

# Efecto biorremediador de la macrófita (*Hydrocotyle bonariensis*) sobre agua contaminada por purín porcino

## Bioremediation effect of the macrophyte (*Hydrocotyle bonariensis*) on water contaminated by pig slurry

José Humberto Vera-Rodríguez <sup>1,\*</sup>, Heberto Derlys Mendieta-Chica <sup>2</sup>, Melany Ariana Intriago-Villavicencio <sup>3</sup>, Rosa Liliana Romero-Blanco <sup>4</sup> y Verónica Cristina Andrade-Yucailla <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Estatal Península de Santa Elena, Facultad de Ciencias Agrarias, Santa Elena, Ecuador, 240207; <https://orcid.org/0000-0003-3027-059X>, [jvera7569@upse.edu.ec](mailto:jvera7569@upse.edu.ec); <https://orcid.org/0000-0001-7909-2128>, [vandrade@upse.edu.ec](mailto:vandrade@upse.edu.ec)

<sup>2</sup> Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Carrera de Medicina Veterinaria. Calceta, Ecuador, 130601; <https://orcid.org/0009-0009-2136X>, [dmendieta@espam.edu.ec](mailto:dmendieta@espam.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Unidad de Posgrado, Maestría en Biotecnología Agropecuaria. Quevedo, Ecuador, 120550; <https://orcid.org/0009-0007-8417-1198>, [melany.intriago2015@uteq.edu.ec](mailto:melany.intriago2015@uteq.edu.ec)

<sup>4</sup> Universidad Estatal de Milagro, Facultad de Posgrado. Milagro, Ecuador, 091050; <https://orcid.org/0009-0006-3464-9838>, [lromerob5@unemi.edu.ec](mailto:lromerob5@unemi.edu.ec)

\* Correspondencia [jvera7569@upse.edu.ec](mailto:jvera7569@upse.edu.ec)

 <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n3/85>

**Cita:** Vera-Rodríguez, J. H., Mendieta-Chica, H. D., Intriago-Villavicencio, M. A., Romero-Blanco, R. L., & Andrade-Yucailla, V. C. (2025). Efecto biorremediador de la macrófita (*Hydrocotyle bonariensis*) sobre agua contaminada por purín porcino. *Horizon Nexus Journal*, 3(3), 70-83. <https://doi.org/10.70881/hnj/v3/n3/85>

**Recibido:** 03/06/2025

**Revisado:** 10/07/2025

**Aceptado:** 16/07/2025

**Publicado:** 31/07/2025



**Copyright:** © 2025 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/).

[\(https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)

**Resumen:** El estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto biorremediador de *Hydrocotyle bonariensis* sobre agua contaminada por purín porcino. Se recolectó agua de un estero en El Triunfo, Guayas, y se trató durante 25 días en una piscina artificial en Simón Bolívar con la macrófita. Se realizaron análisis de la planta acuática, incluyendo el análisis de Weende para determinar su composición nutricional y un tamizaje fitoquímico para identificar compuestos bioactivos. Además, se evaluó la calidad del agua antes y después del tratamiento, midiendo parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para determinar la efectividad de la planta en la biorremediación. Los resultados caracterizan a *H. bonariensis*, con un alto contenido de humedad y una materia seca rica en proteína, grasa, fibra, cenizas y extracto libre de nitrógeno, además posee compuestos bioactivos como alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, cumarinas, terpenoides/esteroides y fenoles totales, demostró ser altamente eficaz en la biorremediación de aguas contaminadas por purines, logró reducir significativamente la materia orgánica, nutrientes y sólidos en suspensión, mejorando el oxígeno disuelto y la turbidez y microbiológicos (Coliformes fecales, *E. coli* y Enterococos fecales), excepto *Salmonella*. *H. bonariensis* puede ser considerado un biofiltro que mejora la calidad del agua contaminada por purines porcinos.

**Palabras clave:** biorremediación; fitorremediación; planta acuática.

**Abstract:** The study aimed to evaluate the bioremediation effect of *Hydrocotyle bonariensis* on water contaminated by pig slurry. Water was collected from an estuary in El Triunfo, Guayas, and treated with the macrophyte for 25 days in an artificial pool

in Simón Bolívar. Analyses of the aquatic plant were performed, including Weende analysis to determine its nutritional composition and phytochemical screening to identify bioactive compounds. In addition, water quality was evaluated before and after treatment, measuring physicochemical and microbiological parameters to determine the plant's effectiveness in bioremediation. The results characterize *H. bonariensis*, with a high moisture content and dry matter rich in protein, fat, fiber, ash and nitrogen-free extract, also has bioactive compounds such as alkaloids, flavonoids, saponins, tannins, coumarins, terpenoids / steroids and total phenols, it proved to be highly effective in the bioremediation of water contaminated by slurry, it significantly reduced organic matter, nutrients and suspended solids, improving dissolved oxygen and turbidity and microbiological (fecal coliforms, *E. coli* and fecal Enterococci), except *Salmonella*. *H. bonariensis* can be considered a biofilter that improves the quality of water contaminated by pig slurry.

**Keywords:** bioremediation; phytoremediation; aquatic plant.

## 1. Introducción

La contaminación del agua representa una de las problemáticas ambientales más acuciantes a nivel mundial, afectando la biodiversidad, la salud humana y los ecosistemas en general (García & Velasco, 2022). Entre los diversos agentes contaminantes, los efluentes agropecuarios, particularmente el purín porcino, se destacan por su alto contenido de materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, y patógenos, lo que puede provocar eutrofización, disminución del oxígeno disuelto y toxicidad en cuerpos de agua receptores (Zhang et al., 2021). La gestión inadecuada de estos residuos no solo genera un impacto local, sino que contribuye a la degradación ambiental a gran escala (Lozano-Chung et al., 2023).

Ante este escenario, la búsqueda de alternativas sostenibles y eficientes para el tratamiento de aguas residuales se ha vuelto imperativa, debido a que las tecnologías convencionales, si bien efectivas, a menudo conllevan altos costos operativos, consumo energético significativo y la generación de subproductos que requieren una disposición adecuada (Silva, 2023). En este contexto, la biorremediación emerge como una estrategia prometedora, aprovechando la capacidad de organismos vivos, como plantas y microorganismos, para degradar, transformar o remover contaminantes del medio ambiente (Jeres-Caguana et al., 2025).

Las macrófitas acuáticas, en particular, han demostrado ser herramientas valiosas en procesos de fitorremediación debido a su capacidad de absorber nutrientes y metales pesados, su alta tasa de crecimiento y su relativa facilidad de manejo (Vera et al., 2025). Estas plantas actúan como filtros biológicos, facilitando la remoción de contaminantes a través de mecanismos como la fitoextracción, fitodegradación y rizofiltración (Zhou et al., 2022). Su implementación en sistemas de tratamiento de aguas residuales ofrece una solución de bajo costo y con un impacto ambiental reducido (Barroso et al., 2023).

Dentro de la vasta diversidad de macrófitas, *Hydrocotyle bonariensis*, una especie nativa con amplia distribución en diversas regiones, incluyendo Ecuador, posee características que la hacen una candidata interesante para estudios de biorremediación (Quiroga et al., 2018). Su rápido crecimiento, alta biomasa y notable tolerancia a diferentes condiciones ambientales la posicionan como una especie con un potencial considerable para la depuración de aguas contaminadas, especialmente aquellas con altas cargas orgánicas como el purín porcino (Damián & Carrión, 2024).

El purín porcino, derivado de la producción intensiva de ganado porcino, es un residuo orgánico complejo y voluminoso (Santos, 2024). Su composición incluye una mezcla de heces, orina, restos de alimento y agua, lo que resulta en una elevada demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), y concentraciones elevadas de nitrógeno amoniacal y fósforo (Cugno et al., 2024). La descarga directa o el manejo inadecuado de este efluente puede generar serios problemas ambientales, como la contaminación de cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Canet et al., 2006).

La aplicación de *H. bonariensis* en el tratamiento de purín porcino representa una aproximación ecológica y económicamente viable para mitigar sus efectos nocivos. Se espera que esta macrófita, a través de sus mecanismos fisiológicos, pueda asimilar una parte significativa de los nutrientes, materia orgánica y contaminantes presentes en el purín, contribuyendo a la clarificación del agua y a la reducción de la carga contaminante antes de su vertido o reutilización. Se reporta literatura sobre eficiencias de remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) superiores al 90% y de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) por encima del 85% en sistemas de humedales construidos con especies como *Cyperus ligularis* y *Echinochloa colonum* (Lozano-Chung et al., 2024). En el caso de nutrientes, se han alcanzado remociones de nitrógeno total de hasta un 97% y de fósforo total de un 94% utilizando macrófitas como *Sagittaria latifolia* y *Sagittaria lancifolia* en humedales artificiales de flujo libre, evidenciando el potencial de estas plantas para la descontaminación de efluentes con altas cargas orgánicas y de nutrientes (Romellón-Cerino et al., 2022).

En un mundo cada vez más afectado por los desafíos del cambio climático, la búsqueda de soluciones resilientes se vuelve fundamental. La implementación de sistemas de biorremediación basados en macrófitas como *H. bonariensis* no solo aborda la contaminación actual, sino que también ofrece un enfoque adaptable y robusto frente a eventos climáticos extremos. La capacidad de estas plantas para prosperar en condiciones variables y su bajo requerimiento de energía y recursos las convierten en una estrategia resiliente, capaz de mantener su efectividad incluso bajo escenarios de estrés hídrico o fluctuaciones de temperatura asociadas al cambio climático, contribuyendo así a la seguridad hídrica y la sostenibilidad ambiental a largo plazo. Bajo este contexto el estudio tiene como objetivo evaluar el efecto biorremediador de *Hydrocotyle bonariensis* sobre agua contaminada por purín porcino.

## 2. Materiales y Métodos

### Sitio de estudio

El estudio se efectuó en la temporada seca (octubre 2024), la muestra de agua considerada para el estudio fue tomada en un estero que desemboca al río Dos Bocas del Recinto Dos Bocas del cantón El Triunfo de la provincia del Guayas, Ecuador dentro de las coordenadas 2° 18' 24.11" S, 79° 11' 27.36" W, cause contaminado por la producción porcina de traspatio de la comunidad. Fueron trasladados 2 m<sup>3</sup> de agua contaminada hasta el sitio El Rosario del Cantón Simón Bolívar, Guayas-Ecuador donde se adecuo una piscina artificial para efectuar el tratamiento durante 25 días con *H. bonariensis* recolectada de acuíferos de la localidad.

Los análisis realizados a la macrófita (Weende, tamizaje fitoquímico) y de calidad de agua (físico, químico y microbiológico) se realizaron en los respectivos laboratorios de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Península de Santa Elena.

### **Análisis de Weende**

Se empleó el análisis de Weende para determinar la proteína cruda (PC), extracto etéreo (EE), fibra cruda (FC), cenizas (CEN) y extracto libre de nitrógeno (ELN) de la muestra de *H. bonariensis*. Todos los resultados de PC, EE, FC, CEN y ELN se expresaron en porcentaje sobre base seca. Comenzando por la determinación de la humedad, se pesó 100 g de muestra y se secó a 105 °C hasta peso constante, lo que permitió calcular la materia seca (%).

La proteína cruda se obtuvo por el método de Kjeldahl, para lo cual se pesó 2 g de muestra y se sometió a digestión ácida para convertir el nitrógeno orgánico en amonio, seguido de su destilación, captura en ácido bórico y titulación, multiplicando el nitrógeno resultante por un factor de conversión. El extracto etéreo se determinó por extracción Soxhlet, para la cual se pesó 2 g de muestra y se extrajo con un solvente no polar; el residuo obtenido tras la evaporación del solvente representó el contenido graso. Para la fibra cruda, se utilizó 2 g de muestra desengrasada, la cual fue sometida a digestiones secuenciales con ácido y base diluidos; el residuo insoluble fue filtrado, secado, pesado e incinerado, siendo la diferencia de peso la fibra cruda. Finalmente, las cenizas se obtuvieron por calcinación 100 g de muestra en un horno mufla (Thermo Scientific Thermolyne F48000) a alta temperatura (550 °C) hasta peso constante; el residuo inorgánico representó el contenido de cenizas. El extracto libre de nitrógeno (ELN) se calculó por diferencia: se restó la suma de los porcentajes de humedad, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y cenizas (todos en base seca) a 100.

### **Tamizaje fitoquímico**

Para la determinación de los principales compuestos fitoquímicos presentes en *H. bonariensis*, se llevó a cabo un tamizaje fitoquímico cualitativo empleando extracto hidroetanólico 50/50 de la planta (Vera et al., 2025). La presencia de alcaloides se investigó mediante las pruebas de Dragendorff (1 mL del reactivo a 0.2% p/v en ácido acético glacial), Mayer (1 mL del reactivo preparado con yoduro potásico y cloruro mercúrico) y Wagner (1 mL del reactivo a base de yodo y yoduro potásico). Para la detección de flavonoides, se aplicaron los ensayos de Shinoda (Cianidina) (0.5 g de magnesio y 1 mL de ácido clorhídrico concentrado al extracto hidroetanólico) y Cloruro Férrico (tres gotas de solución de Cloruro Férrico al 1% al extracto). Las saponinas se analizaron a través de la prueba de la espuma, que implicó la agitación de 5 mL del extracto acuoso en un tubo de ensayo. La existencia de taninos se verificó utilizando las pruebas de Cloruro Férrico (dos gotas de solución de Cloruro Férrico al 1% al extracto). Las antraquinonas fueron investigadas mediante la reacción de Bornträger (calentando el extracto con 1 mL de hidróxido de sodio al 10% y 1 mL de benceno).

Las cumarinas se identificaron con la prueba de Ehrlich, basada en la reacción con hidróxido de potasio (1 mL de reactivo 10% al extracto). La detección de terpenoides y esteroides se realizó con los ensayos de Salkowski (mezclando el extracto con 2 mL de ácido sulfúrico concentrado) y Liebermann-Burchard (añadiendo al extracto 1 mL de anhídrido acético y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado). Los glicósidos cardiotónicos

se analizaron mediante la prueba de Keller-Kiliani (utilizando 2 mL de ácido acético glacial, unas gotas de cloruro férrico al 5% y 1 mL de ácido sulfúrico concentrado). Finalmente, la presencia de fenoles totales fue evaluada utilizando el reactivo de Folin-Ciocalteu (mezclando 1 mL del extracto con 1 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu diluido 1:10 y 1 mL de solución de carbonato de sodio al 20%).

### Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

Para caracterizar los parámetros fisicoquímicos del agua de río contaminada por purines porcinos, se realizaron mediciones tanto en el pre-tratamiento como en el post-tratamiento con *H. bonariensis*. El pH se determinó potenciométricamente utilizando un medidor de pH calibrado (Thermo Scientific Orion Star A211). La concentración de Oxígeno Disuelto (OD) se midió mediante un oxímetro (YSI Pro2030). La Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) se evaluó incubando las muestras diluidas a 20 °C durante cinco días y midiendo la disminución de oxígeno disuelto utilizando un sistema de respirometría (WTW OxiTop). La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se determinó por el método de digestión cerrada y espectrofotometría utilizando un espectrofotómetro (HACH DR3900). Los Sólidos Suspendidos Totales (SST) se cuantificaron por filtración gravimétrica empleando un sistema de filtración al vacío y una balanza analítica (Mettler Toledo MS104TS). El Nitrógeno Total (NT) y el Nitrógeno Amoniacal (NH<sub>3</sub>-N) se analizaron utilizando métodos estandarizados para nitrógeno con espectrofotómetro. El Fósforo Total (PT) se determinó por digestión y posterior análisis espectrofotométrico utilizando el mismo espectrofotómetro. La Conductividad Eléctrica (CE) se midió con un conductímetro (Hanna Instruments HI98192), y la Turbidez se cuantificó utilizando un turbidímetro (HACH 2100Q).

En cuanto a los parámetros microbiológicos, se emplearon técnicas de cultivo y recuento para evaluar la carga bacteriana del agua de río en ambas fases del estudio. Para *Coliformes fecales* y *Escherichia coli*, se aplicó el método de filtración por membrana, utilizando agar m-FC (TM MEDIA 52 g/L<sup>-1</sup>) incubando a 44,5 °C por 24 horas, y para *E. coli*, se realizaron pruebas confirmativas adicionales como la producción de indol. Los *Enterococos fecales* se analizaron sembrando las muestras en agar m-Enterococcus (TM MEDIA 42 g/L<sup>-1</sup>), incubando a 35 °C durante 48 horas. La contabilización de colonias para estos parámetros se realizó visualmente, contando las unidades formadoras de colonias (UFC) características en las placas. La presencia de *Salmonella* spp. se investigó mediante la siembra en placas Compact Dry SL que contienen un sustrato cromogénico, con incubación a 37 °C por 48 horas, el cual permitió evidenciar colonias presuntivas de *Salmonella* con una coloración verde.

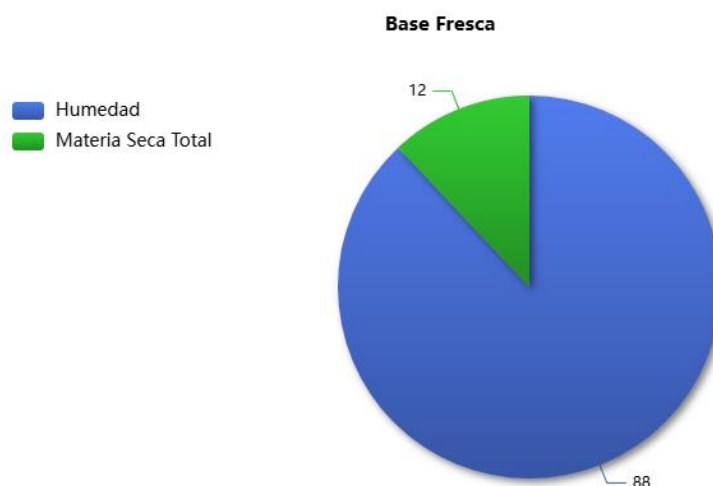
## 3. Resultados y discusión

### 3.1. Análisis de Weende

La figura 1 presenta un diagrama de pastel que muestra los resultados del análisis de Weende para *H. bonariensis* en base fresca, dividiendo la muestra en dos componentes principales: Humedad y materia seca total.

#### Figura 1

*Porcentaje de materia seca de la H. bonariensis en base a materia fresca*



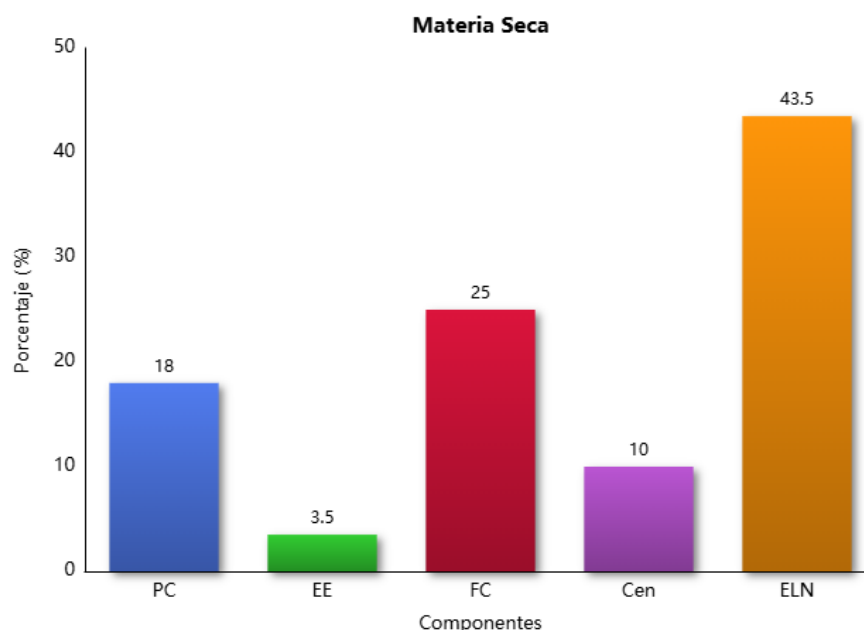
El alto contenido de humedad observado en *H. bonariensis* (88%) es una característica común en muchas plantas acuáticas y semi-acuáticas, como lo es esta especie, que crece en ambientes húmedos e incluso sumergida en ocasiones. Este porcentaje de humedad es crucial para el mantenimiento de la turgencia celular, el transporte de nutrientes y la realización de procesos metabólicos esenciales (Salazar et al., 2018). La materia seca total (12%) es el componente de interés para evaluar el valor nutricional real de la planta. Dentro de este 12% se encuentran todos los macro y micronutrientes disponibles para un consumidor (ya sea animal o humano, dependiendo del uso de la planta)(Palacios & Arellano, 2025).

La relevancia de estos datos radica en la evaluación de *H. bonariensis* para diferentes propósitos. Por ejemplo, si se considera como forraje para animales, el alto contenido de humedad podría limitar su uso como única fuente de alimento debido al bajo aporte de materia seca por unidad de peso. Sin embargo, en el contexto de la alimentación de rumiantes, forrajes con alta humedad pueden contribuir a la hidratación (Vera et al., 2021). Si la planta se está evaluando por sus propiedades fitoquímicas o medicinales, la extracción de compuestos activos a menudo requiere el secado previo para concentrar la materia de interés, lo que resalta la importancia de conocer la proporción entre humedad y materia seca (Vera et al., 2025).

La figura 2 presenta un gráfico de barras que detalla la composición porcentual de la Materia Seca de *H. bonariensis*, según el análisis de Weende. Esta figura describe el valor nutricional de la planta bajo los componentes: Proteína Cruda (PC), Extracto Etéreo (EE), Fibra Cruda (FC), Cenizas (Cen) y Extracto Libre de Nitrógeno (ELN).

## Figura 2

*Composición química de la H. bonariensis en base a materia seca*



La composición de la materia seca de *H. bonariensis* (basada en el análisis de Weende) proporciona información valiosa sobre su potencial como recurso nutricional. El alto porcentaje de Extracto Libre de Nitrógeno (ELN) (43.5%) indica que la planta es rica en carbohidratos solubles, como azúcares y almidones, que son fuentes de energía de rápida disponibilidad (Vera-Rodríguez et al., 2020). Esto podría hacerla atractiva para organismos que requieren un aporte energético inmediato.

El contenido de Proteína Cruda (PC) del 18% en la materia seca es relativamente alto para una planta. Este valor es comparable o incluso superior al de algunos forrajes convencionales, lo que sugiere que *H. bonariensis* podría ser una buena fuente de proteínas para animales herbívoros. Las proteínas son esenciales para el crecimiento, reparación de tejidos y diversas funciones metabólicas (Vera Rodríguez et al., 2021).

La Fibra Cruda (FC) con un 25% es un componente importante, especialmente si se considera la planta como forraje. Este nivel de fibra es característico de muchos materiales vegetales y contribuye a la salud digestiva, particularmente en rumiantes, al estimular la masticación y la rumia, y al proveer un sustrato para la fermentación microbiana en el rumen (Vera, 2022). Sin embargo, un exceso de fibra puede limitar la digestibilidad total.

El contenido de Cenizas (10%) es significativo, lo que apunta a una riqueza mineral considerable. Este aspecto es importante, ya que las plantas acuáticas y semi-acuáticas a menudo absorben minerales del agua y del sustrato (Barbosa & Figueroa, 2011). Un alto contenido de cenizas podría indicar una buena fuente de macro y microminerales esenciales (como calcio, fósforo, magnesio, potasio, etc.) (Domínguez-Vara et al., 2023), pero también podría incluir minerales no esenciales o incluso potencialmente tóxicos si la planta crece en ambientes contaminados, lo cual requeriría un análisis más detallado de la composición mineral específica.

El Extracto Etéreo (EE) del 3.5% es un valor moderado, lo que sugiere un aporte energético de grasas que, aunque no es el principal, es relevante. Los lípidos son una fuente de energía concentrada y también contribuyen a la absorción de vitaminas liposolubles (Vesga & Salcedo, 2021). En conjunto, estos resultados sugieren que la

materia seca de *H. bonariensis* posee un perfil nutricional interesante, con un buen balance entre carbohidratos fácilmente digeribles (ELN), proteína y fibra, además de un notable contenido mineral. La digestibilidad de estos componentes, especialmente la de la fibra y las proteínas, dependería del organismo que la consume (Vera et al., 2021). Para una aplicación práctica, como su uso en la alimentación animal, se requerirían estudios de digestibilidad *in vivo* o *in vitro* para determinar la disponibilidad real de estos nutrientes (Vera Rodríguez et al., 2021).

### 3.2. Tamizaje fitoquímico

El tamizaje fitoquímico cualitativo realizado a *H. bonariensis* revela la presencia o ausencia de diversos grupos de metabolitos secundarios, que son compuestos producidos por las plantas, según la tabla 1.

**Tabla 1**

*Tamizaje fitoquímico de la H. bonariensis*

Compuestos Fitoquímicos	Prueba Cualitativa	Resultado
Alcaloides	Dragendorff / Mayer / Wagner	Positivo
Flavonoides	Shinoda (Cianidina) / Cloruro Férrico	Positivo
Saponinas	Espuma (agitación)	Positivo
Taninos	Cloruro Férrico / Gelatina	Positivo
Antraquinonas	Bornträger / modificada	Negativo
Cumarinas	Ehrlich (reacción con KOH)	Positivo
Terpenoides / Esteroides	Salkowski / Liebermann-Burchard	Positivo
Glicósidos Cardiotónicos	Keller-Kiliani	Negativo
Fenoles Totales	Folin-Ciocalteu	Positivo

Los resultados del tamizaje fitoquímico de *H. bonariensis* revelan que esta planta es una fuente rica en diversos metabolitos secundarios con potencial bioactividad. La detección de alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, cumarinas, terpenoides/esteroides y fenoles totales sugiere un perfil químico complejo y prometedor para futuras investigaciones.

Estos compuestos pueden desempeñar un papel crucial en la capacidad de la planta para tolerar, secuestrar o transformar contaminantes. Por ejemplo, los fenoles y flavonoides, conocidos por sus propiedades antioxidantes, podrían ayudar a la planta a mitigar el estrés oxidativo inducido por contaminantes como metales pesados o compuestos orgánicos tóxicos (Rios-Catota et al., 2025). Además, algunos terpenoides y saponinas han demostrado capacidad para complejar metales o interactuar con contaminantes orgánicos, facilitando su absorción o degradación (Medina-Dzul et al., 2025). Los taninos, por su capacidad de unión a proteínas y metales, podrían contribuir a la inmovilización de ciertos contaminantes en los tejidos vegetales o en la zona radicular, reduciendo su biodisponibilidad en el agua (Aguirre et al., 2018).

### 3.3. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua

La tabla 2 compara los parámetros físico-químicos del agua contaminada por purines porcinos antes (Pre-tratamiento) y después (Post-tratamiento) de la intervención con *H. bonariensis*.

**Tabla 2**

*Parámetros físico-químicos del agua de río contaminada por purines porcinos pre-tratamiento y post-tratamiento con H. bonariensis*

Parámetro	Unidad	Pre-tratamiento	Post-tratamiento
pH	pH	8.2	7.6
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	3.5	5.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	365	78
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1200	230
Sólidos Suspendidos Totales (SST)	mg/L	600	102
Nitrógeno Total (NT)	mg/L	90	20
Nitrógeno Amoniacal (NH <sub>3</sub> -N)	mg/L	46	11
Fósforo Total (PT)	mg/L	17	9
Conductividad Eléctrica (CE)	µS/cm	> 850	< 590
Turbidez	NTU	435	17

Los resultados demuestran de manera contundente que *H. bonariensis* es altamente eficaz en la biorremediación de aguas contaminadas con purines porcinos. La planta logra una reducción sustancial de la carga orgánica (DBO<sub>5</sub>, DQO), sólidos suspendidos, nutrientes (NT, NH<sub>3</sub>-N, PT) y mejora significativamente los parámetros de oxígeno disuelto, pH y turbidez. Esta capacidad de depuración resalta el gran potencial de *H. bonariensis* como una solución sostenible y económicamente viable para el tratamiento de aguas residuales en contextos rurales o en la gestión ambiental. Esta eficiencia se correlaciona con la composición fitoquímica previamente analizada, donde la presencia de diversos metabolitos secundarios podría estar facilitando la tolerancia a los contaminantes y la promoción de procesos de detoxificación (Vera et al., 2025).

Mientras tanto, la tabla 3 presenta los resultados de los análisis microbiológicos del agua de río contaminada por purines porcinos antes (Pre-tratamiento) y después (Post-tratamiento) de la aplicación de *H. bonariensis*.

**Tabla 3**

*Parámetros microbiológicos del agua de río contaminada por purines porcinos pre-tratamiento y post-tratamiento con H. bonariensis*

Parámetro	Unidad	Pre-tratamiento	Post-tratamiento
<i>Coliformes fecales</i>	UFC/100 mL	> 100,000	1000
<i>Escherichia coli</i>	UFC/100 mL	> 3,500	500
<i>Enterococos fecales</i>	UFC/100 mL	> 1,000	450
<i>Salmonella</i> spp.	Ausencia/Presencia	Presencia	Presencia

Los resultados microbiológicos demuestran que *H. bonariensis* tiene un impacto positivo y significativo en la reducción de la carga de indicadores de contaminación fecal en aguas de río afectadas por purines porcinos. Las disminuciones drásticas en los recuentos de *Coliformes fecales*, *E. coli* y *Enterococos fecales* son una clara evidencia de la capacidad de la planta para mejorar la calidad sanitaria del agua. Esta reducción puede atribuirse a varios mecanismos: la filtración física de partículas que contienen bacterias por las raíces y tallos de la planta (Maldonado & Balagurusamy, 2022), la competencia por nutrientes con la microbiota nativa de la rizosfera de la planta, la liberación de compuestos antimicrobianos por parte de la planta (algunos de los metabolitos secundarios identificados previamente, como alcaloides, flavonoides o taninos, podrían tener esta propiedad) (Masias-Flores et al., 2025).

Sin embargo, a pesar de las notables reducciones en los indicadores, la persistencia de *Salmonella* spp. es una limitación crítica de este tratamiento. Esto significa que, aunque la carga bacteriana general disminuye, el agua post-tratamiento aún representa un riesgo potencial para la salud pública si se utiliza para consumo humano o riego de cultivos que se consumen crudos. La persistencia de *Salmonella* a pesar del tratamiento indica que la bacteria tiene la capacidad de soportar o evadir los efectos del tratamiento, por sus características innatas (Vargas-Abella et al., 2023).

#### 4. Conclusiones

El análisis integral de *H. bonariensis* describe su potencial para la biorremediación de aguas contaminadas con purines porcinos. Fitoquímicamente, la planta posee un rico perfil de metabolitos secundarios (alcaloides, flavonoides, saponinas, taninos, cumarinas, terpenoides/esteroides y fenoles totales) que probablemente contribuyen a su resistencia y capacidad para mitigar el estrés ambiental y, posiblemente, a la reducción de contaminantes. Nutricionalmente, su materia seca, aunque minoritaria, presenta un balance interesante de proteínas, carbohidratos y minerales. Lo más contundente son los resultados del tratamiento de agua: la planta demostró una excepcional capacidad para depurar la carga orgánica (reducciones superiores al 78% en DBO<sub>5</sub> y DQO), sólidos suspendidos, y nutrientes como nitrógeno y fósforo, mejorando drásticamente el oxígeno disuelto y la turbidez. Sin embargo, a pesar de la significativa reducción de indicadores fecales (*Coliformes*, *E. coli*, *Enterococos*), la persistencia de *Salmonella* spp. subraya la necesidad de complementar este biotratamiento con etapas adicionales para garantizar la seguridad sanitaria total del agua, especialmente para usos que impliquen contacto directo o consumo humano.

**Contribución de los autores:** Conceptualización, JHV-R.; metodología, HDM-Ch. y JHV-R.; software, VCA-Y.; validación, HDM-Ch.; análisis formal, MAI-V.; investigación, JHV-R.; recursos, JHV-R. y HDM-Ch.; redacción del borrador original, JHV-R.; redacción, revisión y edición, JHV-R.; visualización, RLR-B.; supervisión, RLR-B. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

**Financiamiento:** Esta investigación no ha recibido financiación externa

**Declaración de disponibilidad de datos:** Los datos están disponibles previa solicitud a los autores de correspondencia: [jvera7569@upse.edu.ec](mailto:jvera7569@upse.edu.ec)

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

## Referencias Bibliográficas

- Aguirre, S. E., Piraneque, N. V., & Cruz, R. K. (2018). Sustancias naturales: alternativa para el tratamiento de agua del río Magdalena en Palermo, Colombia. *Información Tecnológica*, 29(3), 59–70. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000300059>
- Barbosa, J. B., & Figueroa, J. L. (2011). Plantas acuáticas y su relevancia en la acuicultura. *Inventio, La Génesis de La Cultura Universitaria En Morelos*, 8(15), 57–63. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3953721>
- Barroso, G. M., Dos Santos, E. A., Pires, F. R., Galon, L., Cabral, C. M., & Dos Santos, J. B. (2023). Phytoremediation: a green and low-cost technology to remediate herbicides in the environment. *Chemosphere*, 334, 138943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.138943>
- Canet, R., Ribó, M., Pomares, F., & Albiach, R. (2006). Caracterización y potenciales impactos ambientales de las deyecciones ganaderas. *Conferencia Nacional de Gestión de Deyecciones Ganaderas*, 23–38. <http://hdl.handle.net/20.500.11939/7027>
- Cugno, H., Bosch-Serra, À. D., Orobítg, J., Yagüe, M. R., & Domingo-Olivé, F. (2024). Cambios en la presencia de especies de oribátidos (Acarina, Oribatida) asociados a la fertilización con purín porcino en clima Mediterráneo seco. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 120(1). [https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2024/120-1/\(002-012\)V100900120-1.pdf](https://www.aida-itea.org/aida-itea/files/itea/revistas/2024/120-1/(002-012)V100900120-1.pdf)
- Damián, R. V., & Carrión, C. S. (2024). Potencial de fitorremediación del matecillo (*Hydrocotyle ranunculoides* Lf) en aguas contaminadas con metales pesados de la quebrada Pacchantay. *Revista de Investigación Hatun Yachay Wasi*, 3(1), 86–97. <https://doi.org/https://doi.org/10.57107/hyw.v3i1.60>
- Domínguez-Vara, I., Bórquez-Gastelum, J., Lugo-de-la-Fuente, J., & Trujillo-Gutiérrez, D. (2023). Contenido mineral y de nutrientes de ensilados de rastrojo de maíz con excretas pecuarias y subproductos ricos en carbohidratos. *Abanico Veterinario*, 13. <https://doi.org/https://doi.org/10.21929/abavet2023.17>
- García, L. J. R., & Velasco, S. M. (2022). Impacto de la contaminación ambiental y la calidad de vida de la comunidad del Municipio Padilla. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 6(2), 3019–3036. [https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl\\_rcm.v6i2.2072](https://doi.org/https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v6i2.2072)
- Jeres-Caguana, G. A., Montaña-Roldan, V. L., Ordoñez-Zuñiga, N. L., Vera-Rodriguez, J. H., & Lucas-Vidal, L. R. (2025). Efecto biorremediador de la espirulina y *Trichoderma* spp. en suelo contaminado con plomo (Pb). *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 1–12. <https://doi.org/https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/48>

Lozano-Chung, A., Lozano-Carranza, C. M., & Colichon-Carranza, R. D. (2024). Plantas macrófitas (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*) como depurador de metales pesados en aguas residuales domésticas. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 3(2), e688–e688. <https://doi.org/https://doi.org/10.51252/reacae.v3i2.688>

Lozano-Chung, A., Lozano-Carranza, C. M., & Colichón-Carranza, R. D. (2023). Sistema de gestión basado en métodos de residuos sólidos para mejorar el manejo de desechos domiciliarios. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(2), e588–e588. <https://doi.org/https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.588>

Maldonado, I., & Balagurusamy, N. (2022). Biotransformación de antibióticos en humedales artificiales: Rol de la interacción entre microorganismos y macrófitas. *Ecología Austral*, 32(3), 1054–1069. <https://doi.org/https://doi.org/10.20937/rica.55026>

Masias-Flores, S. M., Granada-Cruz, G. O., & Vera-Marmanillo, V. I. (2025). Eficiencia de rizobacterias de *Scirpus californicus* y *Typha dominguensis* en la reducción de DQO de aguas residuales bajo condiciones de laboratorio. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 41. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60829210>

Medina-Dzul, K. B., Sánchez, M., & Ballina-Gómez, H. S. (2025). ¿ Las plantas hablan? Una mirada a su increíble mundo de comunicación y defensa. *Bioagrocencias*, 18(1). <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/BAC/article/download/6233/2493>

Palacios, C. M., & Arellano, R. E. J. (2025). Concentraciones de macronutrientes en tallos de pitahaya roja [*Hylocereus undatus* (Haw.) Britton y Rose] en Ecuador. *Revista Verde de Agroecología e Desarrollo Sustentável*, 20(1), 1–9. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/10124221.pdf>

Quiroga, L. M. S., Romero, J. A. O., Mancero, M. Y. B., & Calderón, H. S. (2018). Comparación en la eficiencia de dos especies vegetales nativas de la Amazonia ecuatoriana buchón de agua (*Limnocharis flava*) y muñequita de agua (*Hydrocotyle bonariensis*) en la absorción de plomo. *Revista Caribeña de Ciencias Sociales (RCCS)*, 11, 43. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9591578.pdf>

Rios-Catota, D. V., Álvarez-Sánchez, A. R., & Vera-Rodríguez, J. H. (2025). Biosíntesis de nanopartículas de plata mediante *Trichoderma asperellum* y su impacto en el crecimiento vegetativo del maíz (*Zea mays* L.). *Multidisciplinary Collaborative Journal*, 3(2), 148–158. <https://doi.org/https://doi.org/10.70881/mcj/v3/n2/57>

Romellón-Cerino, M. J., Estrada-Pérez, N., & López-Ocaña, G. (2022). Remoción y cinética de contaminantes básicos en humedales artificiales en serie. *Tendencias En Energías Renovables y Sustentabilidad*, 1(1), 108–118. <https://doi.org/https://doi.org/10.56845/terys.v1i1.123>

Salazar, M. T. J., Giraldo, Y. M., & Serna, D. M. O. (2018). Efectos en el nivel fotosintético en tres especies de plantas acuáticas sometidas a un tratamiento con agua residual de origen minero. *Boletín Científico Centro de Museos Museo de Historia Natural*, 22(1), 43–57. <https://doi.org/https://doi.org/10.17151/bccm.2018.22.1.3>

Santos, M. (2024). Contribución de los purines a la descarbonización de la economía nacional. *Ganadería*, 152, 6–9. <https://www.revistaganaderia.com/UploadedFiles/contribucion-purines-descarbonizacion.pdf>

Silva, J. A. (2023). Wastewater treatment and reuse for sustainable water resources management: a systematic literature review. *Sustainability*, 15(14), 10940. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su151410940>

Vargas-Abella, J. C., Tarazona-Manrique, L. E., & Andrade-Becerra, R. J. (2023). Serotipificación y perfil de resistencia antimicrobiana de *Salmonella* spp. aislados de crocodilos en cautiverio. *Revista MVZ Córdoba*, 28(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.21897/rmvz.3045>

Vera-Rodríguez, J. H., Sánchez, S. T. T., Rojas, H. A. M., Cabrera, J. Á. G., Reinoso, L. E. P., Cabrera, W. N. M., Vivar, L. A. R., & Guaraca, Ó. M. C. (2020). Valoración nutricional de los residuos orgánicos de banano en el cantón La Troncal, Ecuador. *Revista Universitaria Del Caribe*, 26(01), 78–86. <https://doi.org/https://doi.org/10.5377/ruc.v26i01.11882>

Vera, J. (2022). Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos del cantón La Troncal-Ecuador. *Revista Científica Sinapsis*, 2(21). <https://doi.org/https://doi.org/10.37117/s.v2i21.580>

Vera, J., Gavin-Moyano, C., Villamar, M., Ortiz, J., Sevilla, J., Lucas, L., & García, B. (2025). Chemical study of the macrophyte duckweed (*Lemna minor* L.). *Revista De La Facultad De Agronomía De La Universidad Del Zulia*, 42(1), e254202. <https://www.produccioncientificaluz.org/index.php/agronomia/article/view/43124>

Vera, J., Lazo, R., Barzallo, D., & Gavin, C. (2021). Caracterización química y degradabilidad in situ de residuos orgánicos como alternativa alimenticia para bovinos. *Ecuadorian Science Journal*, 5(4), 1–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.46480/esj.5.4.166>

Vera Rodríguez, J. H., Jiménez Murillo, W. J., Naula Mejía, M. C., Cárdenas, U. J. V., Zaruma Quito, F. A., Montecé Maridueña, G. Y., Cabrera Carreño, W. J.,

Zambrano Valencia, F. N., & Astudillo Ludizaca, C. M. (2021). Residuos de la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) como alternativa alimenticia para rumiantes. *Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia*, 13(2), 24–29. <https://doi.org/https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.839>

Vesga, D. A., & Salcedo, Y. T. G. (2021). Suplementación lipídica para la producción de carne bovina en confinamientos. *Revista Colombiana de Ciencia Animal Recia*, 13(2), 62–71. <https://doi.org/https://doi.org/10.24188/recia.v13.n2.2021.770>

Zhang, Z., Liu, D., Qiao, Y., Li, S., Chen, Y., & Hu, C. (2021). Mitigation of carbon and nitrogen losses during pig manure composting: A meta-analysis. *Science of the Total Environment*, 783, 147103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.147103>

Zhou, Q., Sun, H., Jia, L., Wu, W., & Wang, J. (2022). Simultaneous biological removal of nitrogen and phosphorus from secondary effluent of wastewater treatment plants by advanced treatment: A review. *Chemosphere*, 296, 134054. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134054>