiedades funcionales		
Tratamiento	Temperatura	Humedad	IE (cm)	IAA (%)	ISA (%)
T1	110 °C	13%	1,02 ± 0,03 ^a	4,44 ± 0,08 ^a	17,77 ± 0,82 ^a
T2		18%	0,98 ± 0,01 ^a	4,29 ± 0,05 ^b	15,07 ± 0,36 ^b
T3	120 °C	13%	1,92 ± 0,04 ^b	6,03 ± 0,05 ^c	28,83 ± 0,76 ^c
T4		18%	1,93 ± 0,03 ^b	6,40 ± 0,04 ^d	31,40 ± 1,85 ^d
T5	130 °C	13%	2,58 ± 0,03 ^c	7,57 ± 0,02 ^e	38,85 ± 1,44 ^e
T6		18%	2,43 ± 0,05 ^d	7,17 ± 0,05 ^f	41,17 ± 1,10 ^e
p (Temperatura*Humedad)			0,0230	<,0001	0,0075
Efecto de la Temperatura		110 °C	1,003 ^c	4,365 ^c	16,422 ^c
		120 °C	1,926 ^b	6,215 ^b	30,114 ^b
		130 °C	2,505 ^a	7,369 ^a	40,012 ^a
p (Temperatura)			<,0001	<,0001	<,0001
Efecto de la Humedad		13%	1,839 ^a	6,013 ^a	28,483 ^a
		18%	1,779 ^b	5,953 ^a	29,211 ^a
p (Humedad)			0,019	0,078	0,266

Resultados expresados como el promedio ± DS.

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

IE: índice de expansión; IAA: índice de absorción de agua; ISA: índice de solubilidad de agua.



Figura 3. Semillas de pajuero extruidas a diferentes tratamientos

DISCUSIÓN

Características físico-químicas de las semillas enteras

El porcentaje de proteína cruda fue superior a 16,5% y el porcentaje de fibra menor a 5,9%, valores reportados por Intiquilla et al. (2016). Los valores del contenido de grasa, ceniza y energía fueron inferiores a 1,02%, 4,58% y 394,7 kcal, respectivamente (Villafuerte et al., 2019). En cuanto al tamaño, la clasificación de las semillas entre mediano y grande se dio en función a lo establecido por Mejía, Jaramillo, & Barrera (1993), quienes determinaron que semillas de pajuro con dimensiones entre 1,55–2,03 cm de ancho y 3,98 cm de largo se consideran semillas medianas, con dimensiones de 2,02–2,65 cm de ancho y 6,00 cm de largo se consideran grandes; confirmándose con el peso de 100 semillas de pajuro, que superan en 3 veces el peso en 100 semillas de haba (138,5 g), reportado por Karatas, Günay, & Sayar (2017).

Respecto a su constitución, los valores encontrados en semillas de pajuro, concuerdan con la FAO (2017), que indican que las legumbres, están conformadas por 89% de cotiledón, 1% de embrión y 10% de cáscara. El embrión es la entrada principal de agua a la semilla, y la cáscara conformada por sustancias hidrofóbicas como cera, polisacáridos de lignina, pectina, quinonas, suberina, cutina y fenoles, es la responsable de la impermeabilidad en las legumbres (Miano, García, & Augusto, 2015). Es así que estos componentes jugaron un papel importante en los valores de capacidad de hidratación (7,28 g/semillas), índice de hidratación (0,53) y capacidad de hinchamiento (5,56 mL/semilla) en las semillas de pajuro, que resultaron superiores a lo reportado por Adebowale et al. (2005), quienes obtuvieron valores de 0,2 g/semilla, 0,23 y 0,26 mL/semilla, respectivamente, en frejol mucuna, a excepción del índice de hinchamiento que fue igual.

Propiedades funcionales de los extruidos

El IE obtenido en T5 (2,58 cm) fue superior a 1,64 cm reportado por Aro & Calcin (2019) en una mezcla de granos, cereales y legumbres. Al respecto, Wang et al. (2020) mencionan que el IE disminuye a bajas temperaturas de extrusión, generando un producto denso y duro por gelatinización incompleta del almidón, ello explica lo ocurrido en los tratamientos T1 y T2 que presentaron aproximadamente 50% de partículas de semillas crudas.

Respecto al IAA, el valor de T5 (7,57%) resultó superior a 6,10% reportado por Aro & Calcin (2019). Al respecto, Ye et al. (2018) mencionan que temperaturas mayores mejoran el IAA, creando espacios más abiertos en la estructura de la muestra que permiten la absorción de agua cuando se rehidratan.

Los tratamientos T5 y T6 con mayor ISA, reflejan un mejor resultado respecto al porcentaje de sólidos solubles de los extruidos, al respecto Jafari, Koocheki, & Milani (2017), manifiestan que el ISA es directamente proporcional al contenido de sólidos solubles como los carbohidratos.

CONCLUSIONES

El estudio demostró las características físico-químicas de las semillas de pajuro y el efecto de las variables de proceso sobre las propiedades funcionales de los extruidos.

Evidenciándose, que la composición química es similar a otras legumbres, sin embargo, son superiores en peso, dimensiones, capacidad de hidratación e hinchamiento, lo que se traduce en una mayor permeabilidad de la semilla al estar inmerso en un medio acuoso.

Las semillas extruidas a mayores temperaturas y a menores humedades, mostraron mejores índices de expansión, absorción de agua y solubilidad en agua en comparación con otros extruidos.

Las características observadas de las semillas enteras como extruidas, permite señalar al pajuro como un alimento potencial para el desarrollo de nuevos productos que permitirán a los procesadores de alimentos satisfacer las necesidades del consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adebowale, Y., Adeyemi, A., & Oshodi, A. (2005). Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species. *Food Chemistry*, 89(1): 37–48. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.084>
- AOAC. (2005). Official Methods of Analysis (18th ed.). Gaithersburg, MD: Association of Official Analytical Chemists.
- Aro, J., & Calcin, M. (2019). Elaboración de una mezcla alimenticia a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), Cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), cebada (*Hordeum vulgare* L.), maíz (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* Merr) por proceso de cocción - extrusión. *Journal of High Andean Research*, 21(2): 293–303. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.506>
- Bessada, S., Barreira, J., & Oliveira, B. (2019). Pulses and food security: Dietary protein, digestibility, bioactive and functional properties. *Trends in Food Science & Technology*, 93:53–68. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.08.022>
- Dalbhat, C., Kumar, D., & Mishra, H. (2019). Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 85: 226 - 240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- FAO. (2017). *The future of food and agriculture – Trends and challenges*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i6583e.pdf>
- Grasso, S. (2020). Extruded snacks from industrial by-products: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 99: 284 - 294. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.03.012>
- Gulisano, A., Alves, S., Martins, J., & Trindade, L. (2019). Genetics and Breeding of *Lupinus mutabilis*: An Emerging Protein Crop. *Frontiers in Plant Science*. 10:1385. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01385>
- Hoang, N., Tóth, K., & Stacey, G. (2020). The role of microRNAs in the legume–*Rhizobium* nitrogen-fixing symbiosis. *Journal of Experimental Botany*, 71(5): 1668–1680. <https://doi.org/10.1093/jxb/eraa018>
- Honcú, I., Sluková, M., Vaculova, K., Sedlackova, I., Wiege, B., & Fehling, E. (2016). The effects of extrusion on the content and properties of dietary fibre components in various barley cultivars. *Journal of Cereal Science*, 68: 132–139. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.01.012>
- Huang, Y., Ma, Y., Tsai, Y., & Chang, S. (2019). In vitro hypoglycemic, cholesterol-lowering and fermentation capacities of fiber-rich orange pomace as affected by extrusion. *International Journal of Biological Macromolecules*, 124: 796–801. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.249>
- Hussein, A., Hussein, M., Salama, M., Hamed, I., Fouda, K., & 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>
- International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI). (2001). *Phaseolus vulgaris* descriptors. Recuperado de <https://n9.cl/77svs>
- Intiquilla, A., Jiménez-Aliaga, K., Zavaleta, A., Arnao, I., Peña, C., Chávez-Hidalgo, E., & Hernández-Ledesma, B. (2016). *Erythrina edulis* (Pajuro) Seed Protein: A New Source of Antioxidant Peptides. *Natural Product Communications*, 11(6): 781–786. <https://doi.org/10.1177/1934578X1601100620>

- Jafari, M., Koocheki, A., & Milani, E. (2017). Effect of extrusion cooking on chemical structure, morphology, crystallinity and thermal properties of sorghum flour extrudates. *Journal of Cereal Science*, 75: 324–331. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2017.05.005>
- Jones, O. (2016). Recent advances in the functionality of non-animal sourced proteins contributing to their use in meat analogs. *Current Opinion Food Science*, 7: 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.08.002>
- Karatas, C., Günay, D., & Sayar, S. (2017). *In vitro* evaluation of whole faba bean and its seed coat as a potential source of functional food components Selen. *Food Chemistry*, 230: 182–188. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.03.037>
- Koksel, F., & Masatcioglu, M. (2018). Physical properties of puffed yellow pea snacks produced by nitrogen gas assisted extrusion cooking. *LWT - Food Science Technology*, 93: 592 – 598. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.011>
- Leal, M., Alves, R., & Hanazaki, N. (2018). Knowledge, use, and disuse of unconventional food plants. *Journal Ethnobiology Ethnomedicine*, 14:6. <https://doi.org/10.1186/s13002-018-0209-8>
- Mejía, M., Jaramillo, A., & Barrera, N. (1993). Estudios preliminares sobre desarrollo y manejo de la semilla de chachafruto, *Erythrina edulis* Triana. Universidad Nacional de Colombia. *Acta Agronómica*, 43(1- 4): 57–68. <https://n9.cl/x570>
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2): 650–658. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.016>
- Miano, A., García, J., & Augusto, P. (2015). Correlation between morphology, hydration kinetics and mathematical models on Andean lupin (*Lupinus mutabilis* Sweet) grains. *LWT - Food Science Technology*, 61(2): 290–298. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.032>
- Nevara, G., Yea, C., Karim, R., Muhammad, K., & Ghazali, H. (2018). Effects of moist-heat treatments on color improvement, physicochemical, antioxidant, and resistant starch properties of drum-dried purple sweet potato powder. *Journal of Food Process Engineering*, 42(1): e12951. <https://doi.org/10.1111/jfpe.12951>
- Nyombaire, G., Siddiq, M., & Dolan, K. (2011). Physico-chemical and sensory quality of extruded light red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) porridge. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 1597–1602. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.02.016>
- Seth, D., Badwaik., L & Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3): 1830–1838. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Sharififar, A., Nazari, M., & Asghari, H. (2015). Effect of ultrasonic waves on seed germination of *Atriplex lentiformis*, *Cuminum cyminum*, and *Zygophyllum eurypterum*. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 2(3):102–104. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jarmap.2015.05.003>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42: 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Stojceska, V., Ainsworth, P., Plunkett, A., & Ibanoglu, S. (2009). The effect of extrusion cooking using different water feed rates on the quality of ready-to-eat snacks made from food by-products. *Food Chemistry*, 114(1): 226–232. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.09.043>
- Villafuerte, F., Pérez, E., Mahfoud, A., Valero, 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://n9.cl/likz>
- Wang, Z., Hea, X., Yana, L., Wanga, J., Hub, X., Sunc, Q., & Zhang, H. (2020). Enhancing enzymatic hydrolysis of corn stover by twin-screw extrusion pretreatment. *Industrial Crops and Products*, 143: 111960. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111960>
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., & Liu, C. (2018). Properties of Starch after Extrusion: A Review. *Starch*, 70 (11–12). <https://doi.org/10.1002/star.201700110>
- Zhang, B., Liu, G., Ying, D., Sanguansria, L., & Augustina, M. (2017). Effect of extrusion conditions on the physico-chemical properties and in vitro protein digestibility of canola meal. *Food Research International*, 100(1): 658–664. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.07.060>