

Artículo

Bioactivos de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* sobre la ecotoxicidad antibiótica en *Gammarus* Sp.

Bioactive compounds from *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* regarding antibiotic ecotoxicity in *Gammarus* Sp.

Jeniffer Lisset López Aguiar ^{1*}, Geraldine Maittee Mendoza Velez ², Ángel Virgilio Cedeño Moreira ³, Ana Ruth Álvarez Sánchez ⁴ y Joselyn Jacqueline Quintana Zambrano ⁵

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de posgrado, Quevedo, Ecuador 120501; <https://orcid.org/0009-0001-9806-0268>

² Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de posgrado Quevedo, Ecuador 120501; <https://orcid.org/0009-0001-8944-7516>, geraldine.mendoza2016@uteq.edu.ec

³ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de ciencias pecuarias y biológicas, Quevedo, Ecuador 120501; <https://orcid.org/0000-0002-6564-5569>, acedenom@uteq.edu.ec

⁴ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de ciencias pecuarias y biológicas, Quevedo, Ecuador 120501; <https://orcid.org/0000-0003-2780-8600>, aalvarezs@uteq.edu.ec

⁵ Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Facultad de posgrado, Quevedo, Ecuador 120501; <https://orcid.org/0009-0008-8893-5949>, joselyn.quintana2014@uteq.edu.ec

Cita: López Aguiar, J. L., Mendoza Velez, G. M., Cedeño Moreira, Ángel V., Álvarez Sánchez, A. R., & Quintana Zambrano, J. J. (2026). Bioactivos de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* sobre la ecotoxicidad antibiótica en *Gammarus* Sp. *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 4(3), 77-90. <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/168>

* Correspondencia: jeniffer.lopez2017@uteq.edu.ec

 <https://doi.org/10.70881/mcj/v4/n3/168>

Recibido: 22/05/2026
Revisado: 17/07/2026
Aceptado: 20/07/2026
Publicado: 24/07/2026



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/>)

Abstract: The intensive use of antibiotics in various human activities has increased their presence in aquatic ecosystems, causing ecotoxicological effects on non-target organisms. The objective of this study was to evaluate the effect of bioactive compounds present in water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and duckweed (*Lemna minor*) on antibiotic-induced ecotoxicity in *Gammarus* sp. The methodology consisted of a completely randomized design with an A×B+1 factorial arrangement to determine the median lethal concentration (LC₅₀) of amoxicillin, ampicillin, and chloramphenicol, as well as to evaluate the effect of the bioactive compounds at concentrations of 5% and 10%. The results showed LC₅₀ values of 1130.1 mg/L for amoxicillin, 986.32 mg/L for ampicillin, and 703.71 mg/L for chloramphenicol. Treatments with 5% *E. crassipes* and 5% *L. minor* increased the survival of *Gammarus* sp. compared to exposure to amoxicillin and ampicillin; furthermore, 5% *L. minor* exhibited the greatest protective efficacy. It is concluded that the bioactive compounds evaluated exert a differential protective effect on *Gammarus* sp., whose response depends on both the type of antibiotic and the concentration used.

Keywords: Ecotoxicity; bioactive; antibiotics

Resumen: El uso intensivo de antibióticos en diversas actividades humanas ha incrementado su presencia en ecosistemas acuáticos, generando efectos ecotoxicológicos sobre organismos no objetivo. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de los bioactivos presentes en el jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna minor*) sobre la ecotoxicidad inducida por antibióticos en *Gammarus* sp. La metodología

consistió en un diseño completamente al azar con arreglo factorial A×B+1 para determinar la concentración letal media (CL₅₀) de amoxicilina, ampicilina y cloranfenicol, además de evaluar el efecto de los bioactivos a concentraciones de 5 % y 10 %. Los resultados mostraron valores de CL₅₀ de 1130.1 mg/L para amoxicilina, 986.32 mg/L para ampicilina y 703.71 mg/L para cloranfenicol. Los tratamientos con *E. crassipes* al 5 % y *L. minor* al 5 % incrementaron la supervivencia de *Gammarus sp.* frente a la exposición a amoxicilina y ampicilina; además, *L. minor* al 5 % presentó la mayor eficacia protectora. Se concluye que los bioactivos evaluados ejercen un efecto protector diferencial sobre *Gammarus sp.*, cuya respuesta depende tanto del tipo de antibiótico como de la concentración utilizada.

Palabras clave: Ecotoxicidad; bioactivos; antibióticos

1. Introducción

Los ecosistemas acuáticos albergan una elevada diversidad biológica y desempeñan funciones esenciales para el equilibrio ambiental a escala global (O'Higgins *et al.*, 2020). Se estima que aproximadamente el 20 % de las especies a nivel mundial habitan estos ambientes, contribuyendo significativamente a la dinámica ecosistémica, la economía y la seguridad alimentaria (Xu & Wang, 2022). Ecuador, a pesar de su limitada extensión territorial dentro de Sudamérica, presenta una notable diversidad de ecosistemas acuáticos que albergan alrededor de 824 especies dulceacuícolas, correspondientes aproximadamente al 16 % de la fauna registrada (Celi & Villamarín, 2020).

Sin embargo, esta riqueza biológica enfrenta múltiples amenazas derivadas de la contaminación ambiental, particularmente por la liberación indiscriminada de antibióticos en cuerpos de agua. La producción y el consumo de estos compuestos farmacéuticos han favorecido su ingreso continuo al medio acuático por diferentes vías, generando efectos ecotoxicológicos incluso a bajas concentraciones (Cuñat & Ruiz, 2016; Ortúzar *et al.*, 2022). Entre sus principales impactos se encuentran alteraciones conductuales, reproductivas y funcionales en organismos acuáticos, comprometiendo el equilibrio ecológico (Kovalakova *et al.*, 2020).

En este contexto, los macroinvertebrados pertenecientes al género *Gammarus sp.* han sido ampliamente utilizados como organismos bioindicadores debido a su elevada sensibilidad frente a diferentes contaminantes ambientales (Chaumot *et al.*, 2015). Asimismo, surge la necesidad de desarrollar estrategias sostenibles que permitan disminuir los efectos negativos asociados a la presencia de estos compuestos en el ambiente. Entre las alternativas propuestas destacan los bioactivos obtenidos a partir de plantas acuáticas como *E. crassipes* y *L. minor*, especies reconocidas por contener metabolitos secundarios con potencial biológico y aplicaciones experimentales en distintos contextos (Ben Bakrim *et al.*, 2022; Seferli *et al.*, 2024).

Por lo tanto, el presente estudio evaluó mediante bioensayos de toxicidad el efecto de los bioactivos presentes en *E. crassipes* y *L. minor* sobre la disminución de la ecotoxicidad inducida por antibióticos en *Gammarus sp.* La relevancia de esta investigación radica en generar evidencia científica sobre el potencial de estos bioactivos como una alternativa sostenible para reducir los efectos tóxicos de los antibióticos y contribuir a la conservación de los ecosistemas acuáticos.

2. Metodología

2.1. Obtención y aclimatación de *Gammarus sp.*

Los organismos de *Gammarus sp.* fueron recolectados en un ecosistema acuático con presencia de *Eichhornia crassipes* mediante agitación manual de raíces sumergidas. Posteriormente, fueron trasladados al laboratorio y depurados mediante tamizado con malla de 250 μm para eliminar sedimentos e impurezas. Los organismos fueron aclimatados durante 120 h a 21 ± 2 °C bajo un fotoperíodo de 12:12 h (luz:oscuridad).

2.2. Diseño experimental

Se empleó un diseño completamente al azar con arreglo factorial $A \times B + 1$. Para la determinación de la concentración letal media (CL_{50}), se evaluaron tres antibióticos (amoxicilina, ampicilina y cloranfenicol) a concentraciones de 600, 900, 1200 y 1500 mg/L.

2.3. Determinación de la concentración letal media (CL_{50})

Los bioensayos se realizaron siguiendo los lineamientos de la guía OCSP No. 850.1020 (Gammarid Amphipod Acute Toxicity Test) de la Environmental Protection Agency (EPA). Las soluciones de antibióticos fueron preparadas mediante disolución en 1000 mL de agua destilada estéril y homogenizadas mediante agitación magnética continua durante 5 min a 80 rpm.

Posteriormente, se distribuyeron 1000 μL de cada solución en tubos Eppendorf®, incorporando cinco organismos adultos por unidad experimental. El ensayo tuvo una duración de 96 h, registrándose la mortalidad a las 24, 48, 72 y 96 h. Durante el periodo experimental no se suministró alimento a los organismos para evitar alteraciones del medio. Se consideraron muertos aquellos individuos que no presentaron actividad motora durante 30 s.

La concentración letal media (CL_{50}) a 96 horas se estimó a partir de los datos de mortalidad mediante regresión Probit usando la fórmula:

$$p = \left(\frac{r}{n} \right) * 100$$

Donde:

r= número de individuos muertos

n= número de individuos

p= porcentaje de efecto

Concentración de la sustancia o dosis(d).

Debido a que la relación p vs. d (concentración) genera una curva sigmoidea de difícil interpretación directa, se aplicó una transformación logarítmica de las concentraciones:

$$X = \log_{10} (d)$$

Posteriormente, se transformó p a unidades Probit, obteniendo una distribución de puntos en un sistema lineal. Debido a que se trata de una transformación, la ecuación generada adopta la forma:

$$y = a + bx$$

Donde:

y= unidad Probit correspondiente al porcentaje de mortalidad ($z + 5$)

z= valor de la distribución normal estándar

a y b= estimadores de los parámetros de la recta de regresión

El valor de X correspondiente a $p = 50\%$ (es decir, $y = 5$) representa X_5 , que permite calcular la CL_{50} como:

$$CL_{50} = 10^{x_5}$$

2.4. Obtención y tamizaje fitoquímico cualitativo de bioactivos de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*

Se empleó biomasa de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, seleccionando material vegetal con características homogéneas y sin signos de deterioro. El material fue lavado con agua destilada estéril para eliminar impurezas superficiales. En *E. crassipes* se utilizaron hojas, tallos y flores, mientras que *L. minor* fue procesada íntegramente.

Para cada especie se pesaron 50 g de biomasa y se sometieron a extracción mediante maceración hidroalcohólica (etanol al 96 %: agua destilada estéril) en proporción 1:3 (125 mL:375 mL) durante 72 h bajo agitación continua.

Posteriormente, los extractos fueron filtrados y concentrados mediante evaporación del solvente en un rotaevaporador a 70 °C y 132 rpm. Los extractos obtenidos fueron almacenados a 4 °C hasta su utilización experimental.

La Tabla 1 presenta las pruebas colorimétricas convencionales empleadas para la identificación cualitativa de metabolitos secundarios. Se evaluó la presencia de lactonas y cumarinas (Baljet), quinonas (Bornträger), compuestos fenólicos y taninos ($FeCl_3$), azúcares reductores (Fehling), triterpenos y esteroides (Liebermann-Burchard), aminoácidos (ninhidrina), flavonoides (Shinoda), aceites y grasas (Sudán III) y alcaloides (Dragendorff, Mayer y Wagner).

Tabla 1.

Contenido cualitativo de metabolitos secundarios presentes en bioactivos de *E. crassipes* y *L. minor*

Ensayos	Metabolitos secundarios	<i>E. crassipes</i>	<i>L. minor</i>
Baljet	Lactonas y cumarinas	+++	+++
Bornträger	Quinonas	-	-
Cl_3Fe	Fenoles-taninos	+++	++
Fehling	Azúcares reductores	+++	-
Liebermann-B	Triterpenos-esteroides	+++	-
Ninhidrina	Aminoácidos	+	+
Shinoda	Flavonoides	-	++
Sudan	Aceites y grasas	-	-
Dragendorff	Alcaloides	+++	+++

Mayer	+++	+++
Wagner	+++	---

Nota. La presencia o ausencia de metabolitos secundarios se registró cualitativamente mediante un sistema de cruces con la siguiente escala: presencia abundante (+++), presencia moderada (++), presencia leve (+) y ausencia (-)

2.5. Evaluación del efecto de bioactivos sobre la ecotoxicidad

Se evaluaron bioactivos de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* a concentraciones de 5 % y 10 %. Para cada tratamiento se prepararon mezclas utilizando 1000 µL de la solución antibiótica a concentración letal media (CL_{50}), adicionando 50 µL y 100 µL del extracto para las concentraciones de 5 % y 10 %, respectivamente. Las mezclas fueron homogenizadas mediante agitación constante durante 24 h a 80 rpm. Posteriormente, se incorporaron cinco organismos adultos de *Gammarus sp.* por unidad experimental. La supervivencia fue registrada a las 24, 48, 72 y 96 h.

3. Resultados

3.1 Estimación de la concentración letal media (CL_{50}) de antibióticos betalactámicos y cloranfenicol.

La Tabla 2 indica los porcentajes de mortalidad de *Gammarus sp.* expuesto a diferentes concentraciones de amoxicilina, ampicilina y cloranfenicol. En general, se evidenció una tendencia de incremento en la mortalidad a medida que aumentó la concentración de exposición. El cloranfenicol presentó los mayores porcentajes de mortalidad, con valores entre 40 % a 600 mg/L y 95 % a 1500 mg/L. Por su parte, la ampicilina registró porcentajes entre 22.5 % y 75 %, mientras que la amoxicilina mostró una menor respuesta tóxica, con valores comprendidos entre 27.5 % y 60 %.

Tabla 2.

Porcentaje de mortalidad en Gammarus sp., tras 96 horas de exposición a antibióticos en concentraciones crecientes.

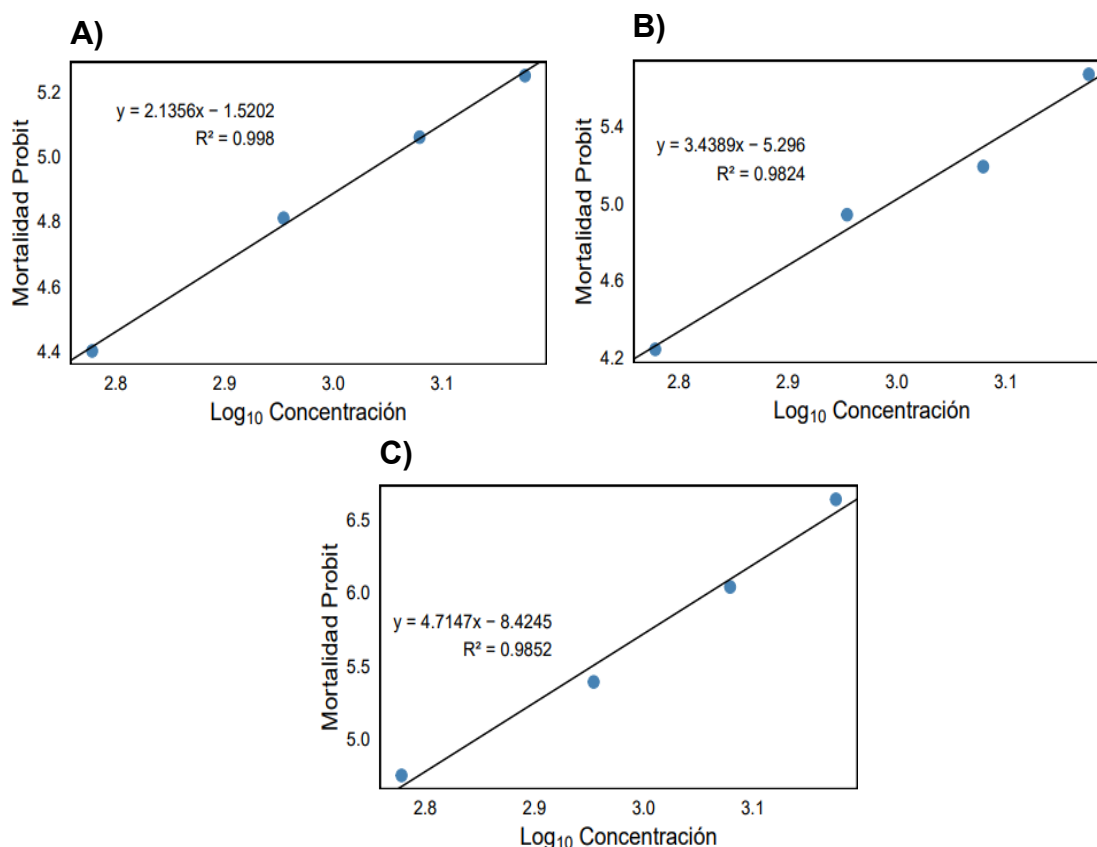
Conc (mg/L)	Log ₁₀ Conc	%Mort Amx	Probit	%Mort Amp	Probit	%Mort Clo	Probit
600	2.778	27.5	4.40	22.5	4.24	40.0	4.75
900	2.954	42.5	4.81	47.5	4.94	65.0	5.39
1200	3.079	52.5	5.06	57.5	5.19	85.0	6.04
1500	3.176	60.0	5.25	75.0	5.67	95.0	6.64

Nota. Conc (mg/L): Concentración nominal. Log₁₀ Conc: Transformación logarítmica. Probit: Unidades utilizadas para el modelo de regresión. %Mort: Mortalidad registrada para amoxicilina (Amx), ampicilina (Amp) y cloranfenicol (Clo).

En base a los porcentajes de mortalidad obtenidos, se realizó el análisis de regresión Probit para estimar la concentración letal media (CL_{50}) de cada antibiótico (Figura 1). Los modelos ajustados presentaron coeficientes de determinación superiores a 0.98, lo que evidencia un adecuado ajuste estadístico entre las variables evaluadas.

Figura 1.

Modelo de regresión Probit para estimar la CL_{50} de antibióticos en *Gammarus sp.*



Nota. (A) amoxicilina, (B) ampicilina y (C) cloranfenicol.

La Figura 1A muestra la curva dosis–respuesta utilizada para estimar la concentración letal media (CL_{50}) de la amoxicilina en *Gammarus sp.* El valor estimado fue de 1130.1 mg/L, similar a los reportados en otros organismos acuáticos, como *Oryzias latipes* y *Physa cubensis*, con CL_{50} de 1000 mg/L y 1528.44 mg/L, respectivamente (Elizalde-Velázquez *et al.*, 2016; Hernández Martínez *et al.*, 2017). Asimismo, en *Daphnia magna* no se observaron efectos letales hasta concentraciones cercanas a 2600 mg/L (de Moraes *et al.*, 2022). Esta similitud sugiere una baja toxicidad aguda de la amoxicilina en diferentes organismos acuáticos, comportamiento que podría estar relacionado con la baja estabilidad del antibiótico en el medio acuático, ya que la hidrólisis del anillo β -lactámico disminuye su biodisponibilidad y limita su interacción con organismos no objetivo (Martínez-Alcalá *et al.*, 2020).

Mientras que en la Figura 1B se estimó una CL_{50} de 986.32 mg/L, superior a la registrada en *Daphnia magna*, donde se han reportado valores entre 200 y 400 mg/L (Mashchenko *et al.*, 2018). Estas diferencias en la sensibilidad pueden atribuirse a variaciones interespecíficas en los mecanismos de absorción, distribución, metabolismo y eliminación del antibiótico, así como a diferencias en la expresión de enzimas detoxificantes entre anfípodos, crustáceos, peces y otros invertebrados acuáticos (Guo *et al.*, 2024).

Por su parte, la Figura 1C (cloranfenicol) presentó la menor CL_{50} estimada de 703.71 mg/L, reflejando una mayor toxicidad aguda sobre *Gammarus sp.* Este comportamiento coincide con lo descrito en *Daphnia magna*, donde se registró una elevada mortalidad a concentraciones cercanas a 700 mg/L (Grzesiuk *et al.*, 2024), así como tasas de mortalidad superiores al 80 % en determinados niveles de exposición (Zhang *et al.*, 2021). Esta mayor toxicidad podría estar asociada a la persistencia ambiental del cloranfenicol, lo que incrementa su biodisponibilidad y prolonga sus efectos sobre los organismos expuestos (Nguyen *et al.*, 2022).

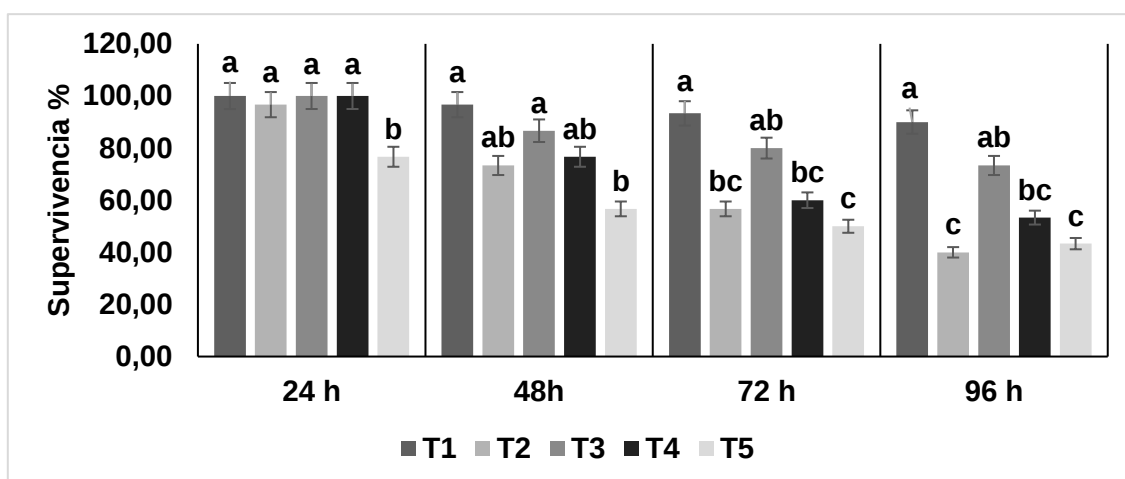
3.2. Bioensayo sobre la supervivencia de *Gammarus sp.* expuesto a amoxicilina

De acuerdo con la Figura 2, a las 24 h, los tratamientos T1 (*E. crassipes* 5 %), T3 (*L. minor* 5 %) y T4 (*L. minor* 10 %) mantuvieron una supervivencia del 100 %, mientras que T2 (*E. crassipes* 10 %) registró un valor ligeramente inferior (96.67 %). Conforme avanzó el ensayo, T1 mantuvo consistentemente los mayores porcentajes de supervivencia, alcanzando un valor final de 90 % a las 96 h, seguido por T3 con 83.33 %. Los tratamientos restantes y el grupo control presentaron una reducción progresiva de la supervivencia.

Este comportamiento podría atribuirse a la presencia de metabolitos como lactonas, cumarinas, fenoles, taninos, triterpenos, esteroides y alcaloides. Estos compuestos han sido asociados con actividades antioxidantes y antiinflamatorias, particularmente los compuestos fenólicos, debido a su capacidad para neutralizar radicales libres y disminuir el daño oxidativo celular (P *et al.*, 2023).

Figura 2.

Efecto de tratamientos con bioactivos y control, sobre la supervivencia de *Gammarus sp.* bajo amoxicilina



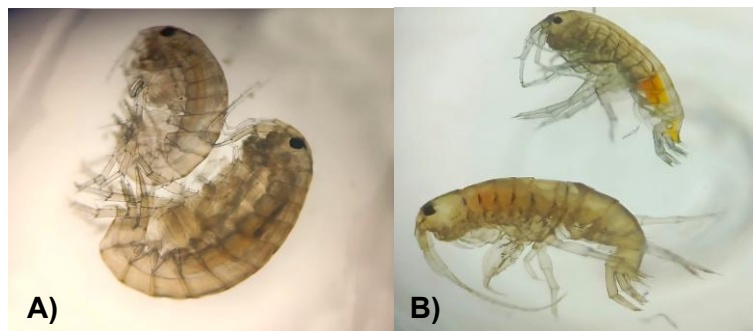
Nota. T1: *E. crassipes* 5%. T2: *E. crassipes* 10%. T3: *L. minor* 5%. T4: *L. minor* 10%. T5: Control. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Barras de error: $\pm$ EE.

Como se muestra en la Figura 3, las observaciones morfológicas realizadas al finalizar el ensayo evidenciaron diferencias visibles entre los tratamientos. Los organismos expuestos al tratamiento T1 conservaron una apariencia estructural íntegra y una

pigmentación uniforme, mientras que los individuos del grupo control presentaron despigmentación y alteraciones visibles en su estructura corporal. Investigaciones desarrolladas en modelos animales han demostrado que los compuestos fenólicos pueden preservar funciones fisiológicas bajo condiciones de estrés (Islam & Mazumder, 2021).

Figura 3.

Comparación visual de los tratamientos sobre *Gammarus sp.*



Nota. (A) Efecto del mejor tratamiento *E. crassipes* 5 %, (B) control (amoxicilina)

3.3. Bioensayo sobre la supervivencia de *Gammarus sp.* expuesto a ampicilina

Como se muestra en la Figura 4, en los ensayos realizados con ampicilina se observaron diferencias en la supervivencia de *Gammarus sp.* expuesto a los bioactivos evaluados. A las 48 h, T1 presentó la mayor supervivencia con 93.33 %, seguido por T3 con 86.67 % y T4 con 80 %, superando ampliamente al control. Sin embargo, a partir de las 72 h, T3 mostró una mayor estabilidad temporal, manteniendo la mayor supervivencia hasta el final del ensayo con un valor de 83.33 %, seguido por T1 con 80 %. En contraste, T2 registró la menor supervivencia, con 36.67 % a las 96 h.

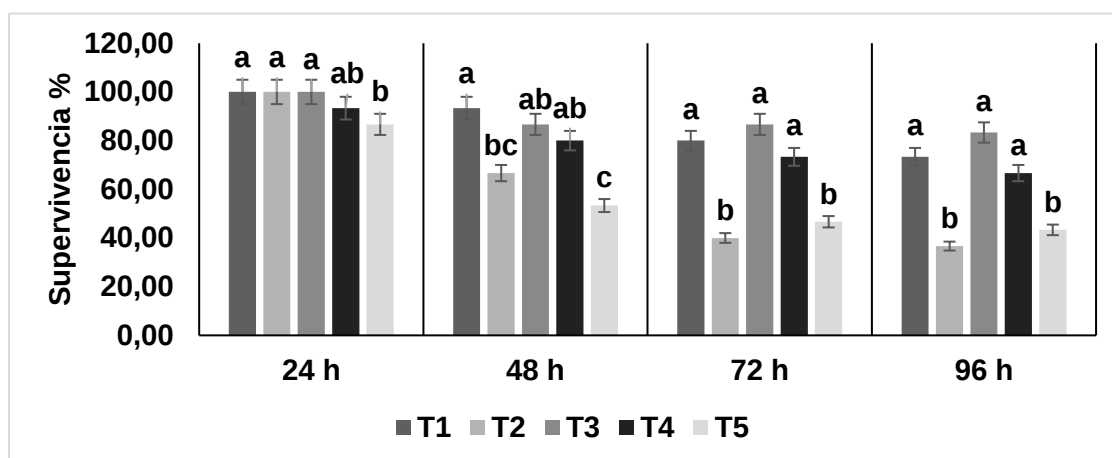
El tamizaje fitoquímico realizado evidenció que *L. minor* contenía abundantes alcaloides y lactonas-cumarinas, además de flavonoides y compuestos fenólicos en concentraciones moderadas. La presencia de flavonoides únicamente en esta especie vegetal podría haber contribuido al efecto protector observado, debido a su alta capacidad antioxidante y estabilizadora de membranas celulares, disminuyendo el daño oxidativo inducido por agentes tóxicos (Vera Rodríguez *et al.*, 2024).

Por otro lado, el tratamiento T2 (*E. crassipes* al 10 %) presentó una menor eficacia frente a los antibióticos betalactámicos, registrando porcentajes de supervivencia incluso inferiores al grupo control. Este comportamiento sugiere que un incremento en la concentración del extracto no necesariamente mejora el efecto protector.

Aunque *E. crassipes* presentó una elevada abundancia de compuestos fenólicos y taninos, concentraciones elevadas de estos metabolitos pueden modificar su comportamiento antioxidante y favorecer efectos prooxidantes capaces de incrementar el estrés oxidativo celular (Baehaki *et al.*, 2023; Nezbedova *et al.*, 2021). Este planteamiento es consistente con lo reportado por Pesarakloo *et al.* (2025), quienes observaron un incremento de la mortalidad asociado a extractos de *E. crassipes* con altas concentraciones de metabolitos secundarios.

Figura 4.

Efecto de tratamientos con bioactivos y control, sobre la supervivencia de *Gammarus sp.* bajo ampicilina



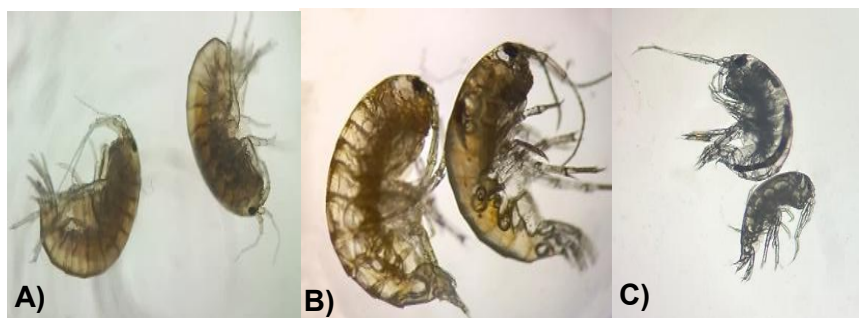
Nota. T1: *E. crassipes* 5%. T2: *E. crassipes* 10%. T3: *L. minor* 5%. T4: *L. minor* 10%. T5: Control (986.32 mg/L). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$). Barras de error: $\pm$ EE.

En la Figura 5 se observan las diferencias morfológicas registradas al finalizar del ensayo. Los organismos expuestos al tratamiento T3 conservaron una estructura corporal íntegra, sin presencia de lesiones visibles ni signos evidentes de deterioro morfológico (Figura 5A). En contraste, los organismos del grupo control presentaron despigmentación corporal y alteraciones internas (Figura 5B). Además, se observó la presencia de organismos juveniles translúcidos, identificados como neonatos (Figura 5C).

Estos resultados concuerdan con Seferli *et al.* (2024), quienes reportaron que extractos de *L. minor* presentan baja toxicidad y un adecuado perfil de seguridad en concentraciones reducidas. Asimismo, Islam & Mazumder (2021) demostraron que extractos vegetales ricos en compuestos fenólicos y flavonoides preservan funciones fisiológicas bajo condiciones de estrés oxidativo.

Figura 5.

Comparación visual de los tratamientos sobre *Gammarus sp.*



Nota. (A) Efecto del mejor tratamiento *L. minor* 5 %, (B) control (ampicilina), (C) neonatos

3.4 Bioensayo sobre la supervivencia de *Gammarus sp.* expuesto a cloranfenicol

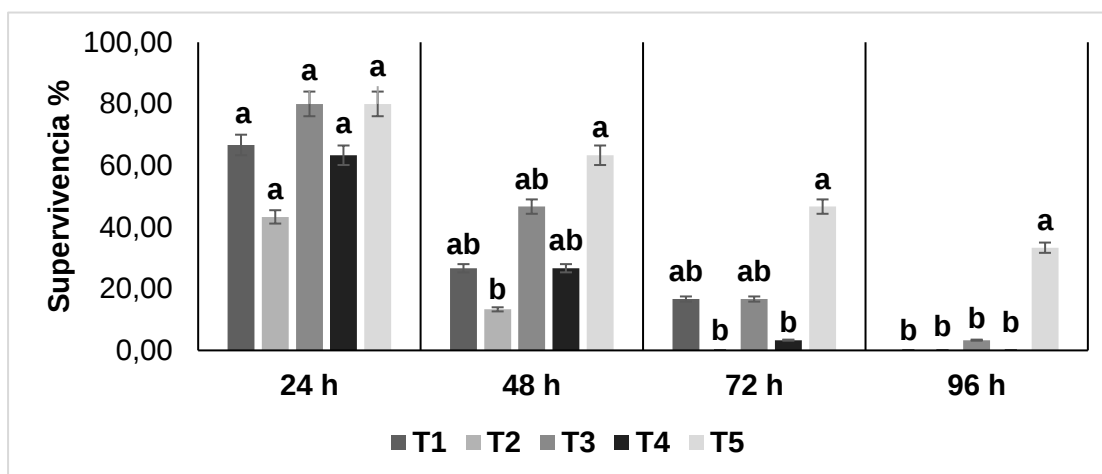
A diferencia de lo observado con la amoxicilina y la ampicilina, los bioactivos vegetales no ejercieron un efecto protector frente al cloranfenicol. Incluso los tratamientos con extractos presentaron porcentajes de supervivencia inferiores al grupo control, lo que sugiere que los metabolitos identificados en ambas especies vegetales no fueron suficientes para contrarrestar los mecanismos de toxicidad de este antibiótico.

En la Figura 6, se observa que en las primeras 24 h, T3 y el grupo control registraron los mayores porcentajes de supervivencia, con valores de 80 %, seguidos por T1 y T4. Sin embargo, a medida que avanzó el tiempo experimental, se evidenció una disminución progresiva de la supervivencia en todos los tratamientos. Al finalizar el ensayo, el grupo control presentó la mayor supervivencia (33.33 %), mientras que los tratamientos con bioactivos registraron valores iguales o inferiores al 3.33 %.

Este comportamiento podría estar relacionado con mecanismos específicos de toxicidad asociados al antibiótico, los cuales incluyen interferencia en procesos esenciales como la síntesis de ácidos grasos, alteraciones proteicas y acumulación de productos asociados con daño oxidativo celular (Nguyen *et al.*, 2022). Además, la interacción simultánea entre diferentes agentes estresores puede producir efectos sinérgicos que incrementan el daño fisiológico en organismos acuáticos. Bajo estas condiciones, la capacidad natural de resistencia puede ser superada, provocando alteraciones celulares irreversibles y un incremento de la mortalidad (Liess *et al.*, 2020).

Figura 6.

*Efecto de tratamientos con bioactivos y control en la supervivencia de *Gammarus sp.* bajo cloranfenicol.*



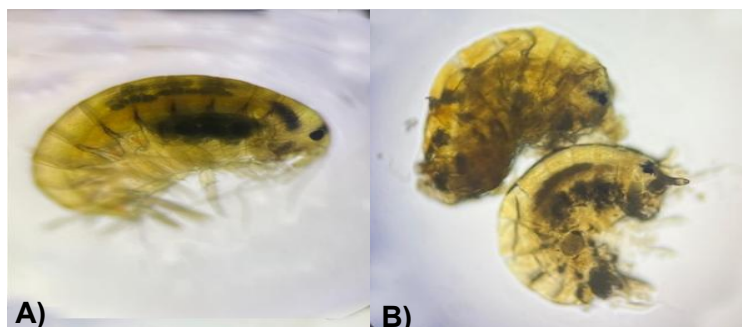
Nota. T1: *E. crassipes* 5%. T2: *E. crassipes* 10%. T3: *L. minor* 5%. T4: *L. minor* 10%. T5: Control (703.71 mg/L). Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$). Barras de error: $\pm$ EE.

En la Figura 7 se observan las características morfológicas de *Gammarus sp.* al finalizar el ensayo con cloranfenicol. Los organismos expuestos al tratamiento T3 presentaron una morfología relativamente conservada, sin curvaturas dorsales pronunciadas ni daños estructurales severos; no obstante, mostraron una coloración amarillenta (Figura

7A). En contraste, los organismos del grupo control presentaron alteraciones morfológicas más evidentes, caracterizadas por deterioro estructural y curvaturas corporales excesivas (Figura 7B).

Figura 7.

Comparación visual de los tratamientos sobre *Gammarus sp.*



Nota. (A) Efecto del mejor tratamiento *L. minor* 5 %, (B) control (cloranfenicol)

5. Conclusiones

Los bioactivos obtenidos de *E. crassipes* y *L. minor* presentaron una respuesta diferencial frente a la ecotoxicidad inducida por antibióticos en *Gammarus sp.*, evidenciando que su efecto depende tanto de la naturaleza del compuesto evaluado como de la concentración utilizada. Los resultados obtenidos indican que concentraciones moderadas de bioactivos pueden favorecer mecanismos asociados con la protección fisiológica de los organismos expuestos, mientras que concentraciones superiores podrían generar efectos adversos relacionados con la actividad de determinados compuestos bioactivos.

Sin embargo, *L. minor* presentó el efecto protector más consistente, lo que sugiere que sus compuestos bioactivos podrían representar una alternativa prometedora para disminuir los efectos ecotoxicológicos en ambientes acuáticos.

Contribución de los autores: Conceptualización: J.L.L.-A. y G.M.M.-V.; Metodología: J.L.L.-A., G.M.M.-V., A.R.Á.-S. y A.V.C.-M.; Análisis formal: J.L.L.-A., J.J.Q.-Z y G.M.M.-V.; Investigación: J.L.L.-A., G.M.M.-V., A.V.C.-M., A.R.Á.-S. y J.J.Q.-Z.; Curación de datos: J.L.L.-A. y G.M.M.-V.; Visualización: J.J.Q.-Z y G.M.M.-V.; Redacción del borrador original: J.L.L.-A.; Redacción, revisión y edición: J.L.L.-A., G.M.M.-V., A.V.C.-M., A.R.Á.-S. y J.J.Q.-Z.; Supervisión: A.V.C.-M. Todos los autores han leído y aprobado la versión publicada del manuscrito.

Financiamiento: Esta investigación no recibió financiación externa.

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

Declaración de disponibilidad de datos: Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: jeniffer.lopez2017@uteq.edu.ec

Referencias Bibliográficas

- Baehaki, A., Lestari, S. D., Agustina, W., & Putri, S. D. (2023). Phytochemical Analysis and Antioxidant Activity of Water Hyacinth Flowers (*Eichhornia crassipes*) Extract. *Pharmacognosy Journal*, 14(6s), 955–957. <https://doi.org/10.5530/pj.2022.14.196>
- Ben Bakrim, W., Ezzariai, A., Karouach, F., Sobeh, M., Kibret, M., Hafidi, M., Kouisni, L., & Yasri, A. (2022). *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms: A Comprehensive Review of Its Chemical Composition, Traditional Use, and Value-Added Products. *Frontiers in Pharmacology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphar.2022.842511>
- Celi, J. E., & Villamarín, F. (2020). Freshwater ecosystems of Mainland Ecuador: diversity, issues and perspectives. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 32. <https://doi.org/10.1590/s2179-975x3220>
- Chaumot, A., Geffard, O., Armengaud, J., & Maltby, L. (2015). Gammarids as Reference Species for Freshwater Monitoring. In *Aquatic Ecotoxicology* (pp. 253–280). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800949-9.00011-5>
- Cuñat, Z. A., & Ruiz, M. (2016). Ensayos de ecotoxicidad de los fármacos y efectos tóxicos en el medio ambiente: Revisión. *Revista de Toxicología*, 33(2), 108–119. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91949104007>
- de Moraes, A. C., Orlando, E. A., Prado, E. J. da R., de Carvalho, A. C. C., Machado-Neto, J. G., Simionato, A. V. C., Eberlin, M. N., & Belo, M. A. de A. (2022). Ecotoxicological assessment of amoxicillin trihydrate: Stability, solubility, and acute toxicity for *Oreochromis niloticus*, *Lemna minor*, and *Daphnia magna*. *Cleaner Chemical Engineering*, 1, 100005. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100005>
- Elizalde-Velázquez, A., Gómez-Oliván, L. M., Galar-Martínez, M., Islas-Flores, H., Dublán-García, O., & SanJuan-Reyes, N. (2016). Amoxicillin in the Aquatic Environment, Its Fate and Environmental Risk. In *Environmental Health Risk - Hazardous Factors to Living Species*. InTech. <https://doi.org/10.5772/62049>
- Grzesiuk, M., Grabska, M., Malinowska, A., Świdarska, B., Grzesiuk, E., Garbicz, D., & Gorecki, A. (2024). *Daphnia* stress response to environmental concentrations of chloramphenicol—multi-omics approach. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(49), 58876–58888. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-35045-4>
- Guo, R., Ma, X., Xu, H., Ma, Y., Zhang, R., Liu, X., Lu, B., Zhang, J., & Han, Y. (2024). In silico prediction and a systematic toxicology-based in vivo investigation uncovering the mechanism of aquatic toxicity caused by beta-lactam antibiotics. *Chemosphere*, 349, 140884. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140884>
- Hernández Martínez, E. M., Carrazana García, D. I., González González, R., García López, A., Marrero Chang, O., Águila Jiménez, E., Morales Monteagudo, A., & López Hernández, Y. (2017). Ecotoxicidad aguda en *Physa cubensis* P. y *Artemia salina* L. de 8 antibacterianos con riesgo ambiental. *Revista de Toxicología*, 34(2), 118–123.

- Islam, M. S., & Mazumder, D. (2021). In-Vivo Neuropharmacological and Anti-Nutrient Study of Methanolic Extract of *Lemna minor*. *Journal of Drugs Addiction & Therapeutics*, 1–6. [https://doi.org/10.47363/JDAT/2021\(2\)116](https://doi.org/10.47363/JDAT/2021(2)116)
- Kovalakova, P., Cizmas, L., McDonald, T. J., Marsalek, B., Feng, M., & Sharma, V. K. (2020). Occurrence and toxicity of antibiotics in the aquatic environment: A review. *Chemosphere*, 251, 126351. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126351>
- Liess, M., Henz, S., & Shahid, N. (2020). Modeling the synergistic effects of toxicant mixtures. *Environmental Sciences Europe*, 32(1), 119. <https://doi.org/10.1186/s12302-020-00394-7>
- Martínez-Alcalá, I., Soto, J., & Lahora, A. (2020). Antibiotics as emerging pollutants. Ecotoxicological risk and control in wastewater and reclaimed water. *Ecosistemas*, 29(3). <https://doi.org/10.7818/ECOS.2070>
- Mashchenko, Z. E., Maslova, E. V., Mizina, P. G., Gerasimov, Y. L., Purygin, P. P., & Shatalaev, I. F. (2018). Study of ampicillin toxicity to daphnia magna crustaceans and activated silt community. *Toxicological Review*, (1), 30–34. <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2018-1-30-34>
- Nezbedova, L., McGhie, T., Christensen, M., Heyes, J., Nasef, N. A., & Mehta, S. (2021). Onco-Preventive and Chemo-Protective Effects of Apple Bioactive Compounds. *Nutrients*, 13(11), 4025. <https://doi.org/10.3390/nu13114025>
- Nguyen, L. M., Nguyen, N. T. T., Nguyen, T. T. T., Nguyen, T. T., Nguyen, D. T. C., & Tran, T. Van. (2022). Occurrence, toxicity and adsorptive removal of the chloramphenicol antibiotic in water: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 20(3), 1929–1963. <https://doi.org/10.1007/s10311-022-01416-x>
- O'Higgins, T. G., Lago, M., & DeWitt, T. H. (2020). *Ecosystem-based management, ecosystem services and aquatic biodiversity*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-45843-0>
- Ortúzar, M., Esterhuizen, M., Olicón-Hernández, DR., González-López, J., & Aranda, E. (2022). Pharmaceutical Pollution in Aquatic Environments: A Concise Review of Environmental Impacts and Bioremediation Systems. *Frontiers in Microbiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.869332>
- P, N. K., B, R., & Nair, S. S. (2023). Antioxidant and Cytotoxic Effects of the Methanolic Extract of *Eichhornia crassipes* Petioles Upon Mg-63 Cell Lines: An In Vitro Study. *Cureus*, 15(5). <https://doi.org/10.7759/cureus.38425>
- Pesarakloo, A., Mousavizadeh, F., Mirkamali, S. J., Najibzadeh, M., & Esmaeilbeigi, M. (2025). Chemical composition of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) impacts developmental stages of *Bufotes sitibundus*: threat of an invasive plant to the amphibian species. *Ecotoxicology*. <https://doi.org/10.1007/s10646-025-02923-7>
- Seferli, M., Kotanidou, C., Lefkaki, M., Adamantidi, T., Panoutsopoulou, E., Finos, M. A., Krey, G., Kamidis, N., Stamatis, N., Anastasiadou, C., & Tsoupras, A. (2024).

Bioactives of the Freshwater Aquatic Plants, *Nelumbo nucifera* and *Lemna minor*, for Functional Foods, Cosmetics and Pharmaceutical Applications, with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Antithrombotic Health Promoting Properties. *Applied Sciences*, 14(15), 6634. <https://doi.org/10.3390/app14156634>

Vera Rodríguez, J. H., Gavin-Moyano, C., Villamar Aveiga, M. del R., Ortiz Mata, J. D., Sevilla Carrasco, J. D., Lucas Vidal, L. R., & García Mata, B. E. (2024). Chemical study of the macrophyte duckweed (*Lemna minor* L.). *Revista de La Facultad de Agronomía, Universidad Del Zulia*, 42(1), e254202. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v42.n1.II](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v42.n1.II)

Xu, W., & Wang, L. (2022). The physiological and molecular response of aquatic animals to environmental stresses. *Frontiers in Physiology*, 13. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.987004>

Zhang, Y., Guo, P., Wu, Y., Wang, M., Deng, J., Su, H., & Sun, Y. (2021). Evaluation of the Acute Effects and Oxidative Stress Responses of Phenicol Antibiotics and Suspended Particles in *Daphnia magna*. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 40(9), 2463–2473. <https://doi.org/10.1002/etc.5108>