

**Comportamiento Morfológico del Lentejón de Agua (*Lemna minuta*) y Oreja de Ratón (*Salvinia molesta*) distintas concentraciones de aguas residuales comunales en Chanchamayo, 2023**



ARTICULO ORIGINAL

## Comportamiento Morfológico del Lentejón de Agua (*Lemna minuta*) y Oreja de Ratón (*Salvinia molesta*) distintas concentraciones de aguas residuales comunales en Chanchamayo, 2023

Morphological Behavior of *Lemna minuta* and *Salvinia molesta* under different concentrations of municipal wastewater in Chanchamayo, 2023

Jhelen Nicole Callan Alvites<sup>1\*</sup> , Celina Herminia Cano Vargas<sup>1</sup> 

### RESUMEN

El desarrollo de las comunidades nativas de Chanchamayo conlleva la generación de aguas residuales, resultando en la contaminación de los recursos hídricos, es por ello que la aplicación de tecnologías económicas y viables con recursos propios es una necesidad importante. Por tal razón se estudió el comportamiento de la *Lemna minuta* y *Salvinia molesta*, sometidos a distintas concentraciones de aguas residuales comunales. Se utilizaron tres sistemas: 1) primer sistema con 10 plántulas de *L. minuta*, 2) el segundo 10 plántulas de *S. molesta*, y, 3) el tercero 5 plántulas de cada planta. En total se establecieron 15 tratamientos, resultantes de 5 tipos de concentraciones de agua residual (100 %, 75 %, 50 %, 25 % y 0%) cada una de ellas con 3 repeticiones. Los tratamientos T1 y T2 del sistema de tratamiento 1 y 2 destacaron con un mejor crecimiento, por otra parte, en el sistema de tratamiento 3 fue la *S. molesta* quien destacó en el crecimiento morfológico en los tratamientos con 25 %, 50 % y 75 % de agua residual. Mientras tanto, T3 y T4 mostraron un desarrollo más limitado. Por lo tanto, los tratamientos con 25 % y 50 % de agua residual, de los 3 sistemas fueron más efectivos para el crecimiento de las plantas.

**Palabras clave:** *Lemna minuta*, *Salvinia molesta*, aguas residuales, Pichanaqui.

### ABSTRACT

The development of native communities in Chanchamayo involves the generation of wastewater, resulting in the contamination of water resources. Therefore, the application of cost-effective and viable technologies with local resources is an important necessity. For this reason, the behavior of *Lemna minuta* and *Salvinia molesta* subjected to different concentrations of communal wastewater was studied. Three systems were utilized: 1) the first system with 10 seedlings of *L. minuta*, 2) the second with 10 seedlings of *S. molesta*, and 3) the third with 5 seedlings of each plant. In total, 15 treatments were established, resulting from 5 types of wastewater concentrations (100%, 75%, 50%, 25%, and 0%), each with 3 replications. Treatments T1 and T2 from the first and second treatment systems stood out with better growth. On the other hand, in the third treatment system, *S. molesta* exhibited notable morphological growth in treatments with 25%, 50%, and 75% wastewater. Meanwhile, T3 and T4 showed more limited development. Therefore, treatments with 25% and 50% wastewater, across the three systems, were more effective for plant growth.

**Keywords:** *Lemna minuta*; *Salvinia molesta*; wastewater; Pichanaqui.

<sup>1</sup> Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa, Chanchamayo, Perú.

\*Autor de correspondencia.  
E-mail:  
[75311804@uniscisa.edu.pe](mailto:75311804@uniscisa.edu.pe)

Recibido: 15 de dic de 2023  
Aprobado: 23 de dic de 2023  
Publicado: 27 de dic de 2023

### Para citar este artículo

Callan Alvites J., Cano Vargas C. (2023). Comportamiento Morfológico del Lentejón de Agua (*Lemna minuta*) y Oreja de Ratón (*Salvinia molesta*) distintas concentraciones de aguas residuales comunales en Chanchamayo, 2023, Yotantsipanko, 3(2), 07-22. <https://doi.org/10.54288/yotantsipanko.v3i2.33>



## Introducción

El tratamiento y manejo de aguas residuales se han convertido en un desafío ambiental y social neurálgico en todo el mundo (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017). La creciente generación de aguas residuales y su impacto negativo en los recursos hídricos locales exigen una atención inmediata, las cuales, en ausencia de un tratamiento efectivo, amenazan a los ecosistemas acuáticos. Las tecnologías de tratamiento de aguas residuales desempeñan un papel crucial en la gestión ambiental y la preservación de recursos hídricos (Rey, 2015). Entre estas tecnologías, la fitorremediación se destaca como un enfoque efectivo y sostenible que involucra el uso de plantas acuáticas para absorber, acumular y transformar contaminantes en el agua (Muñoz, 2018). Es por ello que la aplicación de biotecnologías como los sistemas de macrófitas flotantes es una solución sostenible para reducir el impacto de las aguas residuales sobre los recursos hídricos.

Las macrófitas han sido consideradas por varios autores como una plaga debido a su rápido crecimiento, son plantas invasoras que pueden propiciar eutroficación y crear ambientes para la crianza de vectores de enfermedades, no obstante, si las plantas acuáticas se manejan adecuadamente, su poder de proliferación, habilidad para absorber contaminantes y nutrientes y su capacidad de bioacumulación de

contaminantes las convierten en una herramienta útil en el tratamiento de aguas residuales debido a que se genera interacciones físicas, químicas y biológicas, transformando lo que podría considerarse un desecho en un recurso valioso (Martelo, 2012; Herrera, 2018; Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo [UNASAM], 2020).

El 80% de las aguas residuales retornan al ecosistema sin ser tratadas o reutilizadas, lo que afecta significativamente la disponibilidad de agua para el consumo humano y las actividades humanas, provocando alteraciones en las fuentes hídricas como ríos, lagos y lagunas (UNESCO, 2021; David et al., 2022). Los tratamientos que involucran macrófitas han demostrado ser eficientes en la remediación de aguas con contenidos de nutrientes, materia orgánica y metales pesados (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2023). Hasta el año 2019 se estima que las plantas macrófitas con mayor estudio son la *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y la *Lemna minor*; además, se obtuvo valores resaltantes en aquellos que aplicaron macrófitas. Los valores más altos de remoción de contaminantes (DQO y DBO) se dieron en el *Eichhornia crassipes* y la *Lemna minor* siendo la remoción superior al 92 % (Delgado, 2019). Las plantas macrófitas tienen la peculiaridad de una alta predominancia en condiciones naturales adversas, por tanto, *L. minor* es empleada en sistemas de descontaminación de aguas (Panduro, 2021). Según Carranza (2020), la *L.*

*minor* posee alto potencial de acumular Cd, Se y Cu, y en menor medida Cr y Ni en sus tejidos, siendo ideal en la para la fitorremediación debido a su capacidad de acumulación y rápido crecimiento.

Chanchamayo, un valle que posee una significativa cantidad de recursos hídricos, se enfrenta a desafíos ambientales debido al crecimiento de la población y las comunidades nativas circundantes, lo que conlleva a la generación de aguas residuales. Desafortunadamente, en Chanchamayo, estas aguas residuales se vierten sin tratamiento previo en los ríos, resultando en la contaminación de estos cuerpos de agua. Esta problemática no solo afecta a las comunidades nativas, sino que también tiene un impacto negativo en la diversidad biológica, así como en el desarrollo de la región de la selva central. Como consecuencia, la disponibilidad de este recurso hídrico es cada vez más limitada en la provincia. Aunque hay mucha información sobre el uso de plantas macrófitas como el género *Lemna* y la *Salvinia molesta* en sistemas de tratamiento, en Chanchamayo aún hay carencias de información detallada y completa, en cuanto nos referimos al proceso fisiológico y la interacción de las plantas macrófitas durante el proceso de tratamiento de aguas residuales, sobre todo de la especie *L. minuta*.

A través de esta investigación se pretende evaluar el comportamiento morfológico del

Lentejón de agua (*L. minuta*) y Oreja de ratón (*S. molesta*) en distintas concentraciones de aguas residuales comunales para determinar su capacidad de adaptación y supervivencia en condiciones de contaminación variable. Esta investigación no solo contribuirá a mejorar nuestra comprensión de la ecología de estas especies, sino que también podría tener implicaciones importantes para la gestión de los diseños experimentales y la restauración de ecosistemas acuáticos.

## Materiales y métodos

### Área de estudio

La investigación se llevó a cabo el mes de noviembre del 2023 en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional Intercultural de la Selva Central Juan Santos Atahualpa (UNISCSJA), ubicada en el distrito de Pichanaqui, región Junín, Perú. La zona presenta una temperatura media anual de 26 °C y una precipitación de 458 mm.

### Macrófitas

Se emplearon dos especies de macrofitas: *Lemna minuta* y *Salvinia molesta* obtenidas de un vivero forestal de Lima. Se utilizaron 225 plántulas de cada especie con homogeneidad en edad y tiempo de siembra.

### Agua Residual Municipal y Comunal (ARM)

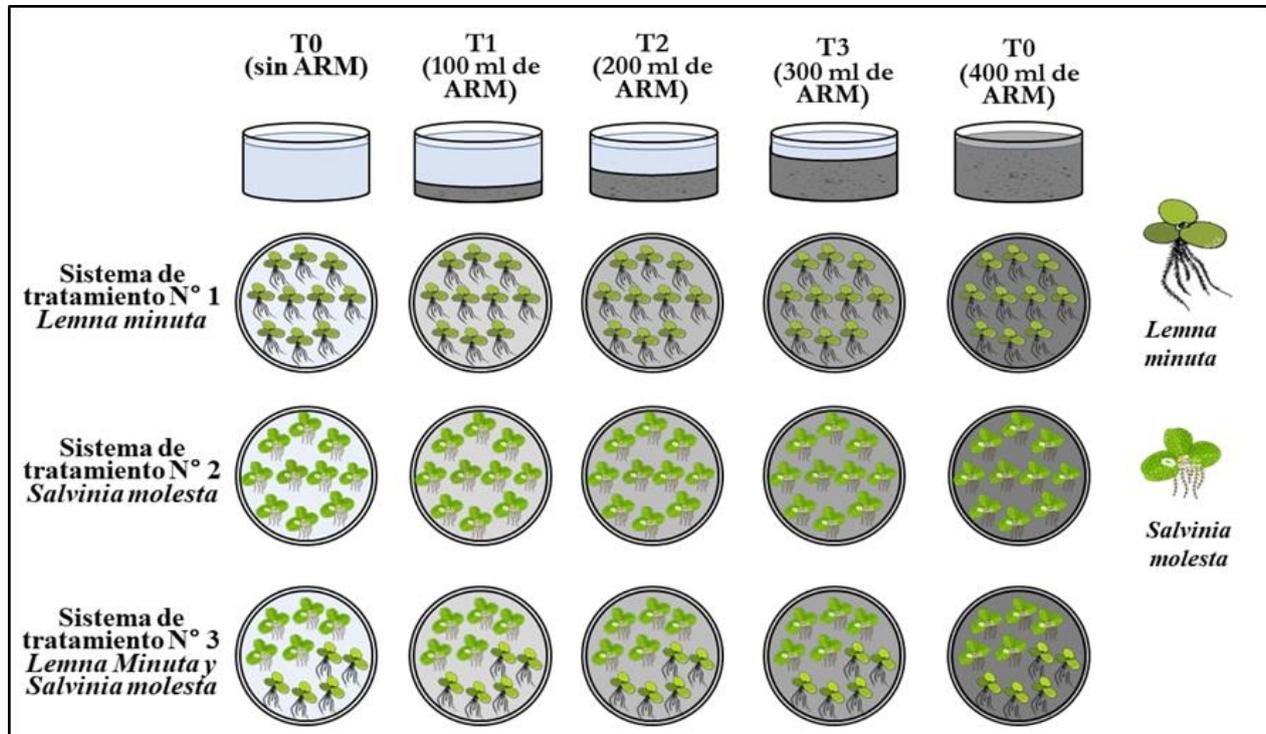
Se llevó a cabo un muestreo compuesto de aguas residuales tomadas en intervalos de tres horas (8.00 am, 11 am y 2 pm) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sangani (Hermanos Paucar), en el distrito de Pichanaqui, provincia de Chanchamayo, región Junín, en el centro del Perú. En cada hora de muestreo, se recolectaron 3 litros de agua residual en envases de plástico para su posterior tratamiento.

### Diseño Experimental

Se utilizaron tres sistemas de tratamiento por el método las tandas, el cual consistió en simular pequeñas fuentes de agua residual. Cada sistema consistió de 5 tipos de tratamientos y

con 3 repeticiones cada una. En el primer sistema, por cada tratamiento se distribuyó aleatoriamente 10 plántulas de *L. minuta*; en el segundo sistema se distribuyó aleatoriamente 10 plántulas de *S. molesta*, y, el tercer sistema con 5 plántulas de cada especie.

Los cinco tratamientos (T) implementados en cada sistema fueron: T0 control (sin agua residual), T1 con 25% de agua residual (100 ml), T2 con 50% de agua residual (200 ml), T3 con 75% de agua residual (300 ml) y T4 con 100 % de agua residual (400 ml). Se emplearon recipientes de plástico cilíndricos de 400 ml de capacidad. Cada tratamiento contuvo la cantidad de macrofitas designadas según los tres sistemas (Figura 1).



**Figura 1.** Diseño experimental de los Sistemas de Tratamiento de macrófitas en agua residual municipal y comunal. ARM: Agua Residual Municipal y Comunal

### Evaluación de los parámetros

Estas mediciones se realizaron diariamente durante un período de 19 días, entre las 10:00 am y la 1.00 pm, para garantizar la coherencia y consistencia de los datos a lo largo del estudio.

Se evaluaron los siguientes parámetros morfológicos:

- *Altura total (mm)*. Se recopilaron los registros de medición de ambas macrófitas que nos permitió evaluar el crecimiento vertical de cada una a lo largo del experimento. Para ello, se utilizó como instrumento de medición un vernier de 25 cm de largo y una lupa.
- *Longitud de las raíces sumergidas (mm)*. Se recopilaron los registros de ambas macrófitas que reflejaron la capacidad de absorción de nutrientes y la estabilidad de las plantas. Para ello, se utilizó como instrumento de medición un vernier de 25 cm de largo y una lupa.
- *Número de frondas*. Se recopilaron los registros de ambas macrófitas que fue indicativo de la capacidad de proliferación de las plantas. Se utilizó el método de observación para la cuantificación de frondas.
- *Ancho de frondas (mm)*. Se recopilaron los registros de ambas macrófitas que reflejó la expansión de la superficie foliar a lo largo del experimento. Para ello, se utilizó como instrumento de medición un vernier de 25 cm de largo y una lupa.
- *Longitud de las frondas (mm)*. Las mediciones y registros se llevaron a cabo de manera análoga al ancho de las frondas.

### Análisis estadístico

Los datos obtenidos fueron analizados a través de la aplicación de la estadística descriptiva con medidas de tendencia central y dispersión. Para determinar el efecto en la morfología de las plantas según los sistemas establecidos, se aplicaron pruebas de análisis de varianza ANOVA y Tukey, considerando la distribución normal de los datos con la prueba de Shapiro-Wilks. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia del 95% con el software PAST 4.03.

## Resultados

### Altura Total

En la Tabla 1, se aprecia el comportamiento de la *L. minuta* y *S. molesta* en los tres sistemas de tratamientos durante las tres semanas del estudio. Los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), los tratamientos T1: planta acuática + 100 ml de ARM y T2: planta acuática + 200ml de ARM del primer sistema de tratamiento presentaron mayor dispersión de datos en relación a la media en las primeras dos semanas de medición. Sin embargo, en el segundo sistema de tratamiento, la *S. molesta* presentó mayor desarrollo que la *L. minuta*, siendo el T1 y T2 los que presentaron mayor significancia de tratamiento. En el sistema de tratamiento N° 3, los tratamientos de *L. minuta* y *S. molesta* presentaron mayor significancia en el desarrollo de la altura en la semana 1 y 2, pero

en la semana 3 se evidencia un crecimiento lento, llegando a desistir el 90% de la *L. minuta* en el T4: planta acuática + 400 ml de ARM. Estos resultados revelan patrones significativos en el crecimiento y desarrollo bajo diferentes

sistemas de tratamiento, donde los tratamientos que contenían menor cantidad de ARM fueron los más exitosos en *L. minuta* y *S. molesta* se adaptó mejor a las diferentes concentraciones de contaminantes del ARM.

**Tabla 1**

Promedio y desviación estándar de la altura total (mm) según el Sistema de Tratamiento 1: *Lemna minuta* (L), Sistema de Tratamiento 2: *Salvinia molesta* (S) y Sistema de Tratamiento 3: *Lemna minuta* (L)+ *Salvinia molesta* (S) por semana y tratamientos aplicados (Pichanaqui, Perú).

| Sistema de Tratamiento 1 | T        | Semana 1<br>promedio $\pm$ DE | Semana 2<br>promedio $\pm$ DE | Semana 3<br>promedio $\pm$ DE |                               |                               |                               |
|--------------------------|----------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
|                          | T1       |                               | 10.66 $\pm$ 2.74 <sup>a</sup> | 18.53 $\pm$ 1.92 <sup>a</sup> | 27.04 $\pm$ 2.7 <sup>a</sup>  |                               |                               |
| T2                       |          | 9.22 $\pm$ 1.7 <sup>a</sup>   | 15.51 $\pm$ 1.49 <sup>b</sup> | 24.48 $\pm$ 2.19 <sup>b</sup> |                               |                               |                               |
| T3                       |          | 8.37 $\pm$ 1.31 <sup>b</sup>  | 14.1 $\pm$ 1.59 <sup>c</sup>  | 20.79 $\pm$ 1.58 <sup>c</sup> |                               |                               |                               |
| T4                       |          | 8.34 $\pm$ 1.18 <sup>b</sup>  | 13.42 $\pm$ 1.29 <sup>c</sup> | SD                            |                               |                               |                               |
| <b>P</b>                 |          | <b>0.0029</b>                 | <b>&lt;0.001</b>              | <b>&lt;0.001</b>              |                               |                               |                               |
| Sistema de Tratamiento 2 | T1       |                               | 18.59 $\pm$ 4.82 <sup>a</sup> | 31.81 $\pm$ 4.4 <sup>a</sup>  | 42.74 $\pm$ 4.73 <sup>a</sup> |                               |                               |
|                          | T2       |                               | 17.16 $\pm$ 3.4 <sup>a</sup>  | 30.17 $\pm$ 4 <sup>a</sup>    | 42.59 $\pm$ 4.12 <sup>a</sup> |                               |                               |
|                          | T3       |                               | 16.33 $\pm$ 2.99 <sup>a</sup> | 27.08 $\pm$ 3 <sup>b</sup>    | 37.56 $\pm$ 3.65 <sup>b</sup> |                               |                               |
|                          | T4       |                               | 14.46 $\pm$ 1.56 <sup>b</sup> | 24.39 $\pm$ 2.7 <sup>c</sup>  | 33.89 $\pm$ 4.52 <sup>b</sup> |                               |                               |
|                          | <b>P</b> |                               | <b>0.048</b>                  | <b>&lt;0.001</b>              | <b>&lt;0.001</b>              |                               |                               |
| Sistema de Tratamiento 3 | T        | L                             | S                             | L                             | S                             | L                             | S                             |
|                          | T1       | 10.59 $\pm$ 2.58 <sup>a</sup> | 18.07 $\pm$ 4.17 <sup>a</sup> | 19.94 $\pm$ 2.5 <sup>a</sup>  | 30.85 $\pm$ 4.17 <sup>a</sup> | 28.93 $\pm$ 2.28 <sup>a</sup> | 41.71 $\pm$ 3.97 <sup>a</sup> |
|                          | T2       | 9.85 $\pm$ 1.75 <sup>a</sup>  | 15.72 $\pm$ 2.8 <sup>a</sup>  | 18.22 $\pm$ 2.57 <sup>a</sup> | 28.15 $\pm$ 2.98 <sup>a</sup> | 27.59 $\pm$ 2.54 <sup>a</sup> | 40.41 $\pm$ 3.14 <sup>a</sup> |
|                          | T3       | 9.59 $\pm$ 2.07 <sup>a</sup>  | 15.72 $\pm$ 2.87 <sup>a</sup> | 17.51 $\pm$ 2.83 <sup>b</sup> | 28.7 $\pm$ 3.16 <sup>a</sup>  | 27.78 $\pm$ 2.43 <sup>a</sup> | 40.93 $\pm$ 3.12 <sup>a</sup> |
|                          | T4       | 9.49 $\pm$ 1.65 <sup>a</sup>  | 15.8 $\pm$ 2.91 <sup>a</sup>  | SD                            | 26.85 $\pm$ 2.46 <sup>b</sup> | SD                            | 37.85 $\pm$ 3.21 <sup>b</sup> |
|                          | <b>P</b> | <b>0.454</b>                  | <b>0.134</b>                  | <b>0.046</b>                  | <b>0.012</b>                  | <b>0.287</b>                  | <b>0.017</b>                  |

DE: desviación estándar. Las letras a, b, c significan diferencias significativas entre los tratamientos a  $p < 0.05$ , SD: las plantas se necrosaron por lo que se consideró sin datos.

### Longitud de Raíces

En la Tabla 2, los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), *L. minuta* en T1: planta acuática + 100ml de ARM durante las tres semanas de monitoreo presentó un crecimiento continuo y progresivo, a diferencia de T2: planta acuática + 200 ml de ARM y T3: planta acuática + 300 ml de ARM. Se observó que el sistema de tratamiento N° 2, la *S. molesta* en T1 y T2 presentaron crecimientos continuos alcanzado valores de hasta 56 mm, sin embargo, T3 y T4 tuvieron un ritmo de crecimiento menos acelerado en las dos últimas semanas. En el sistema de tratamiento N° 3, los tratamientos de *L. minuta* y *S. molesta* presentaron mayor

significancia en el desarrollo de la longitud de raíz en la semana 1 y 2, pero en la semana 3 se evidencia una tendencia hacia un desarrollo pausado, llegando a desistir el 90% la *L. minuta* en el T4: planta acuática + 400 ml de ARM. Estos resultados revelan patrones significativos en el crecimiento y desarrollo bajo diferentes sistemas de tratamiento, donde los tratamientos que contenían mayor cantidad de ARM presentaron una notable desaceleración en el crecimiento en *L. minuta* llegando incluso a una interrupción del mismo y la *S. molesta* se adaptó mejor a las diferentes concentraciones de contaminantes del ARM.

**Tabla 2**

Promedio y desviación estándar de la longitud de raíces (mm) según el Sistema de Tratamiento 1: *Lemna minuta* (L), Sistema de Tratamiento 2: *Salvinia molesta* (S) y Sistema de Tratamiento 3: *Lemna minuta* (L)+ *Salvinia molesta* (S) por semana y tratamientos aplicados (Pichanaqui, Perú).

| Sistema de Tratamiento 1 | T        | Semana 1                |                         | Semana 2                |                         | Semana 3                |                         |
|--------------------------|----------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                          | T1       |                         | 8.28±2.33 <sup>a</sup>  |                         | 13.63±2.8 <sup>a</sup>  |                         | 17.46±1.74 <sup>a</sup> |
| T2                       |          | 6.11±1.63 <sup>b</sup>  |                         | 11.92±3.5 <sup>a</sup>  |                         | 15.11±1.59 <sup>b</sup> |                         |
| T3                       |          | 5.3±0.83 <sup>b</sup>   |                         | 8.9±1.04 <sup>b</sup>   |                         | 13.2±1.01 <sup>c</sup>  |                         |
| T4                       |          | 5.18±0.73 <sup>b</sup>  |                         | 8.37±0.8 <sup>b</sup>   |                         | SD                      |                         |
| <b>P</b>                 |          | <b>&lt;0.001</b>        |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         |
| Sistema de Tratamiento 2 | T1       | 13.02±3.39 <sup>a</sup> |                         | 22.32±3.1 <sup>a</sup>  |                         | 30.1±3.32 <sup>a</sup>  |                         |
|                          | T2       | 12.01±2.39 <sup>a</sup> |                         | 21.11±2.78 <sup>a</sup> |                         | 29.81±2.85 <sup>a</sup> |                         |
|                          | T3       | 11.42±2.09 <sup>a</sup> |                         | 19.47±3.06 <sup>b</sup> |                         | 26.25±2.56 <sup>b</sup> |                         |
|                          | T4       | 10.51±1.3 <sup>b</sup>  |                         | 16.71±2.01 <sup>c</sup> |                         | 23.69±3.17 <sup>b</sup> |                         |
|                          | <b>P</b> | <b>0.045</b>            |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         |
| Sistema de Tratamiento 3 | T        | L                       | S                       | L                       | S                       | L                       | S                       |
|                          | T1       | 7.4±1.81 <sup>a</sup>   | 12.63±2.92 <sup>a</sup> | 13.94±1.75 <sup>a</sup> | 21.57±2.92 <sup>a</sup> | 20.23±1.59 <sup>a</sup> | 29.15±2.78 <sup>a</sup> |
|                          | T2       | 6.89±1.22 <sup>a</sup>  | 10.98±1.97 <sup>a</sup> | 12.74±1.8 <sup>a</sup>  | 19.67±2.07 <sup>a</sup> | 19.29±1.77 <sup>a</sup> | 28.23±2.19 <sup>a</sup> |
|                          | T3       | 6.7±1.42 <sup>a</sup>   | 10.98±2.01 <sup>a</sup> | 12.25±1.97 <sup>b</sup> | 20.06±2.21 <sup>a</sup> | 19.43±1.7 <sup>a</sup>  | 28.6±2.18 <sup>a</sup>  |
|                          | T4       | 6.54±1.12 <sup>a</sup>  | 11.05±2.04 <sup>a</sup> | SD                      | 18.77±1.71 <sup>b</sup> | SD                      | 26.44±2.23 <sup>b</sup> |
|                          | <b>P</b> | <b>0.461</b>            | <b>0.134</b>            | <b>0.016</b>            | <b>0.012</b>            | <b>0.282</b>            | <b>0.017</b>            |

DE: desviación estándar. Las letras a,b,c significan diferencias significativas entre los tratamientos a  $p < 0.05$ , SD: las plantas se necrosaron por lo que se consideró sin datos.

### Número de Frondas

Los tratamientos mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), *L. minuta* en T1 y T2 durante las tres semanas de monitoreo presentaron un aumento progresivo de dos frondas, a diferencia de T3 y T4 que en la semana 2 solo aumento una sola. Se observó que el

sistema de tratamiento 2, la *S. molesta* en T1, T2 y T3 aumentó el doble de frondas que tenían al inicio. En el sistema de tratamiento N° 3, el T3 de la *S. molesta* desarrollo mayor número de hojas (4 frondas en la última semana). Por otro lado, la *L. minuta* del T4 para inicios de la segunda semana ya no presentó brotes de nuevas hojas.

**Ancho de Frondas**

En la Tabla 3, en el primer sistema los tratamientos T1 y T2 mostraron diferencias significativas ( $p < 0.05$ ), el mayor crecimiento desde el primer monitoreo fue de 11.9 mm, a diferencia de T3 y T4 que mostraron crecimientos ralentizados. Se observó que el sistema de tratamiento 2, la *S. molesta* en T1 y T2 presentaron crecimientos continuos

alcanzado valores de hasta 20 mm y 17.8 mm respectivamente. En el sistema de tratamiento N° 3, los tratamientos de *L. minuta* y *S. molesta* presentó mayor significancia en el desarrollo del ancho de frondas en T1 y T2 durante la semana 3, mientras que T4 mostró un desarrollo pausado, llegando a desistir aproximadamente el 90%.

**Tabla 3**

*Promedio y desviación estándar del ancho de frondas (mm) según el Sistema de Tratamiento 1: Lemna minuta (L), Sistema de Tratamiento 2: Salvinia molesta (S) y Sistema de Tratamiento 3: Lemna minuta (L)+ Salvinia molesta (S) por semana y tratamientos aplicados (Pichanaqui, Perú).*

| Sistema de Tratamiento   | T        | Semana 1               |                        | Semana 2                |                         | Semana 3                |                         |
|--------------------------|----------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                          | T1       |                        | 7.91±1.0 <sup>a</sup>  |                         | 11.85±1.11 <sup>a</sup> |                         | 15.63±1.18 <sup>a</sup> |
| T2                       |          | 8.24±0.99 <sup>a</sup> |                        | 12.32±1.03 <sup>a</sup> |                         | 16.57±1.4 <sup>a</sup>  |                         |
| T3                       |          | 7.32±0.71 <sup>b</sup> |                        | 9.74±0.62 <sup>b</sup>  |                         | 12.22±0.68 <sup>b</sup> |                         |
| T4                       |          | 7.12±0.72 <sup>b</sup> |                        | 7.82±0.72 <sup>c</sup>  |                         | SD                      |                         |
| <b>P</b>                 |          | <b>0.0027</b>          |                        | <b>&lt;0.001</b>        |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         |
| Sistema de Tratamiento 2 | T1       | 8.94±1.27 <sup>a</sup> |                        | 13.25±1.9 <sup>a</sup>  |                         | 17.09±1.91 <sup>a</sup> |                         |
|                          | T2       | 8.19±1.16 <sup>a</sup> |                        | 12.37±1.17 <sup>a</sup> |                         | 16.13±1.1 <sup>a</sup>  |                         |
|                          | T3       | 7.89±1.16 <sup>a</sup> |                        | 10.87±1.17 <sup>b</sup> |                         | 14.04±1.14 <sup>b</sup> |                         |
|                          | T4       | 7.77±0.81 <sup>b</sup> |                        | 10.53±0.94 <sup>b</sup> |                         | 14.14±1.11 <sup>b</sup> |                         |
|                          | <b>P</b> | <b>0.02605</b>         |                        | <b>&lt;0.001</b>        |                         | <b>&lt;0.001</b>        |                         |
| Sistema de Tratamiento 3 | T        | L                      | S                      | L                       | S                       | L                       | S                       |
|                          | T1       | 7.59±1.07 <sup>a</sup> | 8.17±1.01 <sup>a</sup> | 11.29±1.2 <sup>a</sup>  | 12.43±1.27 <sup>a</sup> | 15.25±1.09 <sup>a</sup> | 16.8±1.18 <sup>a</sup>  |
|                          | T2       | 7.67±0.8 <sup>a</sup>  | 8.31±1.33 <sup>a</sup> | 11.1±0.99 <sup>a</sup>  | 11.52±1.52 <sup>a</sup> | 14.68±1.05 <sup>a</sup> | 15.74±1.9 <sup>a</sup>  |
|                          | T3       | 8.38±0.83 <sup>a</sup> | 7.87±0.81 <sup>a</sup> | 11.26±0.9 <sup>a</sup>  | 11.12±0.88 <sup>b</sup> | 13.31±0.78 <sup>b</sup> | 14.62±1.07 <sup>b</sup> |
|                          | T4       | 7.62±0.64 <sup>a</sup> | 8.63±0.65 <sup>a</sup> | SD                      | 11.29±0.62 <sup>b</sup> | SD                      | 13.67±0.66 <sup>c</sup> |
|                          | <b>P</b> | <b>0.039</b>           | <b>0.212</b>           | <b>0.865</b>            | <b>0.011</b>            | <b>0.0001</b>           | <b>&lt;0.001</b>        |

DE: desviación estándar. Las letras a, b, c significan diferencias significativas entre los tratamientos a  $p < 0.05$ , SD: las plantas se necrosaron por lo que se consideró sin datos.

**Longitud de Frondas**

En la Tabla 4, los resultados obtenidos fueron similares al ancho de la fronda debido a la relación que existe entre estas variables. En el primer sistema los tratamientos T1 y T2, el mayor crecimiento fue de 11.3 mm, llegando a medir hasta 17.5 mm y 18.3 mm respectivamente. Por otro lado, el sistema de tratamiento N° 2, la *S. molesta* en T1 y T2 alcanzó

valores de hasta 18.1 mm y 19.2 mm respectivamente, siendo T2 quien registró el mayor crecimiento de 12.7. En el sistema de tratamiento N° 3, los tratamientos de *L. minuta* y *S. molesta* en T1 y T2 presentaron un desarrollo continuo, alcanzando valores de 18.2 mm y 16.6 mm respectivamente, mientras que T4 mostró un desarrollo ralentizado.

**Tabla 4**

Promedio y desviación estándar de la longitud de frondas (mm) según el Sistema de Tratamiento 1: *Lemna minuta* (L), Sistema de Tratamiento 2: *Salvinia molesta* (S) y Sistema de Tratamiento 3: *Lemna minuta* (L)+ *Salvinia molesta* (S) por semana y tratamientos aplicados (Pichanaqui, Perú).

| Sistema de Tratamiento 1 | T  | Semana 1               | Semana 2               | Semana 3                |                         |                        |                         |                         |
|--------------------------|----|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                          | T1 |                        | 7.73±1.01 <sup>a</sup> | 11.17±1.15 <sup>a</sup> | 15.18±1.2 <sup>a</sup>  |                        |                         |                         |
| T2                       |    | 8.17±1.01 <sup>a</sup> | 12.28±0.9 <sup>b</sup> | 16.09±1.2 <sup>a</sup>  |                         |                        |                         |                         |
| T3                       |    | 6.85±0.61 <sup>b</sup> | 9.24±0.58 <sup>b</sup> | 11.84±0.72 <sup>b</sup> |                         |                        |                         |                         |
| T4                       |    | 6.72±0.34 <sup>b</sup> | 7.45±0.32 <sup>c</sup> | SD                      |                         |                        |                         |                         |
| P                        |    | <0.001                 | <0.001                 | <0.001                  |                         |                        |                         |                         |
| Sistema de Tratamiento 2 | T1 |                        | 8.06±0.93 <sup>a</sup> | 12.49±1.16 <sup>a</sup> | 16.4±0.99 <sup>a</sup>  |                        |                         |                         |
|                          | T2 |                        | 7.4±0.94 <sup>a</sup>  | 11.69±1.19 <sup>a</sup> | 15.96±1.03 <sup>a</sup> |                        |                         |                         |
|                          | T3 |                        | 7.72±1.08 <sup>a</sup> | 11.14±1.3 <sup>b</sup>  | 14.51±1.08 <sup>b</sup> |                        |                         |                         |
|                          | T4 |                        | 7.63±0.77 <sup>a</sup> | 11.13±0.78 <sup>b</sup> | 14.33±0.8 <sup>b</sup>  |                        |                         |                         |
|                          | P  |                        | <0.001                 | <0.001                  | <0.001                  |                        |                         |                         |
| Sistema de Tratamiento 3 | T  | L                      | S                      | L                       | S                       | L                      | S                       |                         |
|                          | T1 |                        | 8.2±1.11 <sup>a</sup>  | 7.91±0.92 <sup>a</sup>  | 12.11±1.01 <sup>a</sup> | 12.53±1.4 <sup>a</sup> | 15.67±1.06 <sup>a</sup> | 16.61±1 <sup>a</sup>    |
|                          | T2 |                        | 7.89±1.04 <sup>a</sup> | 7.53±1.03 <sup>a</sup>  | 11.85±0.83 <sup>a</sup> | 10.78±1.9 <sup>b</sup> | 15.07±0.86 <sup>a</sup> | 14.87±1.06 <sup>b</sup> |
|                          | T3 |                        | 7.65±1.12 <sup>a</sup> | 7.6±0.95 <sup>a</sup>   | 9.94±1.49 <sup>b</sup>  | 10.84±1.4 <sup>b</sup> | 13.16±1.4 <sup>b</sup>  | 13.83±1.44 <sup>b</sup> |
|                          | T4 |                        | 7.43±0.43 <sup>a</sup> | 7.33±0.77 <sup>a</sup>  | SD                      | 9.77±0.91 <sup>b</sup> | SD                      | 12.7±0.66 <sup>c</sup>  |
|                          | P  |                        | 0.1697                 | 0.3788                  | <0.001                  | <0.001                 | <0.001                  | <0.001                  |

DE: desviación estándar. Las letras a, b, c significan diferencias significativas entre los tratamientos a  $p < 0.05$ , SD: las plantas se necrosaron por lo que se consideró sin datos.

## Discusión

Con base en los hallazgos obtenidos en el análisis del comportamiento morfológico según lo investigado, nos indica que la *L. minuta* es una planta resistente frente a las dosis de 100 ml y 200 ml de ARM, sin afectar considerablemente su desarrollo. Según investigaciones realizadas con *L. minuta* para evaluar su potencial fitorremediador, se ha logrado demostrar que la especie es capaz de eliminar nutrientes de las aguas residuales por bioacumulación, especialmente fosfatos, demostrando tener optimas respuestas fisiológicas. (Ceschin et al, 2020). El estudio realizado nos ayuda a comprender que a medida que aumenta la concentración de agua residual en los tratamientos, la eficacia de la *L. minuta* en la remoción de contaminantes disminuye. Esto podría indicar una posible sensibilidad o menor resistencia de la planta, especialmente en la longitud de raíces cuando se expone a concentraciones más altas de compuestos orgánicos en el agua residual (Espinosa, 2018).

En cuanto al sistema de tratamiento 2, los tratamientos T1: planta acuática + 100 ml de ARM y T2: planta acuática + 200 ml de ARM, tuvieron mejores resultados en todas las variables, cuyos valores mayores alcanzados respectivamente fueron: en la altura total de 49.2 mm y 49.1 mm, en longitud de raíz 34.5 mm y 34.3 mm, en longitud de frondas 18.1 mm y 19.2 mm, ancho de frondas 20 mm y 17.8 mm y

con respecto a número de frondas, ambos a obtuvieron 8 frondas para el día 15 de monitoreo. En la investigación realizada por Martínez (2005) el tamaño de las hojas oscila entre 20 mm y 50 mm, el largo de su raíz puede llegar hasta 5 cm de largo en condiciones normales; cuando crecen aisladas las hojas pueden medir menores de 15 mm de ancho; cada nudo de la planta se desarrolla tres brotes auxiliares, un par da origen a hojas y el tercero a la raíz, esto en condiciones normales.

Sobre el Sistema de Tratamiento 3, se observó que los tratamientos sujetos a concentraciones de 100 ml y 200 ml de ARM exhibieron un desarrollo notablemente superior en comparación con los tratamientos T3 y T4. Este incremento en el crecimiento se reflejó con claridad en la altura promedio registrada durante la fase final de monitoreo, alcanzando valores de 37.4 mm y 37.6 mm, respectivamente. Según las investigaciones de Espinosa (2018) y Martinez (2005), tanto la *Lemna minuta* como la *Salvinia molesta* han sido identificadas como especies altamente adecuadas para la aplicación en sistemas de tratamiento de aguas residuales. Estas plantas acuáticas poseen una tasa de crecimiento constante que las distingue, así como una capacidad significativa para producir biomasa, reproducirse rápidamente y adaptarse morfológicamente. Su versatilidad les permite prosperar en ambientes con diversas

condiciones, lo que las convierte en recursos valiosos para mitigar la contaminación generada por aguas residuales en las diferentes comunidades locales de la provincia de Chanchamayo.

La evaluación del comportamiento morfológico de *L. minuta* y *S. molesta* reveló que las concentraciones de ARM aplicado generaron impacto significativo en las macrófitas. Aspectos como la altura, longitud de raíces, así como el número y longitud de frondas, se diferenciaron a lo largo de las semanas de monitoreo, indicando que la *L. minuta* presentó una disminución en su resistencia en concentraciones más altas de agua

residual y *S. molesta* exhibió una mejor resistencia en condiciones de mayor contaminación, destacando su capacidad para mantener la vitalidad y supervivencia a pesar de las concentraciones más altas de contaminantes.

## Conclusión

Los resultados indican que *S. molesta* en comparación con *L. minuta* podría considerarse una especie más robusta y adaptable a entornos con presencia de altos contenido de sustancias orgánicas en aguas residuales comunales, subrayando su potencial utilidad en estrategias de fitoremediación y tratamiento de agua en la selva central del Perú.

### Contribución de los autores

JNCA: redacción del artículo, diseño metodológico, recolección de datos, análisis de resultados, discusión, revisión final del artículo.

CHCV: redacción del artículo, diseño metodológico, recolección de datos, análisis de resultados, discusión, revisión final del artículo.

### Conflictos de interés

No presenta conflicto de intereses.

## Referencias

- Basilio, C., & Vega, D. (2021). *Evaluación de un eco - sistema de biofiltración y humedal para aguas grises del recinto “La Cabuya”, Cantón Balzar*. [Tesis de pregrado, Universidad agraria del Ecuador]. <https://cia.uagraria.edu.ec>
- Carranza, J., & Romero, W. (2020). *Efecto de la concentración y tiempo de contacto de tres biomazas de Lemna minor en la biorremediación de aguas residuales domésticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. <https://repositorio.unprg.edu.pe>
- Ceschin, S., Crescenzi, M., & Iannelli, M. (2020). Phytoremediation potential of the duckweeds *Lemna minuta* and *Lemna minor* to remove nutrients from treated waters. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(13), 15806–15814. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-08045-3>
- David, D., Álvarez, D., & Zamarrá, J. (2022). *Descripción de las investigaciones sobre el uso de las plantas macrófitas en el manejo de aguas residuales domésticas*. [Tesis de posgrado, Universidad de Antioquia]. <https://bibliotecadigital.udea.edu.co>
- Delgado, J. (2019). *Estudio sobre el tratamiento en aguas residuales mediante plantas macrófitas flotantes*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo]. <https://tesis.usat.edu.pe>
- Espinosa, A. (2018). Comparison of the populational characteristics of *Lemna minuta* (ARACEAE: LEMNOIDEAE) in three culture media. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1), 84-96. <https://www.redalyc.org/journal/776/77658702009/html/>
- Herrera, M. (2018). *Eficiencia de Eichornia spp y Lemna spp nativas en humedales artificiales en la remoción de sulfonato de alquilbenceno lineal de los detergentes presentes en aguas residuales domésticas, Moyobamba - 2017*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2790>
- Martelo, J. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Revista Scielo*, 8(15), 221-243. <http://www.scielo.org.co/pdf/ince/v8n15/v8n15a11.pdf>
- Muñoz, C. & Novoa, S. (2018). *El humedal artificial como material educativo para la enseñanza de la fitorremediación con Buchón de Agua (Eichhornia crassipes) en sistemas acuáticos dirigido a los maestros de biología del Distrito*. [Tesis de pregrado, Universidad Pedagógica Nacional]. <http://upnblib.pedagogica.edu.co/handle/20.500.12209/10509>

- UNESCO. (2017). *Aguas Residuales. El Recurso Desaprovechado*. Un Water. Consultado el 28 de diciembre de 2023 de [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1\\_15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1_15.247647s.pdf)
- ONU. (2023). *Las aguas residuales pueden proporcionar energía a 500 millones de personas*. Noticias ONU. Consultado el 28 de diciembre de 2023 de <https://news.un.org/es/story/2023/08/1523557>
- Panduro, A. & Rojas, J. (2021). *Porcentaje de remoción de contaminantes químicos en aguas servidas domésticas usando macrófitas acuáticas*. [Tesis de pregrado, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/bitstream/handle/UCP/1679/ANNEL%20LUCERO%20PANDURO%20PANDURO%20Y%20JUNIOR%20ROJAS%20VELA%20-%20TESIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rey, A. (2015). *Estrategia de educación ambiental en torno a la gestión integral del recurso hídrico en las plantas de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza, departamento Cundinamarca*. [Tesis de pregrado, Universidad Piloto de Colombia]. <http://repository.unipiloto.edu.co/handle/20.500.12277/817>
- Giraldo, C. (2020). *Eficiencia de la especie eichhornia crassipes - jacinto de agua en el tratamiento del agua residual de la laguna "mansión" para el riego de las áreas verdes en la universidad Peruana Unión*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. <https://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4254>