

Evaluación de biomasa y cenizas de la *Lemna minor* mediante fertilización química y orgánica

Assessed biomass and ash content in Lemna minor through chemical and organic fertilization

Francisco Javier Cabezas Manzano ^{1*}, Marco Antonio Caicedo Molina ², Hugo Moisés Cedeño Villacis ³ y Katherine Elizabeth Martínez Barona ⁴

¹ Universidad Agraria del Ecuador UAE, Facultad de Ciencias Agrarias Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Ecuador, Guayaquil, 090513; <https://orcid.org/0009-0006-8587-076X>

² Universidad Agraria del Ecuador UAE, Facultad de Ciencias Agrarias Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Ecuador, Guayaquil, 090114; <https://orcid.org/0009-0005-3127-0841>, marco.caicedo.molina@uagraría.edu.ec

³ Universidad Agraria del Ecuador UAE, Facultad de Ciencias Agrarias Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Ecuador, Quevedo, 120550; <https://orcid.org/0009-0005-3184-6767>, hugo.cedeno.villacis@uagraría.edu.ec

⁴ Universidad Agraria del Ecuador UAE, Facultad de Ciencias Agrarias Dr. Jacobo Bucaram Ortiz, Ecuador, Guayaquil, 090104; <https://orcid.org/0000-0001-7346-2642>, katherine.martinez.barona@uagraría.edu.ec

Cita: Cabezas Manzano, F. J., Caicedo Molina, M. A., Cedeño Villacis, H. M., & Martínez Barona, K. E. (2026). Evaluación de biomasa y cenizas de la *Lemna minor* mediante fertilización química y orgánica. *Horizon Nexus Journal*, 4(3), 144-156. <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n3/151>

* Correspondencia: francisco.cabezas.manzano@uagraría.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v4/n3/151>

Recibido: 06/06/2026
Revisado: 26/07/2026
Aceptado: 30/07/2026
Publicado: 10/08/2026



Copyright: © 2026 por los autores. Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. (CC BY-NC).

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

Resumen: Debido a la necesidad de optimizar recursos en la producción acuícola y la alimentación animal, este estudio analizó el efecto de la fertilización sobre la lenteja de agua (*Lemna minor*), evaluando si el uso de nutrientes adicionales maximiza de forma simultánea su rendimiento físico y su calidad mineral. Para ello, se garantizó un medio de cultivo con todas las condiciones ambientales óptimas y se aplicaron tres tratamientos en un diseño controlado: un fertilizante químico, un biofertilizante orgánico, y un grupo testigo. Los resultados demostraron que los fertilizantes no indujeron un incremento extra en la cantidad de biomasa seca en comparación con el control, confirmando que la planta regula su desarrollo de forma natural aprovechando solo los recursos indispensables. No obstante, el análisis bromatológico reveló que el volumen físico no coincide con la riqueza nutricional; el grupo control obtuvo la menor concentración de minerales, mientras que el fertilizante orgánico optimizó drásticamente la acumulación de cenizas totales en el tejido vegetal. Se concluye que existe un comportamiento inversamente proporcional entre el volumen físico y la riqueza mineral de la *L. minor*, posicionando al fertilizante orgánico como la opción más viable si se busca obtener alta concentración de nutrientes.

Palabras clave: acuática, análisis bromatológico, lenteja de agua, mineral.

Abstract: Due to the need to optimize resources in aquaculture production and animal feeding, this study analyzed the effect of fertilization on duckweed (*Lemna minor*), evaluating whether the use of additional nutrients simultaneously maximizes its physical yield and mineral quality. To this end, a culture medium with optimal environmental conditions was ensured, and

three treatments were applied under a controlled design: a chemical fertilizer, an organic biofertilizer, and a control group. The results demonstrated that the fertilizers did not induce an additional increase in the amount of dry biomass compared to the control, confirming that the plant naturally regulates its development by utilizing only indispensable resources. However, the bromatological analysis revealed that physical volume does not align with nutritional richness; the control group achieved the lowest concentration of minerals, whereas the organic fertilizer drastically optimized total ash accumulation in the plant tissue. It is concluded that an inversely proportional relationship exists between physical volume and mineral richness in *L. minor*, positioning the organic fertilizer as the most viable option when seeking a high concentration of nutrients.

Keywords: aquatic, food analysis, duckweed, mineral.

1. Introducción

La demanda global de alimentos y la alta necesidad de una producción sostenible representan un desafío crítico en la obtención de proteínas a gran escala, cuya producción provoca efectos de gases invernadero (Sosa et al., 2024). Ante esta problemática, las proteínas de origen vegetal y en especial las lentejas de agua (*L. minor*) emergen como una alternativa altamente prometedora debido a su elevada producción de biomasa, resistencia y capacidad de desarrollo en sistemas verticales o de agua recirculante (Vera-Rodríguez et al., 2025). En el ámbito de la producción animal, pueden ser aprovechadas como una alternativa en su alimentación, pudiendo utilizarse en sectores clave como la ganadería y la avicultura, logrando adaptarse eficazmente a niveles de salinidad de hasta 6 g/L (Ullah et al., 2021). Asimismo, la composición química de *L. minor* evidencia la presencia de ácido ascórbico, clorofila y compuestos fenólicos con capacidad antioxidante y defensiva contra patógenos, posicionándose como una fuente proteica sostenible capaz de fortalecer la seguridad alimentaria (Vera et al., 2024).

En la producción del cultivo de *L. minor* resulta altamente eficiente y rentable al demandar poca inversión, gracias a su elevada tasa relativa de crecimiento en cuerpos de agua poco profundos (Prada et al., 2024). Para optimizar este rendimiento, el manejo del medio acuático se establece como un factor determinante, requiriéndose aguas en calma con un flujo mínimo o nulo, asimismo, adecuada oxigenación para procurar el crecimiento de la planta (Heath, 2024). Esta acelerada tasa de crecimiento y la acumulación de biomasa permite realizar cosechas continuas hasta dos veces por semana, facilitando la manipulación de su perfil bioquímico mediante el ajuste de nutrientes en el medio (Ullah et al., 2022). De igual manera, las investigaciones confirman que la intensidad de la radiación lumínica y el balance adecuado de nutrientes actúan de forma interactiva para maximizar la producción de masa fresca y el rendimiento de la especie (Magahud & Dalumpines, 2021).

Por otro lado, *L. minor* demuestra gran potencial en procesos de biorremediación al desarrollarse en efluentes industriales y asimilar eficientemente los niveles de nitrógeno y fósforo sin acumular metales pesados como arsénico, cadmio o plomo a niveles tóxicos (Devlamynck et al., 2021). Respecto al acondicionamiento del medio de cultivo, resulta crucial regular el pH del sustrato dentro de un rango de 6 a 7.5, dado que niveles altos de alcalinidad inhibe drásticamente el desarrollo vegetal a menos que las aguas residuales sean adecuadamente acidificadas (Jones et al., 2023). Adicionalmente, el

control de las variables físicas establece que un fotoperiodo de 12 horas luz con relación a una temperatura constante de 25 °C constituye el escenario óptimo para el crecimiento de la biomasa (Sender & Grzywna, 2025). En conjunto, la interacción entre la calidad hídrica, la intensidad lumínica y el equilibrio térmico, consolida a la especie como un insumo de alta eficiencia para la agricultura y acuicultura sostenible (Sender & Grzywna, 2025).

2. Materiales y Métodos

El material vegetal se adquirió en un establecimiento comercial especializado en acuariofilia en el norte de Guayaquil (Guayas, Ecuador). Se seleccionó un lote inicial de plantas con aspecto saludable, coloración verde homogénea, libres de plagas y enfermedades visibles.

Para este estudio se realizó la instalación de tres cubículos con una medida de 30 cm altura x 30 cm de ancho x 30 cm de largo, dispuestos de forma aislada sobre soportes poliméricos independientes a una distancia de 5 cm. Cada unidad se llenó de agua embotellada sometida a un proceso de osmosis inversa, hasta alcanzar una altura de 15 cm, lo que representó un volumen de 13.5 L por unidad. El ambiente acuático en el cual se sometió la planta constó de la siguiente composición química, ver tabla 1.

Tabla 1. Composición química del agua.

Composición química	Concentración
Dureza total	19
HCO3-	50 mg
Cloruros:	20 mg
Alcalinidad	30 mg
Cl	0 %
Ca	7,19mg
pH	6,8
Sólidos totales	90 ppm
Na	5 mg
NO2-	0

Se aseguraron los requerimientos lumínicos que *L. minor* necesita para realizar su proceso de fotosíntesis, se instaló iluminación artificial suspendida sobre los cubículos de cultivo. La instalación constó de una estructura de madera como soporte, sobre la cual se ajustaron de manera individual extensiones eléctricas con sus respectivas boquillas. En cada uno de estos puntos se instaló un foco led, asegurando así una distribución homogénea de la luz sobre las unidades experimentales. Se utilizaron focos led transparentes tipo bombillo, con sus características de consumo: 6W, luz: amarilla (cálida), Intensidad de luz: 700 lúmens. Los focos se ubicaron a una distancia de 10 cm por encima de la superficie del agua en cada cubículo, lo que permitió una distribución uniforme de la luz sin provocar un aumento elevado de la temperatura. Posteriormente, los focos se mantuvieron en un fotoperíodo de 12 horas luz (de 6:00 hasta las 18:00) y 12 horas sin luz (18:00 hasta las 6:00), para así garantizar el proceso de fotosíntesis de la planta.

El cultivo de *L. minor* se realizó de manera individual en cada cubículo, una vez llenada, a la medida de 15 cm (13.5 L), se optó por medir el pH del agua (marca Aqua) por medio de tiras marcadoras de pH y se obtuvo un pH ligeramente ácido (6,8). Por otro lado, antes de plantar, la lenteja de agua fue sometida a un proceso de secado con la ayuda de papel absorbente. Consiguientemente, para contener las muestras de 10g se usó un vaso de precipitación para cada unidad, la cuales fueron colocadas por medio de una báscula electrónica (marca Truper, modelo 102317, BASE-3).

Seleccionado los 10 g de *L. minor* se realizó el cultivo adecuado en cada pecera, seguidamente, se decidió realizar la dosificación adecuada para el grupo con fertilizante orgánico y químico. En el Tratamiento uno, las dosis fueron de 1mg de (fertilizante químico, marca YaraMila Complex™) que dentro de su descripción contaba con un valor nutricional de: Nitrógeno: 12.4%, Fósforo: 11.0%, Potasio: 18.0%, Magnesio: 2.7%, Azufre: 8.0%, con microelementos como B, Fe, Mn y Zn. Para el Tratamiento dos la dosis fue de 12 ml de (fertilizante orgánico, marca Biol Pumamaqui®) cuenta con valores de: Nitrogeno 1.00 ± 0.10 , Fósforo 1.00 ± 0.10 , Potasio 1.00 ± 0.10 , Materia orgánica 30.0%, enriquecido con: Ca, Zn, Mn, Fe y Boro. Y, por último, el Tratamiento tres (grupo control). En el grupo control no se aplicó ningún tipo de fertilizante, se mantuvo únicamente con el agua purificada envasada; para el grupo del tratamiento de fertilizante orgánico líquido se usaron jeringas de 20 ml, para medir con precisión el volumen requerido antes de ser incorporada al agua de la pecera. Por otro lado, para el grupo del tratamiento del fertilizante químico granulado se utilizó la báscula electrónica mediante la cual se pesó una cantidad de 1g del fertilizante antes de ser incorporadas al agua.

Para el control del ambiente aplicado a los tratamiento de cada ciclo se realizaron mediciones: El pH del agua se midió con tiras reactivas cada 24 horas, la temperatura se midió con un termómetro punta de mercurio cada 12 horas, la dosificación para los fertilizantes del grupo uno y dos, se realizó una vez al inicio de cada ciclo de cultivo, por lo tanto, estas medidas se hicieron hasta finalizar una cosecha que duró cuatro días durante tres ciclos continuos.

Al concluir el cuarto día de desarrollo, la biomasa total de cada tratamiento fue cosechada, sometida a un proceso de secado superficial con el uso de papel absorbente, se colocó en vasos de precipitación para ser pesadas en la báscula electrónica y registrar los diferentes pesos obtenidos durante cada uno de los tres ciclos continuos. Al obtener la biomasa final del cuarto día de cada ciclo, se cosecharon la biomasa obtenida de cada muestra, y se los almacenó en bolsas de plástico. Luego, fueron trasladados al laboratorio bromatológico de la Universidad Agraria del Ecuador, sede Guayaquil.

Garantizando la homogenización de cada una de las muestras se escogió un mismo peso inicial (3g), continuamente se usó un mortero de porcelana para facilitar la exposición de los tejidos. El uso adecuado para la obtención de la materia seca y la calcinación se realizó en crisoles de Gooch cuyo objetivo fue cuantificar con precisión exacta la fracción orgánica e inorgánica de la lenteja de agua. Por lo tanto, se implementaron los protocolos adecuados como menciona (Islam et al., 2026), en su estudio para la cuantificación de materia orgánica e inorgánica de macrófitas en la mufla, ya que permitió conocer una relación inversamente proporcional tanto en el rendimiento físico de la planta y concentración mineral.

Una vez obtenida las muestras homogenizadas se procedió a depositar cada muestra en un crisol tarado mediante el uso de una balanza analítica. Para garantizar el proceso de materia seca de cada una de las muestras, de acuerdo con Vera et al. (2024), el secado se llevó a cabo en una estufa de desecación térmica convencional, a una temperatura de 105°C durante un período de 24 horas para evaporar la totalidad de agua.

El cálculo de la MS se obtuvo a partir de la formulación obtenida de (Reyes et al., 2017.)

$$\text{MS (\%)} = (\text{Peso seco final/peso fresco inicial}) * 100$$

Trascurrido el tiempo las muestras se retiraron y se colocaron inmediatamente en la balanza analítica en donde se pesaron y se documentó el peso de MS. Luego, se transfirió cada muestra de MS a la mufla para la calcinación, que según Bandarra et al. (2023), debe ser programada con un calentamiento gradual hasta alcanzar los 550°C manteniéndose a esta temperatura constante durante 2 horas para asegurar la combustión y volatilización completa de la materia orgánica.

Al finalizar la calcinación, se pesaron los crisoles con el residuo mineral inorgánico remanente para cuantificar el porcentaje de cenizas totales (CT) sobre base seca.

Siguiendo la metodología Mgbemena et al. (2026), para la determinación del porcentaje de cenizas totales (CT) se optó por el uso de la siguiente fórmula establecida:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{W_2 - W_1}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

Donde cada variable corresponde a los datos obtenidos y registrados en la bitácora del laboratorio:

W_1 : El peso (en gramos) del crisol vacío y tarado (limpio, seco y calcinado previamente en la mufla)

W_2 : El peso (en gramos) del crisol con las cenizas después de haber incinerado la *L. minor* en la mufla (a 550 °C) y haberlo dejado secar en el desecador.

2.1 Diseño y tipo de investigación

La población de estudio está constituida por muestra de la especie *L. minor* (material experimental vegetal).

El estudio se realizó bajo un enfoque cuantitativo, en base a que las variables de estudio fueron medidas y expresadas numéricamente. Esta investigación fue de tipo aplicada, se buscó medir el efecto de diferentes fuentes de fertilización sobre el crecimiento y composición de *L. minor* bajo condiciones totalmente controladas, el nivel de la investigación fue explicativo, debido a que se analizó la influencia del tipo de fertilizante sobre las variables de respuesta,

La modalidad correspondió a una investigación experimental de laboratorio, se terminó empleando un diseño completamente al azar ($Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$) con 3 tratamientos: Control (sin fertilizante), Fertilizante químico (Yaramila Complex) y Orgánico (Biol Pumamaqui).

Se utilizó el método experimental mediante la manipulación controlada de la variable independiente y su determinación de sus efectos sobre las variables dependientes: ganancia de biomasa, porcentaje de materia seca y porcentaje de cenizas totales de *L. Minor*.

Para el análisis estadístico de los datos obtenidos en el proyecto experimental de los tres ciclos que fueron realizados se trabajará con un nivel de significancia $\alpha = 0,05$. A su vez, se optó por el uso de un software específico como Jamovi, con el fin de comprobar los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Una vez que se cumplieron los supuestos, se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA) el cual permitió conocer que existió una diferencia significativa entre los grupos tratados. Por lo tanto, se evidenció que los grupos tratados no son homogéneos y se implementó la comprobación por medio de la prueba post-hoc Tukey que permitió evaluar que grupo tratado es mejor estadísticamente en el crecimiento de biomasa, materia seca (MS) y cenizas totales (CT).

3. Resultados

En este apartado se presentaron los resultados que se obtuvieron a partir de los diseños experimentales que se implementaron para demostrar el aumento de biomasa de *L. minor* por medio del uso de un fertilizante químico u orgánico, a su vez de poder demostrar que tipo de fertilizante puede ayudar en la concentración de nutrientes, reflejándose en un aumento de cenizas totales.

3.1 Parámetros

3.1.1 Temperatura

La temperatura del agua se mantuvo homogénea entre los grupos experimentales durante las mediciones que fueron realizadas cada 12 horas. Sin embargo, las variaciones en la temperatura ambiental influyeron tanto en un aumento o descenso en la temperatura del agua, lo que generó que se registrarán temperaturas fluctuantes.

3.1.2 pH

Los valores de pH no presentaron variaciones significativas entre los grupos experimentales a la hora de la medición cada 24 horas. A pesar de que el fertilizante orgánico poseía una capacidad de alcalinizar el medio, la dilución previa realizada con el agua tratada del mismo grupo permitió mitigar el incremento de pH.

3.1.3 Fotoperíodo

El fotoperíodo implementado con luces con una potencia 6W influyó de manera positiva en el proceso de fotosíntesis entre los grupos experimentales. Este resultado fue notable, pese a que esta planta requiere necesidades lumínicas mucho mayores a las que fueron administradas. Además, estas fueron tomadas en mediciones de 12 horas como fueron establecidas en el diseño experimental.

3.2. Biomasa

La tabla tres indicó que la biomasa obtenida fue notablemente superior en el grupo control en comparación a los grupos con el uso de fertilizantes (químico y orgánico). El promedio del grupo control superó con una discrepancia al tratamiento Yaramila y al

Pumamaqui, evidenciando el impacto de cada grupo en el crecimiento de la biomasa durante los 3 ciclos realizados en todo el proyecto experimental.

3.3 Materia Seca (MS)

Se evidenció una deshidratación tisular al momento de ingresar la lenteja de agua a la balanza analítica en el laboratorio de bromatología; debido a que, al ser plantas acuáticas poseían un porcentaje elevado de agua, y al ser introducidas en esta cámara perdieron gradualmente una leve cantidad de agua. Por lo tanto, en el grupo con Yaramila la pérdida fue de 95.7%, el grupo Pumamaqui contó con 95.2% y el grupo control registró una pérdida de 93.3%.

Una vez sometidos los grupos experimentales al proceso de secado por medio del horno durante 24 horas, se procedió a pesar los grupos con sus respectivos crisoles, en este caso se realizó la fórmula de: (Peso de crisol con materia seca - Peso del crisol vacío), de la cual se obtuvieron los datos demostrados en la Tabla 3. Además, esto permitió evidenciar que el grupo control tuvo una mayor cantidad de MS, contando con una diferencia estadísticamente significativa del grupo Yaramila y el grupo Pumamaqui.

3.4 Cenizas totales

Para la determinación del porcentaje de cenizas totales, se procedió a usar una cantidad estadísticamente homogénea de MS entre los grupos experimentales. Luego, se llevó a la mufla la MS de la lenteja de agua durante 4 horas; una vez terminadas las 4 horas, la materia seca fue calcinada y trasladada a la balanza analítica, en donde se aplicó la fórmula utilizada por Mgbemena et al. (2026), para identificar cuántos gramos de cenizas se encontraron.

Como se evidencia en la Tabla 4, el grupo Pumamaqui demostró tener la mayor cantidad y concentración de cenizas totales. Este valor representó una diferencia en comparación con el tratamiento Yaramila y del grupo Control. Con esto se destaca que el uso del fertilizante orgánico favoreció una mayor acumulación de minerales en la biomasa remanente.

3.5 Análisis estadístico

Previo a la validación de supuestos, se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) seguido de una prueba post-hoc Tukey para contrastar las medias por pares. En el análisis de biomasa, los resultados determinaron una diferencia significativa, demostrando que el grupo control representó una vía óptima. En cuanto al peso final de materia seca (MS), se encontró una diferencia altamente significativa, indicando también al grupo control como la vía óptima. Finalmente, para las cenizas totales (CT), el análisis arrojó una diferencia altamente significativa, evidenciando que el grupo de pumumaqui representó una vía óptima (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis descriptivo de las variables de crecimiento biomassal

Descriptivas				
	TRATAMIENTOS	PESO_INICIAL	PESO_FINAL	RELACIÓN
Media	YARAMILA	10.0	13.9	3.93

Desviación típica	PUMUMAQUI	10.0	15.1	5.07
	CONTROL	10.0	19.1	9.13
	YARAMILA	0.00	0.208	0.208
Mínimo	PUMUMAQUI	0.00	0.153	0.153
	CONTROL	0.00	0.321	0.321
	YARAMILA	10	13.7	3.70
Máximo	PUMUMAQUI	10	14.9	4.90
	CONTROL	10	18.9	8.90
	YARAMILA	10	14.1	4.10
	PUMUMAQUI	10	15.2	5.20
	CONTROL	10	19.5	9.50

Tabla 3. Resumen de los estadísticos descriptivos para las variables medibles para la obtención de materia seca (MS) según el tratamiento aplicado.

TRATAMIENTOS		BIOMASA_ INICIAL	CRISOI_ VACÍO	CRISOL_ CON_MS	MS_PESO_ FINAL
Media	YARAMILA	3.02	26.6	26.7	0.130
	PUMUMAQUI	3.02	24.1	24.3	0.145
	CONTROL	3.02	21.7	21.8	0.203
Mediana	YARAMILA	3.02	26.3	26.5	0.130
	PUMUMAQUI	3.01	24.0	24.2	0.146
	CONTROL	3.01	21.7	21.8	0.202
Mínimo	YARAMILA	3.00	24.9	25.1	0.129
	PUMUMAQUI	3.00	23.5	23.7	0.144
	CONTROL	3.01	21.6	21.7	0.202
Máximo	YARAMILA	3.04	28.5	28.6	0.131
	PUMUMAQUI	3.04	24.9	25.1	0.146
	CONTROL	3.05	21.9	22.0	0.204

Tabla 4. *Resumen estadístico de la determinación de cenizas totales (CT) por tratamiento.*

Descriptivas						
	TRATAMIENTOS	CRISOL_VACÍO	MS_HOMOGENEO	%_(CT)	Peso_Ceniza_(g)	CRISOL_CON_CENIZA_(g)
Media	YARAMILA	26.6	0.130	20.5	0.0265	26.6
	PUMUM AQUI	24.1	0.129	28.0	0.0362	24.1
	CONTR OL	21.7	0.129	8.48	0.0110	21.7
Mediana	YARAMILA	26.3	0.130	20.4	0.0265	26.4
	PUMUM AQUI	24.0	0.129	27.9	0.0362	24.0
	CONTR OL	21.7	0.129	8.48	0.0110	21.7
Mínimo	YARAMILA	24.9	0.129	20.4	0.0265	25.0
	PUMUM AQUI	23.5	0.129	27.9	0.0361	23.5
	CONTR OL	21.6	0.129	8.42	0.0109	21.6
Máximo	YARAMILA	28.5	0.131	20.6	0.0266	28.5
	PUMUM AQUI	24.9	0.130	28.1	0.0363	24.9
	CONTR OL	21.9	0.130	8.55	0.0110	21.9

4. Discusión

Según (Miltko et al., 2024), en su estudio de comparación de *L. minor*, se puede evidenciar que la lenteja de agua en medios acuáticos naturales presenta un porcentaje de humedad del 90.19% y de MS del 9.81%; en contraste con el grupo en condiciones de laboratorio, que registró un 92.08% y 7.92%, respectivamente. En nuestro estudio, el grupo sin ningún tipo de abono arrojó un porcentaje de materia seca (MS) notablemente mayor en comparación con los grupos tratados con fertilizantes químico y orgánico,

reflejando así una menor cantidad de humedad frente al incremento de esta última en los tratamientos fertilizados

Según señalan Tekoğul et al. (2023), las distintas fuentes y concentraciones de nutrientes aplicadas en medios de cultivo para *L. minor* modifican de manera directa la estructura bioquímica y el balance hídrico de la planta, encontrando variaciones significativas en los porcentajes de materia seca y en la retención de agua intracelular según la disponibilidad iónica. En el proyecto experimental, se observó que el grupo control tuvo diferencias significativas al registrar un porcentaje mayor de materia seca y menor proporción de humedad, a diferencia de los tratamientos con fertilizante. Este comportamiento hace énfasis en la incorporación de nutrientes aceleró los procesos osmóticos y metabólicos que priorizaron la síntesis y retención de agua en los tejidos vegetales por encima de la acumulación estructural de materia seca. Esto sugiere que, bajo condiciones controladas, la planta no requiere aportes masivos de fertilización sintética u orgánica para mantener un desarrollo hídrico estable, ya que una mayor disponibilidad de nutrientes tiende a diluir transitoriamente los componentes secos debido al influjo hídrico celular.

La implementación de un período de aclimatación inicial de cinco días permitió estabilizar las plántulas y reducir el estrés por trasplante antes de aplicar los tratamientos, un procedimiento que concuerda con los protocolos de fitorremediación reportados por Quispe et al. (2021). No obstante, al contrastar el crecimiento longitudinal observado por dichos autores, quienes registraron un incremento de apenas 2,55 cm en cuatro meses para *L. minor*. Con los resultados de esta investigación, se evidencia que la biomasa de la lenteja de agua responde de manera distinta bajo ambientes controlados con fertilización dirigida. Mientras que en cuerpos de aguas residuales el desarrollo físico es lento y limitado por la disponibilidad variable de nutrientes, la aplicación de fuentes directas como YaraMila Complex o el Biol Pumamaqui demostró que el crecimiento y la acumulación de biomasa seca se regulan de forma natural, priorizando la estabilidad de la planta frente a un incremento expansivo desproporcionado.

De acuerdo con (Takács et al., 2025), el contenido mineral total en la familia *Lemnaceae* es altamente dependiente del entorno de cultivo y de la capacidad de bioacumulación específica de la especie, existiendo un margen variable de elementos inorgánicos asimilados que responden de forma independiente al simple crecimiento masivo del tejido.

En este estudio, este fenómeno se evidenció en el desacople entre el volumen físico de biomasa y la concentración de cenizas totales. Mientras que la producción general de biomasa se comportó de una manera específica, el tratamiento con el biofertilizante orgánico (Biol Pumamaqui) logró maximizar de forma sobresaliente la acumulación de minerales totales (cenizas) en comparación con el grupo control y el fertilizante sintético. Esto demuestra que la eficiencia en la mineralización no depende estrictamente de un mayor rendimiento de biomasa, sino de la naturaleza de los compuestos asimilados y de la disponibilidad gradual de micronutrientes presentes en las fuentes orgánicas, las cuales facilitan una absorción iónica superior y potencian el perfil mineral de la planta.

Si bien el tratamiento sin ningún tipo de abono maximizó la biomasa total y seca, los tratamientos con fertilizante (orgánico y Pumamaqui) tienen una mayor respuesta en la

concentración mineral. Como menciona Hau & Mah. (2025), la cual respalda su gran capacidad de crecimiento y su potencial para la alimentación sostenible, la producción de biocombustibles, aplicaciones antidiabéticas y la fitorremediación. Por ello, se plantea que futuras investigaciones deberían garantizar la inocuidad y el valor nutricional para industrias ambientales o alimentarias seguras.

Los resultados del análisis bromatológico mostraron que el tratamiento Pumumaqui, presentó el mayor contenido de cenizas totales (30%), seguido del tratamiento Yaramila (20%) y el control (18%). Esto sugiere que la aplicación de Pumumaqui favoreció a una mayor acumulación de minerales en los tejidos *L. minor* (Pagliuso et al., 2022), indican que las Lemnáceas presentan una gran capacidad para absorber nutrientes, es decir acumulan macro y micronutrientes, aunque esta acumulación no necesariamente se traduzca en más aumento de biomasa. Esto podría explicar, en el presente estudio, el tratamiento Pumumaqui obtuvo el mayor conteo de cenizas totales.

5. Conclusiones

En la industria alimenticia y agrónoma es muy común actualmente el uso de fertilizantes con el fin de acelerar el crecimiento de los cultivos y aumentar su concentración de materia orgánica e inorgánica. En este estudio, se evidenció que la capacidad de retención de agua en *L. minor* es mayor en medios controlados con fertilizantes, lo que se traduce en una mayor proporción de humedad y menor concentración de materia seca; en contraste, al grupo sin tratar que tuvo una proporción inversa. Sin embargo, en cuanto al porcentaje de cenizas totales (CT), las plantas tratadas con fertilizantes químico y orgánico reflejaron una cantidad significativamente mayor, demostrando una mayor acumulación de minerales. No obstante, el objetivo principal de este estudio no está alineado completamente con los resultados, puesto que el uso de fertilizantes no logró aumentar la densidad de biomasa de la forma esperada, a pesar de elevar la concentración de nutrientes. Estos hallazgos demuestran que el uso de abonos altera el balance hídrico y mineral de la planta, aportando información clave para la industria alimenticia según se busque maximizar la biomasa total o la concentración específica de nutrientes para su uso como aditivo en la producción animal y humana.

Agradecimientos: Se agradece de toda consideración al Ingeniero Rugel David como parte de la cátedra que brinda en la materia de Diseño experimental. Por otro lado, se agradece al Ing. Julio Cesar Villacrez junto al MVZ. Jaime Cabanilla, MSc., que nos brindaron acceso al laboratorio de bromatología en la Universidad Agraria del Ecuador durante los 3 ciclos establecidos durante el proyecto experimental. Destacamos también el aporte teórico al estudio sobre macrófitas al MVZ. José Humberto Rodríguez Vera MSc. Además, se agradece la paciencia, trabajo, fortalezas y responsabilidad de los miembros en la realización del proyecto experimental, gracias a esto se pudo dar con éxito la publicación de este artículo que sirve para el conocimiento y base para la industria alimenticia.

Contribución de los autores: Conceptualización, F-J-C-M; análisis formal, F-J-C-M; investigación, M-A-C-M; recursos, F-J-C-M, M-A-C-M, M-H-C-V, K-E-M-B; redacción del borrador original, M-A-C-M; redacción, revisión y edición, F-J-C-M, M-A-C-M; visualización, F-J-C-M, M-A-C-M; supervisión, F-J-C-M, M-A-C-M.

Conflicto de interés: Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Referencias bibliograficas

- Devlamynck, R. F. (2021). Lemna minor Cultivation for Treating Swine Manure and Providing Micronutrients for Animal Feed. *Plants*, 10(6), 1-17. <https://doi.org/10.3390/plants10061124>
- Hau, E., & Mah, S. (2025). Duckweed: Growth factor and applications in nonfood, food, and health. *Food Safety and Health*, 3(2), 144-154. <https://doi.org/10.1002/fsh3.12078>
- Heath, S. (07 de Mayo de 2024). How to Grow and Care for Duckweed. Obtenido de the spruce: <https://www.thespruce.com/duckweed-plant-profile-5181229>
- Islam, M., Sheikh, G., Sahib, Q., & Ahmed, H. (2026). Evaluation of mineral composition and in-vitro nutrient digestibility of macrophytes to assess their potential as sustainable animal feed. *Scientific reports*, 16(1), 7063. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-37642-4>
- Jaimes Prada, O., Lora Díaz, O., & Tache Rochas, K. (2024). Lenteja de agua (Lemna minor): potencial alimentario y ambiental. Revisión. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 404-424. doi: <https://doi.org/10.22319/rmcp.v15i2.6107>
- Jones, G., Scullion, J., D., S., Robson, P., & G. J., D. (2023). Lowering pH enables duckweed (Lemna minor L.) growth on toxic concentrations of high-nutrient agricultural wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 395, 136392. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136392>
- Magahud, J., & Dalumpines, S. (2021). Growth of duckweeds (Lemna minor. *Philippine Science Letters*, 14(1), 119-129. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/352065352_Growth_of_duckweeds_Lemna_minor_L_as_affected_by_light_intensity_nutrient_solution_concentration_and_light_x_nutrient_interaction
- Mgbemena, M., Okwunodulu, I., Okwunodulu, F., Onuchi Mac-Kalunta, M., & Okorie-Chukwuemeka, H. (2026). Nutrient exploration and heavy metal risk assessment of baby milk and infant formulae sold within Umuahia metropolis, Nigeria. *Scientific reports*, 16, 13751. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-44198-w>
- Miltko, R., Majewska, M., Wojtak, W., Bialek, M., Kowalki, B., & Czauderna, M. (2024). Comparing the chemical composition of lesser duckweed. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 33(3), 357–367. <https://doi.org/10.22358/jafs/189963/2024>
- Pagliuso, D., Grandis, A., Fortirer, J., Camargo, P., Floh, E., & Buckeridge, M. (2022). Duckweeds as Promising Food Feedstocks Globally. *Agronomy*, 12(4), 796. <https://doi.org/10.3390/agronomy12040796>
- Quispe Benavides, K., Guadalupe Baylón, N., Diaz Avalos, H., & Diaz Panduro, H. (2021). Utilización de Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales de la laguna de oxidación de la ciudad de Pucallpa, Perú. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(3), 2813-2827. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i3.491
- Reyes S., C., Hepp K., C., & Naguil T., A. (2017). Método directo para la mediación de materia seca y disponibilidad de forraje en praderas a pastoreo. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Centro Regional de Investigación Tamei Aike.

- Ficha Técnica INIA Tamel Aike. Recuperado el 12 de junio de 2026, de https://www.researchgate.net/profile/Christian-Hepp/publication/372458959_Metodo_directo_para_la_medicion_de_materia_seca_y_disponibilidad_de_forraje/links/64b83b6595bbbe0c6e494c1f/Metodo-directo-para-la-medicion-de-materia-seca-y-disponibilidad-de-forraj
- Rodríguez, J. H., Gavin-Moyano, C., Aveiga, M. d., Mata, J. D., Carrasco, J. D., Vidal, L. R., & Mata, B. E. (2025). Estudio químico de la macrófita lenteja de agua (*Lemna minor* L.). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 42(1), 1-5. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n1.II](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n1.II)
- Sales Bandarra, B., Mesquita, C., Passos, H., Rui C., M., Coelho, P., Coelho, P., . . . Quina, M. (2023). An integrated characterisation of incineration bottom ashes towards. *Journal of Hazardous Materials*, 455(131649), 1-27. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131649>
- Sender, J., & Grzywna, A. (2025). Influence of temperature and photoperiod on the growth and development of *Lemna trisulca* and *Lemna minor* in controlled conditions. *Journal of Ecological Engineering*, 26(2), 56-72. <https://doi.org/10.12911/22998993/195971>
- Sosa, D., M. Alves, F., A. Prieto, M., C. Pedrosa, M., A. Heleno, S., Barros, L., . . . Caroch, M. (2024). *Lemna minor*: Unlocking the Value of This Duckweed for the Food and Feed Industry. *Foods*, 13(10), 1435. <https://doi.org/10.3390/foods13101435>
- Takács, K., Végh, R., Mednyánszky, Z., Haddad, J., Allaf, K., Du, M., . . . Dalmadi, I. (2025). New Insights into Duckweed as an Alternative Source of Food and Feed: Key Components and Potential Technological Solutions to Increase Their Digestibility and Bioaccessibility. *Appl. Sci.*, 15(2), 884. <https://doi.org/10.3390/app15020884>
- Tekoğul, H., Saygı, H., Kop, A., Durmaz, Y., & Bayrak, A. (2023). Impact of Different Nitrogen Sources and Concentrations on the Growth and. *Acta Natura et Scientia*, 4(2), 114-125. <https://doi.org/10.29329/actanatsci.2023.354.2>
- Ullah, H., Bakhtiar Gul, H. K., & Zeb, U. (2021). Effect of salt stress on proximate composition of duckweed (*Lemna minor* L.). *Heliyon*, 7(6), 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07399>
- Ullah, H., Bakhtiar Gul, H. K., Naveed Akhtar, K. U., & Umar, Z. (2022). Effect of growth medium nitrogen and phosphorus on nutritional composition of *Lemna minor* (an alternative fish and poultry feed). *BMC Plant Biology*, 22(1), 214. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03600-1>