

## Review / Revisión

# Lenteja de agua (*Lemna minor*): un potencial insumo proteico alternativo para la alimentación animal

Duckweed (*Lemna minor*): a potential alternative protein input for animal feed

Ronaldo Francesco Zevallos-Contreras <sup>1\*</sup>; Walter Rolando Oscanoa-Condor <sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú

## RESUMEN

La lenteja de agua (*Lemna minor*) está emergiendo como un ingrediente innovador en la alimentación animal, ofreciendo una fuente de proteína vegetal que puede complementar o reemplazar a las fuentes proteicas convencionales como la torta de soya y la harina de pescado. Por ello, a nivel mundial se viene desarrollando diversas investigaciones sobre su uso en la alimentación. Por su composición nutricional, esta planta se caracteriza por su perfil proteico, aminoacídico y fibroso altos, variando entre 30 y 45 % de proteína, además de su bajo contenido de grasas y carbohidratos, lo cual es influenciado directamente por el medio donde se cultiva y los nutrientes presentes en el agua con el uso o no de fertilizantes orgánicos, siendo así también una alternativa muy amigable y de bajo costo, siempre que la acumulación de metales pesados y componentes antinutritivos sean mínimas, logrando así la obtención de un insumo seguro para el ser humano, animales y el medio ambiente. Esta revisión aborda principalmente la composición nutricional de la lenteja de agua (*Lemna minor*) y los efectos al ser usado en la alimentación de algunas especies monogástricas.

**Palabras clave:** composición nutricional; fertilizante orgánico; lenteja de agua; alimentación animal

## ABSTRACT

Duckweed (*Lemna minor*) emerges as an innovative ingredient in animal feed, offering a vegetable protein source that can complement or replace conventional protein sources such as soybean cake and fishmeal. Therefore, worldwide research has been carried out on its use in food. By its nutritional composition, this plant is characterized by its high protein, amino acid and fibrous profile, varying between 30 and 45% protein, in addition to its low fat and carbohydrate content, which is directly influenced by the environment where it is grown and the nutrients present in the water with the use or not of organic fertilizers, being also a very friendly and low-cost alternative, provided that the minimum accumulation of heavy metals and anti-nutritional components is controlled, thus obtaining a safe input for humans, animals and the environment. This review mainly addresses the nutritional composition of duckweed (*Lemna minor*) and its effects in feeding some monogastric species.

**Keywords:** animal feed; duckweed; organic fertilizer; nutritional composition

**Cómo citar / Citation:** Zevallos-Contreras, R. F., & Oscanoa-Condor, W.R. (2024). Lenteja de agua (*Lemna minor*): un potencial insumo proteico alternativo para la alimentación animal. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, 3(2), e81.

<https://doi.org/10.56926/repia.v3i2.81>

Editor: Dr. Fred William Chu Koo 

## 1. INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la producción animal a gran escala, las proteínas derivadas de la soya y el pescado han ocupado un lugar central, gracias a su alta digestibilidad y su aporte de aminoácidos esenciales como lisina, metionina, treonina, cisteína y triptófano, que son fundamentales para el metabolismo animal (Olarotimi & Adu, 2017); sin embargo, debido al incremento de la población humana y animal, además del aumento en la demanda del consumo de estos insumos, y factores ambientales, como el cambio climático y degeneración de suelos, actualmente su disponibilidad está siendo afectada, causando una competencia en el consumo entre el humano y los animales (Rodríguez, 2020).

La cada vez menor disponibilidad de estos insumos proteicos para la elaboración de piensos animales, desencadenan el constante incremento en el costo de adquisición, lo que repercute finalmente en los costos de producción, ya que la alimentación puede representar hasta el 70% de dicho costo, lo cual resulta un gran problema para pequeños y medianos productores, obligándolos a la búsqueda de insumos alternativos de menor costo, que sean disponibles a la zona y de fácil producción (Vanegas et al., 2009; Vargas et al., 2019); ya que un déficit de proteínas supone también un riesgo para el progreso económico, social y medio ambiental (Tallentire et al., 2018).

Por otro lado, la agricultura y la ganadería intensivas con uso excesivo de fertilizantes, pesticidas y agua contribuyen a la pérdida de biodiversidad, un ejemplo preocupante es el cultivo intensivo de soya transgénica, que contaminan el suelo y el agua, destruyen hábitats naturales y fragmentan los ecosistemas, lo que causa problemas ambientales y sociales, generando pobreza y la degradación del ambiente (Ergueta et al., 2009; Reyes & Cano, 2022).

Es así como se abre camino a la exploración de fuentes proteicas alternativas aprovechando residuos o subproductos y otras plantas o algas, principalmente valorando su calidad nutricional y seguridad, reduciendo el impacto ambiental causado por la producción animal, siendo una innovación alimentaria al respetar al ser humano, animal y al planeta, tanto en salud y bienestar (Nitride et al., 2023; Pérez, 2022). Un ejemplo de ello es el uso de las plantas acuáticas, conocidas también como macrófitas, las cuales desempeñan un papel fundamental en los ecosistemas acuáticos y son útiles para el ser humano puesto que muchas de estas son comestibles, siempre que se realice una producción biosegura (Moyo et al., 2003)

Las macrófitas poseen una alta capacidad de absorción de nutrientes presentes en el agua, existen múltiples especies de macrófitas, en la que destacan las plantas flotantes, como la lenteja de agua (*Lemna minor*) que se caracteriza también por ser una fuente rica de proteínas y que al ser cultivado en agua no requiere de tierras agrícolas, brindando una solución ambientalmente amigable (Sulaiman et al., 2025). Sin embargo, su producción y práctica en la alimentación animal no es algo habitual en nuestro entorno debido principalmente al desconocimiento del valor nutricional por parte de los productores (Shammout & Zakaria, 2015).

Para maximizar el potencial de la lenteja de agua como alimento, es necesario mejorar sus condiciones de cultivo y reducir el contenido de sustancias que puedan afectar su valor nutricional (Miltko et al., 2024); además, una alternativa muy sostenible y multifuncional es aprovechar el

estiércol animal que se acumula por la expansión ganadera como fertilizante orgánico para la producción de la lenteja de agua (Dadrasnia et al., 2021).

El objetivo del presente documento es brindar una visión general sobre el potencial de la lenteja de agua (*Lemna minor*) como un posible insumo alternativo a las proteínas convencionales en la alimentación principalmente de animales monogástricos.

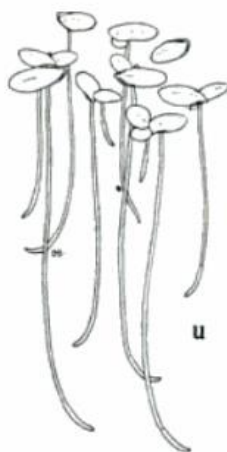
## 2. METODOLOGÍA DE REVISIÓN

Se realizó una revisión sistemática de literatura mediante la metodología PRISMA en bases de datos en línea. Se utilizaron palabras clave para la búsqueda de artículos de investigación “duckweed”, “*lemna minor*” y “nutrients”, considerando la fecha de publicación (últimos 10 años). Inicialmente la búsqueda fue en ScienceDirect y mostró 582 artículos, que fueron seleccionados por título y resumen. También se examinó la literatura citada en los trabajos de investigación que cumplieron mínimo con nuestros criterios de selección; además se expandió la búsqueda en bases de datos de Google Scholar, Scielo y tesis de repositorios institucionales. Los criterios de selección fueron los siguientes: 1) realizó el análisis de la composición nutricional (Wendee o Van Soest) y/o de minerales, 2) resume de forma clara los nutrientes que se evaluó, 3) menciona de forma clara el medio de cultivo.

## 3. RESULTADOS DE REVISIÓN

### 3.1. Lenteja de agua (*Lemna minor*)

Las lentejas de agua son plantas acuáticas diminutas de color verde que forman una capa flotante en cuerpos de agua de movimiento o de corriente lenta (Ali et al., 2016), posee el crecimiento más rápido en el mundo, se distingue por su estructura y características distintivas, mide entre 2 y 4 mm de largo y 1,5 a 3 mm de ancho, presenta frondas grandes, delgadas, de color verde oscuro con raíces solitarias cortas y delgadas, además por su tallo corto y plano, con dos capas de espacios de aire en su interior y una cresta mediana baja que puede terminar en una papila o presentar estípulas, se reproduce asexualmente (Prada et al., 2024; Zhao et al., 2014) y se encuentran y crecen agrupados entre varias frondas, tal como se muestra en la figura 1 (Correll & Correll, 1975).



**Figura 1.** Grupo de frondas de lenteja de agua

Se encuentran en estanques y lagos de todo el mundo, proporcionando alimento y refugio para una amplia variedad de organismos acuáticos y contribuyen a mejorar la calidad del agua (Baek et al., 2021). La especie *Lemna minor* pertenece a la subfamilia *Lemnoidea* y familia *Lemnaceae* (Jaimes et al. (2024).

Cultivar lentejas de agua es sumamente sencillo y económico, pueden producir grandes cantidades de biomasa en poco tiempo, incluso en estanques pequeños con poca profundidad entre 30 y 50 cm. aunque se benefician de condiciones óptimas de luz, temperatura y nutrientes, debido a su capacidad de adaptación que les permite prosperar en diversos ambientes (Jaimes et al., 2024).

### **3.2. Composición nutricional de la lenteja de agua (*Lemna minor*)**

La lenteja de agua es considerada un alimento con un alto potencial nutricional; sin embargo, su valor nutritivo puede verse afectado por factores como la calidad del agua donde se cultiva, así como de la disponibilidad de nutrientes en el agua, lo que subraya la importancia de controlar las condiciones de cultivo para obtener un producto de alta calidad (Appenroth et al., 2018).

#### **Proteínas**

La proteína es el nutriente principal, y los niveles en lentejas de agua que crecen en aguas naturales varían entre 18 y 26 % en materia seca, siendo mayor comparados al contenido proteico de los cereales comunes (Appenroth et al., 2017). Varios estudios revelan que el uso de fertilizantes orgánicos incrementa los niveles proteicos de estas macrófitas, como por ejemplo *Lemna minor* provenientes de cultivos con efluente porcino, llegan a contener de 27,6 a 42 % de proteína bruta (PB) en materia seca (Anya & Ayuk, 2018; Gonzales et al., 2013), mientras que en sistemas de acuaponía con alto contenido de materia orgánica alcanzan entre 29,9 y 45 % de PB en materia seca (Graeff et al., 2007; Martínez et al., 2018). Asimismo, una mezcla de estiércol de ganado, desechos de aves de corral y torta de aceite de mostaza producen lentejas de agua con hasta 36,1 % de PB; sin embargo, el estiércol de cuy no mejoró los niveles de proteína alcanzado solo 16 % en materia seca (Chakrabarti et al., 2018; Huaman, 2021). Por otro lado, una forma eficiente de aprovechar al máximo el contenido proteico de la lenteja de agua es mediante la extracción directa de la proteína, lo que permite obtener productos con una pureza de hasta un 44% (Rusoff et al., 1980).

La composición de aminoácidos de la lenteja de agua es excepcionalmente rica y equilibrada, superando en algunos aspectos a otras fuentes vegetales de proteína comúnmente consumidas, de hecho, algunos estudios sugieren que su perfil de aminoácidos se asemeja más al de las proteínas de origen animal (Jaimes et al., 2024), algunos estudios muestran que dentro de su composición proteica se compone por 32 % de aminoácidos esenciales, 53,64 % de aminoácidos no esenciales y 7,13% de aminoácidos no proteinogénicos, de los cuales comprenden 0,9 a 1,6 % de Histidina, 2,0 a 3,7 % de Isoleucina, 4,1 a 7,3 % de Leucina, 2,7 a 4,8 % de Lisina, 0,9 a 1,6 % de Metionina, 2,6 a 4,4 % de Fenilalanina, 1,9 a 4 % de Tirosina, 0,4 a 3,1 % de Triptófano y 2,7 a 4,6% de Valina (Appenroth et al., 2017; Chakrabarti et al., 2018), además se puede destacar el contenido aminoacídico en g por cada 100 g de proteína, representado en la Tabla 1 (Edelman et al., 2020).

**Tabla 1.***Contenido de aminoácidos de la lenteja de agua (Lemna minor)*

<b>Aminoácidos</b>	<b>g por cada 100 g de proteína</b>
Cisteína	0,9
Metionina	1,6
Asparagina	8,2
Treonina	4,0
Serina	4,1
Glutamina	9,8
Glicina	4,6
Alanina	5,1
Valina	4,6
Isoleucina	3,7
Leucina	7,3
Tirosina	3,1
Fenilalanina	4,4
Lisina	5,0
Histidina	1,5
Arginina	4,8
Prolina	3,8

### **Grasas (Extracto Etéreo)**

El contenido de grasa en la lenteja de agua varía entre 0,6 y 8,7 % en materia seca, siendo el valor más bajo obtenido al ser cultivado con estiércol de cuy (Huaman, 2021) y mayores niveles con el uso de efluentes porcinos y acuícolas (Ge et al., 2012; Graeff et al., 2007).

Se destaca también el perfil de ácidos grasos poliinsaturados que varía entre 60 y 67,4 %, cuales comprenden principalmente de la clase n-3, como alfa-linolénico, eicosapentaenoico y docosahexapentaenoico, quienes actúan como antiinflamatorios en el metabolismo humano, además se considera que los ácidos grasos omega 3 predominan sobre la omega 6 en una proporción de al menos 2:1 (Appenroth et al., 2017; Chakrabarti et al., 2018).

### **Fibra y Carbohidratos**

El crecimiento de las plantas se ve potenciado cuando se cultivan en condiciones ideales y se les suministra una adecuada cantidad de nutrientes a través de fertilizantes. Estos nutrientes, especialmente nitrógeno (N) y fósforo (P), son absorbidos por las plantas desde el agua y almacenados en sus tejidos, lo que les permite crecer de forma vigorosa sin necesidad de consumir sus propias reservas (Cheng & Stomp, 2009), además la carencia de nutrientes esenciales y la presencia de una fuente de carbono externa, como la ausencia de fotosíntesis, inducen una elevada acumulación de almidón (Ge et al., 2012; Iatrou et al., 2015).

Estudios revelan que en aguas naturales se evidencia una variación entre 18,5 % y 53,9 % (Bello & Cuello, 2023; Zaffer et al., 2020) de almidón, cuando fue cultivada con estiércol de cuy presentó 58,02 % en materia seca (Huaman, 2021), sin embargo, con el uso de efluente porcino fue de 10,5 % y 6,3 % con efluente acuícola (Anya & Ayuk, 2018; Graeff et al., 2007). Además, se determinó que contiene 10,3 % de almidón, y algunos otros monosacáridos menos abundantes como 2,7% de xilosa, 2,1% de arabinosa, 3,1% de apiosa, 1,4% de galactosa, y 13,3% ácidos urónicos (Ge et al., 2012).

Los niveles de fibra al parecer no mejoran tanto con el uso de algún fertilizante, es así como en muestras colectadas de aguas naturales varían entre 5,2 % a 20 %, a pesar de obtener mayores niveles de fibra con 28 % en materia seca con el uso de efluente porcino (Anya & Ayuk, 2018; Shammout & Zakaria, 2015). Otro estudio con el mismo sustrato mostró solo 7,22 % en materia seca (Gonzales et al., 2013).

Se han realizado también análisis para determinar no solo fibra bruta, sino también fibra detergente neutra (FDN) y fibra detergente ácida (FDA), presentando niveles de 30,5 y 19,9 % respectivamente, además de 5,3 % de lignina en materia seca (Martínez et al., 2018), por otro lado, también se determinó que *Lemna minor* contiene 9,4 % de celulosa (Ge et al., 2012).

### **Minerales**

La composición de minerales se ve reflejada por los niveles de cenizas en el análisis proximal, que pueden alcanzar entre 11 y 30,4 % en materia seca en muestras colectadas de aguas naturales (Anya & Ayuk, 2018; Zaffer et al., 2020) y niveles entre 12,2 y 22,6 % en base seca con el uso de efluente de la producción animal como sustrato (Gonzales et al., 2013; Human, 2021).

Dentro de su contenido de minerales destacan los niveles de calcio de 2,8 a 4,3 %, fósforo de 0,9 a 1,1 %, magnesio de 0,9 %, hierro de 0,2 %, manganeso de 0,1 %, zinc de 0,01 %, potasio de 0,2 %, sodio de 0,2 %, cloro de 1,6 % y cobre de 0,002 % en muestras de aguas naturales (Shammout & Zakaria, 2015; Zaffer et al., 2020) y 0,3 % de calcio, 0,9 % de fósforo cultivada con efluente acuícola (Martínez et al., 2018).

### **Vitaminas**

A pesar de su creciente interés, la información sobre el contenido vitamínico de la lenteja de agua es aún limitada. Un estudio indica que los carotenoides especialmente la luteína (40 a 80 mg/100 g), y el  $\beta$ -caroteno (10 a 30 mg/100 g), son los principales compuestos vitamínicos presentes en esta planta, además de  $\alpha$ -tocoferol (0,5 a 13 mg/100 g) y zeaxantina (0,8 a 10 mg/100 g) (Sree et al., 2015).

### **Compuestos fenólicos y anti nutricionales**

El perfil fitoquímico de *Lemna minor* se caracteriza por una alta concentración de polifenoles (3,6 UDO/g) (Graeff et al., 2007), del mismo modo, la presencia de taninos (0,02 a 0,5 %) y ácido fítico (0,1 a 0,6 %), los cuales en bajas concentraciones, pueden actuar como agentes quelantes, en altas concentraciones, conjuntamente con la presencia de algunos anti nutrientes como inhibidores de tripsina (1,5 %), oxalatos de calcio (3,5 %) y cianida (0,15 %), pueden afectar la bioaccesibilidad de nutrientes y la digestibilidad de proteínas (Kritchevsky & Chen, 2005; Sree et al., 2016), sin embargo, el tratamiento térmico resulta en una inactivación o inhibición de estos anti nutrientes, de este modo se elimina la toxicidad propia de la planta al ser ingerida en el alimento (Sowjanya Sree et al., 2019).

### **Alimentación en animales monogástricos**

La creciente demanda de torta de soya, tanto para consumo humano como animal, ha generado una necesidad urgente de diversificar las fuentes de proteína en la alimentación animal, los alimentos para peces, moluscos, aves y cerdos requieren de ingredientes alternativos que no compitan con otros sectores y que puedan proporcionar un perfil nutricional similar a la harina de pescado, en este

sentido, insectos, vegetales y algas se presentan como opciones prometedoras (Alvan-Aguilar et al., 2023; Jaimes et al., 2024), es así como estudios más recientes han utilizado la lenteja de agua como suplemento en la alimentación de animales monogástricos.

Es así como la inclusión de un 15% de lenteja de agua en la dieta de cuyes, suministradas *ad libitum*, resultó en una mayor ganancia de peso (GP) y en mejor conversión alimenticia (CA) solo en cuyes hembras, además el rendimiento de carcasa (RC) no se redujo y mejoró la rentabilidad de la crianza (Chauca Francia, 2008; Huamán, 2021).

En la alimentación de patos con una dieta basada en arroz partido ofrecido *ad libitum* suplementado con soya tostada se mostró que la lenteja de agua puede sustituir a este insumo proteico de manera que mantiene la GP, pero aumenta un poco la CA, por otro lado, se ahorra un 48% en insumos proteicos (Men et al., 2001).

En pollos de engorde la sustitución del balanceado comercial por la lenteja de agua a 5% y 10% mejora la CA con pesos de hasta 2100 g y 2943,2 g de alimento consumido hasta los 36 días de edad, mientras que, en pollos de corral, una dieta formulada con 15% de lenteja de agua favorece la ganancia de peso llegando a 1425,9 g en tres meses (Paguia et al., 2022; Vargas et al., 2019; Zaffer et al., 2020).

Por otro lado, en alevines de carpa común (*Cyprinus Carpio L.*) alimentadas durante 120 días sustituyendo la harina de soya en 13,4% y 20%, mostró que el peso final y crecimiento específico fueron mayores, del mismo modo, influyeron en la composición de la carne donde se encontró niveles más altos de ácido linoleico y ácidos grasos poliinsaturados omega-3 (AGPI n-3); sin embargo, también a niveles de sustitución de 12%, 18% y 20%, registraron mayores deformaciones y mayor CA, en la fase de recría (Graeff et al., 2007; Shrivastav et al., 2022).

En tilapias, un alimento concentrado extrusado con suplementación de lenteja de agua fresca suministradas *ad libitum* por 28 días mejora el perfil de ácidos grasos n-3 (Cipriani, 2020; Opiyo et al., 2022; Tavares et al., 2008).

Finalmente, una mezcla de 28% de harina lenteja de agua, 71% de concentrado y 1% de  $Cr_2O_3$  en la dieta de alevines de gamitana, *Colossoma macropomum*, suministrada durante 30 días no alteró el peso de los animales, además se determinó coeficientes de digestibilidad aparente (CDA) de 92,6% para la materia seca y 77,9% para la proteína dietaria (Bello & Cuello, 2023).

## CONCLUSIONES

La lenteja de agua (*Lemna minor*) se ha posicionado como una alternativa viable en la nutrición animal, destacando su potencial como fuente de proteína. Su versatilidad, al poder ser utilizada en estado fresco o como harina, la convierte en un ingrediente atractivo para la industria de alimentos para animales.

La aplicación de fertilizantes orgánicos en el cultivo de lenteja de agua (*Lemna minor*) resulta en un enriquecimiento significativo de su contenido proteico, alcanzando niveles entre 30% y 45% de la materia seca. Esto convierte a la lenteja de agua en un alimento animal de alta calidad, siempre y cuando se garantice su inocuidad a través de un manejo adecuado



La lenteja de agua actúa como un filtro natural, absorbiendo nutrientes y contaminantes del agua, incluidos metales pesados. Sin embargo, esta capacidad de bioacumulación requiere un monitoreo constante de la calidad del agua para garantizar la seguridad alimentaria de los animales y, potencialmente, de los humanos.

La incorporación de lenteja de agua en la dieta de los animales, como reemplazo parcial de fuentes proteicas tradicionales, ha demostrado mantener o incluso mejorar el rendimiento productivo, especialmente en términos de conversión alimenticia. Sin embargo, se requieren más investigaciones para determinar plenamente su potencial como ingrediente alternativo en la alimentación.

## FINANCIAMIENTO

Los autores no recibieron ningún patrocinio para llevar a cabo esta investigación.

## CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no existe ningún tipo de conflicto de intereses.

## CONTRIBUCIÓN DE AUTORÍA

Conceptualización; Análisis formal; Investigación; Metodología; Redacción – borrador original; Redacción – revisión y edición: Todos los autores

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ali, Z., Waheed, H., Kazi, A. G., Hayat, A., & Ahmad, M. (2016). Duckweed: An efficient hyperaccumulator of heavy metals in water bodies. *Plant Metal Interaction: Emerging Remediation Techniques*, 411–429. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803158-2.00016-3>
- Alvan-Aguilar, M. A., Tello-García, P., Chu-Ochoa, Y. F., & Chu-Koo, F. W. (2023). Replacement of fishmeal with *Tenebrio molitor* meal in diets for crustaceans: Effects on growth and immune response. *Revista Peruana de Investigación Agropecuaria*, 2(2), e51. <https://doi.org/10.56926/repia.v2i2.51>
- Anyá, M. I., & Ayuk, A. A. (2018). Growth characteristics and proximate profile of duckweed (*Lemna minor*) cultured in Calabar – Humid Zone of Nigeria. *International Journal of Advances in Agriculture Science and Technology*, 5(9), 38–43.
- Appenroth, K. J., Sowjanya Sree, K., Bog, M., Ecker, J., Seeliger, C., Böhm, V., Lorkowski, S., Sommer, K., Vetter, W., Tolzin-Banasch, K., Kirmse, R., Leiterer, M., Dawczynski, C., Liebisch, G., & Jahreis, G. (2018). Nutritional value of the duckweed species of the genus *Wolffia* (Lemnaceae) as human food. *Frontiers in Chemistry*, 6(OCT). <https://doi.org/10.3389/FCHEM.2018.00483>
- Appenroth, K., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., & Jahreis, G. (2017). Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chemistry*, 217, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.116>



- Appenroth, K.-J., Sree, K. S., Böhm, V., Hammann, S., Vetter, W., Leiterer, M., & Jahreis, G. (2017). Nutritional value of duckweeds (Lemnaceae) as human food. *Food Chemistry*, *217*, 266–273. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.116>
- Baek, G. Y., Saeed, M., & Choi, H. K. (2021). Duckweeds: their utilization, metabolites and cultivation. *Applied Biological Chemistry*, *64*(1). <https://doi.org/10.1186/S13765-021-00644-Z>
- Bello, M. A., & Cuello, R. R. (2023). Evaluación del rendimiento productivo y coeficiente de digestibilidad aparente en *Colossoma macropomum*, de un alimento formulado con *Lemna minor*. *Revista EIA*, *20*(40), 1–18. <https://doi.org/10.24050/reia.v20i40.1655>
- Chakrabarti, R., Clark, W. D., Sharma, J. G., Goswami, R. K., Shrivastav, A. K., & Tocher, D. R. (2018). Mass production of *Lemna minor* and its Amino Acid and Fatty Acid profiles. *Frontiers in Chemistry*, *6*(OCT), 479. <https://doi.org/10.3389/fchem.2018.00479>
- Chauca Francia, L. J. (2008). Investigaciones en cuyes Tomo II. *Instituto Nacional de Innovación Agraria, II*, 25. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/304>
- Cheng, J. J., & Stomp, A. M. (2009). Growing duckweed to recover nutrients from wastewaters and for production of fuel ethanol and animal feed. *CLEAN – Soil, Air, Water*, *37*(1), 17–26. <https://doi.org/10.1002/CLEN.200800210>
- Cipriani, L. A. (2020). *A INGESTÃO ESPONTÂNEA DE LEMNA AFETA O DESEMPENHO ZOOTÉCNICO DE JUVENIS DE TILÁPIA DO NILO?* [Universidade do Estado de Santa Catarina]. [https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id\\_trabalho=9149983](https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=9149983)
- Correll, D. S., & Correll, H. B. (1975). Aquatic and wetland plants of southwestern United States. In *Stanford University Press* (Vol. 2). Environmental Protection Agency. <https://worldcat.org/es/title/1148017531>
- Dadrasnia, A., de Bona Muñoz, I., Yáñez, E. H., Lamkaddam, I. U., Mora, M., Ponsá, S., Ahmed, M., Argelaguet, L. L., Williams, P. M., & Oatley-Radcliffe, D. L. (2021). Sustainable nutrient recovery from animal manure: A review of current best practice technology and the potential for freeze concentration. *Journal of Cleaner Production*, *315*, 128106. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.128106>
- Edelman, M., Appenroth, K. J., & Sree, K. S. (2020). Editorial: Duckweed: Biological Chemistry and Applications. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, *4*, 615135. <https://doi.org/10.3389/FSUFS.2020.615135/BIBTEX>
- Ergueta, D., Garrido, L., Pernas, S., Carbajo, E., & Martínez, B. (2009). Repercusiones sociales y ambientales de la soja transgénica en social and environmental impact of genetically modified soybean on intensive livestock feeding. *RCCV*, *3*(2), 293–298. <https://www.produccion-animal.com.ar/sustentabilidad/113-soja.pdf>
- Ge, X., Zhang, N., Phillips, G. C., & Xu, J. (2012). Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. *Bioresource Technology*, *124*, 485–488. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.08.050>

- Gonzales, S., Romero Cruz, O., Valdimie Navarro, M., & Ponce Palafox, J. T. (2013). Lenteja de agua, una opción de dietas para tilapia roja. *Revista AquaTIC. Revista Científica de La Sociedad Española de Acuicultura*, 85–93. <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/830>
- Graeff, Á., Gonçalves Vianna, A., Tonetta, D., & Nazareno Pruner, E. (2007). Avaliação do potencial nutritivo da macrófita aquática *Lemna minor*, por meio da análise da composição química e por sua utilização em ração para carpa comum (*Cyprinus carpio* L.) na fase de recría. *Universidade Do Oeste de Santa Catarina*, 7(1).
- Huamán, D. M. (2021). Evaluación nutricional de lenteja de agua (*Lemna minor*) en la alimentación de cuyes (*Cavia porcellus*) en la etapa de engorde en la provincia Rodríguez de Mendoza, Amazonas-2019. *Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza - UNTRM*. <https://repositorio.untrm.edu.pe/handle/20.500.14077/2428>
- Iatrou, E. I., Stasinakis, A. S., & Aloupi, M. (2015). Cultivating duckweed *Lemna minor* in urine and treated domestic wastewater for simultaneous biomass production and removal of nutrients and antimicrobials. *Ecological Engineering*, 84, 632–639. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.071>
- Jaimes, O., Lora Diaz, O., & Tache Rocha, K. (2024). Lenteja de agua (*Lemna minor*): potencial alimentario y ambiental. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 404–424. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6107>
- Kritchevsky, D., & Chen, S. C. (2005). Phytosterols—health benefits and potential concerns: a review. *Nutrition Research*, 25(5), 413–428. <https://doi.org/10.1016/J.NUTRES.2005.02.003>
- Martínez, A. del R., Albertos Alpuche, P. J., Guzmán Mendoza, R., Robaina Robaina, L. E., Álvarez González, A., & Díaz Plascencia, D. (2018). Production and chemical composition of hydrophytes cultivated in aquaponics. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 5(14), 247–257. <https://doi.org/10.19136/era.a5n14.1447>
- Men, B. X., Ogle, B., & Lindberg, J. E. (2001). Use of duckweed as a protein supplement for growing ducks. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 14(12), 1741–1746. <https://doi.org/10.5713/AJAS.2001.1741>
- Miltko, R., Majewska, M. P., Wojtak, W., Białek, M., Kowalik, B., & Czauderna, M. (2024). Comparación de la composición química de lenteja de agua menor (*Lemna minor* L.) cultivada en entornos naturales y de laboratorio. *Revista de Ciencias Animales y de Piensos*, 33(3), 357–367. <https://doi.org/10.22358/jafs/189963/2024>
- Moyo, S., Dalu, J. M., & Ndamba, J. (2003). The microbiological safety of duckweed fed chickens: a risk assessment of using duckweed reared on domestic wastewater as a protein source in broiler chickens. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 28(20–27), 1125–1129. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2003.08.021>
- Nitride, C., D'Auria, G., Ferrara, A., & Ferranti, P. (2023). Environmental, nutritional, and cultural sustainability of novel food protein sources. In *Sustainable Food Science - A Comprehensive Approach* (pp. 199–215). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823960-5.00056-1>

- Olarotimi, O. J., & Adu, O. A. (2017). Potenciales de las fuentes no convencionales de proteína en la alimentación de animales no rumiantes. *Archivos de Zootecnia*, *66*(255), 451–457. <https://doi.org/10.21071/az.v66i255.2524>
- Opiyo, M. A., Muendo, P., Mbogo, K., Ngugi, C. C., Charo-Karisa, H., Orina, P., Leschen, W., Glencross, B. D., & Tocher, D. R. (2022). Inclusion of duckweed (*Lemna minor*) in the diet improves flesh omega-3 long-chain polyunsaturated fatty acid profiles but not the growth of farmed Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Animal Feed Science and Technology*, *292*, 115442. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2022.115442>
- Paguia, H. M., Paguia, R. Q., Pinsel, J. R. A., Zaballa, S., Abuan, A. G., & Corpuz, M. N. C. (2022). Effect of adding different levels of duckweed (*Lemna minor* Linn.) in the diet on live body weight, hematological traits and production cost of free-range chickens, *Gallus domesticus* Linn. (Black Australorp x Barred Plymouth Rock). *Agricultural Science*, *4*(2), p16. <https://doi.org/10.30560/as.v4n2p16>
- Pérez, F. (2022). El futuro de la dieta: ¿cómo nos alimentaremos en el futuro? *Clínica e Investigación En Arteriosclerosis*, *34*, S17–S23. <https://doi.org/10.1016/J.ARTERI.2021.12.003>
- Prada, O. J., Díaz, O. L., & Rocha, K. T. (2024). Common duckweed (*Lemna minor*): food and environmental potential. Review. In *Revista Mexicana De Ciencias Pecuarias* (Vol. 15, Issue 2, pp. 404–424). INIFAP-CENID Parasitología Veterinaria. <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6107>
- Reyes, S. E., & Cano, D. M. (2022). Efectos de la agricultura intensiva y el cambio climático sobre la biodiversidad. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, *24*(1), 53–64. <https://doi.org/10.18271/ria.2022.328>
- Rodríguez, A. M. (2020, July 20). Propuesta de alternativas de producción de proteína para alimentación animal a partir de insectos en Colombia. *Repositorio Universidad Nacional Abierta y a Distancia*. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36259#.Y-gmHmhy7Fc.mendeley>
- Rusoff, L. L., Blakeney, E. W., & Culley, D. D. (1980). Duckweeds (Lemnaceae Family): A potential source of protein and amino acids. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *28*(4), 848–850. [https://doi.org/10.1021/JF60230A040/ASSET/JF60230A040.FP.PNG\\_V03](https://doi.org/10.1021/JF60230A040/ASSET/JF60230A040.FP.PNG_V03)
- Shammout, M. W., & Zakaria, H. (2015). Water lentils (duckweed) in Jordan irrigation ponds as a natural water bioremediation agent and protein source for broilers. *Ecological Engineering*, *83*, 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.041>
- Shrivastav, A. K., Kumar, G., Mittal, P., Tocher, D. R., Glencross, B. D., Chakrabarti, R., & Sharma, J. (2022). Effect of greater duckweed *Spirodela polyrhiza* supplemented feed on growth performance, digestive enzymes, amino and fatty acid profiles, and expression of genes involved in fatty acid biosynthesis of juvenile Common Carp *Cyprinus carpio*. *Frontiers in Marine Science*, *9*. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.788455>

- Sowjanya Sree, K., Dahse, H. M., Chandran, J. N., Schneider, B., Jahreis, G., & Appenroth, K. J. (2019). Duckweed for human nutrition: No cytotoxic and No anti-proliferative effects on human cell lines. *Plant Foods for Human Nutrition*, *74*(2), 223–224. <https://doi.org/10.1007/S11130-019-00725-X/TABLES/1>
- Sree, K. S., Bog, M., & Appenroth, K.-J. (2016). Taxonomy of duckweeds (Lemnaceae), potential new crop plants. *Emir. J. Food Agric*, *28*. <https://doi.org/10.9755/ejfa.2016-01-038>
- Sree, K. S., Maheshwari, S. C., Boka, K., Khurana, J. P., Keresztes, Á., & Appenroth, K. J. (2015). The duckweed *Wolffia microscopica*: A unique aquatic monocot. *Flora - Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants*, *210*, 31–39. <https://doi.org/10.1016/J.FLORA.2014.10.006>
- Sulaiman, N. S., Mohd Zaini, H., Wan Ishak, W. R., Matanjun, P., George, R., Mantihal, S., Ching, F. F., & Pindi, W. (2025). Duckweed protein: Extraction, modification, and potential application. *Food Chemistry*, *463*, 141544. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2024.141544>
- Tallentire, C. W., Mackenzie, S. G., & Kyriazakis, I. (2018). Can novel ingredients replace soybeans and reduce the environmental burdens of European livestock systems in the future? *Journal of Cleaner Production*, *187*, 338–347. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.212>
- Tavares, F. D. A., Rodrigues, J. B. R., Fracalossi, D. M., Esquivel, J., & Roubach, R. (2008). Dried duckweed and commercial feed promote adequate growth performance of tilapia fingerlings. *Biotemas*, *21*(3). <https://doi.org/10.5007/2175-7925.2008v21n3p91>
- Vanegas, L. S., Restrepo, D. A., & López, J. H. (2009). Características de las bebidas con proteína de soya. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, *62*(2), 5165–5175. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0304-28472009000200015&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472009000200015&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Vargas, O. N., Bustamante, J., Alvarez Díaz, C. A., & Sánchez Quinche, Á. R. (2019). Índices productivos en pollos broiler alimentados con diferentes niveles de lenteja de agua (*Lemna minor*) fresca como reemplazo del balanceado. *IOSR Journal of Engineering (IOSRJEN) Www.Iosrjen.Org ISSN, 09*(8), 1–06.
- Zaffer, B., Sheikh, I. U., Banday, M. T., Adil, S., Ahmed, H. A., Khan, A. S., Nissa, S. S., & Mirza, U. (2020). Effect of inclusion of different levels of duckweed (*Lemna minor*) on the performance of broiler chicken. *Indian Journal of Animal Research*, *55*(Of), 1200–1205. <https://doi.org/10.18805/IJAR.B-4201>
- Zhao, Z., Shi, H., Liu, Y., Zhao, H., Su, H., Wang, M., & Zhao, Y. (2014). The influence of duckweed species diversity on biomass productivity and nutrient removal efficiency in swine wastewater. *Bioresource Technology*, *167*, 383–389. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.031>