



DOI: <https://doi.org/10.23857/dc.v12i1.4687>

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

***Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas
en la comunidad Guargualla, Cebadas, Chimborazo***

***Efficiency of three high Andean species in phytoremediation of contaminated
waters in the Guargualla community, Cebadas, Chimborazo***

***Eficiência de três espécies andinas de altitude na fitorremediação de águas
contaminadas na comunidade de Guargualla, Cebadas, Chimborazo***

Manuel Antonio Naula Pulla ^I
amopulla@hotmail.com
<https://orcid.org/0009-0004-6240-1720>

Luz María Orna Puente ^{II}
maryorna@yahoo.es
<https://orcid.org/0000-0001-7429-3764>

Diego Francisco Cushquicullma Colcha ^{III}
diego.cushquiculma@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0001-6265-8164>

Maritza Lucía Vaca Cárdenas ^{IV}
maritza.vaca@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-4474-4354>

Correspondencia: amopulla@hotmail.com

***Recibido:** 10 de diciembre de 2025 ***Aceptado:** 20 de enero de 2026 ***Publicado:** 10 de febrero de 2026

- I. Investigador independiente, Ecuador.
- II. Investigador independiente, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Decanato de Investigaciones, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Ecuador.

Resumen

Los páramos andinos son vitales para la regulación del agua, sin embargo, presentan amenazas por actividades como la minería, fenómenos naturales, ganadería y agricultura. Esta situación afecta la calidad de agua, en este contexto la presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de tres especies vegetales altoandinas para remover metales en el agua en la comunidad Guargualla, parroquia Cebadas, provincia de Chimborazo; en la primera fase se recolectaron muestras de agua con base en la metodología de la norma INEN 2169:2013, INEN 2176:2013 y INEN 1105: 1983, para determinar las propiedades microbiológicas, físicas y químicas del agua. Posteriormente se evaluó la eficiencia utilizando un diseño de bloques al azar (DBCA) con 5 variables respuesta (Cr, Fe, As, Hg y Pb) y su posterior análisis de la varianza y la prueba de Tukey: los resultados indican que los parámetros: turbidez, color, dureza total, arsénico, cromo, mercurio están fuera del rango según la norma TULSMA, INEN 1108 y OMS, y los parámetros: salinidad, pH, cloruro, conductividad, sólidos disueltos, temperatura, hierro, plomo están dentro de norma TULSMA. De la evaluación de la eficiencia de las tres especies *Plantago rígida*, *Calamagrostis intermedia* y *Lachemilla orbiculata* se determina que tres metales pesados: arsénico, hierro y plomo no tienen diferencias significativas y para cromo, mercurio presenta diferencias significativas con “p-valor” de $< 0,001$ y $0,0015$ respectivamente, por lo tanto existió evidencia estadística para afirmar que *Plantago rígida* es más eficiente en la remoción de cromo y mercurio, cabe recalcar también que *Lachemilla orbiculata* es eficiente en la remoción de cromo, y *Calamagrostis intermedia* remueve mercurio, por sus características de raíz y la extensión. Poseen una mayor tolerancia a niveles elevados de contaminantes lo que le permite crecer en ambientes más contaminados sin perder su capacidad de absorción.

Palabras Clave: remoción metales; tolerancia; metales pesados; especies florísticas; paramo.

Abstract

The Andean highlands are vital for water regulation; however, they face threats from activities such as mining, natural phenomena, livestock farming, and agriculture. This situation affects water quality. In this context, the present research aimed to evaluate the efficiency of three high-Andean plant species in removing metals from water in the Guargualla community, Cebadas parish, Chimborazo province. In the first phase, water samples were collected based on the methodology of the INEN 2169:2013, INEN 2176:2013, and INEN 1105:1983 standards to determine the microbiological,

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guargualla,
Cebadas, Chimborazo

physical, and chemical properties of the water. Subsequently, efficiency was evaluated using a randomized block design (RBBB) with 5 response variables (Cr, Fe, As, Hg and Pb) and its subsequent analysis of variance and Tukey test: the results indicate that the parameters: turbidity, color, total hardness, arsenic, chromium, mercury are outside the range according to the TULSMA, INEN 1108 and WHO standards, and the parameters: salinity, pH, chloride, conductivity, dissolved solids, temperature, iron, lead are within the TULSMA standard. The evaluation of the efficiency of the three species *Plantago rigida*, *Calamagrostis intermedia*, and *Lachemilla orbiculata* determined that three heavy metals—arsenic, iron, and lead—showed no significant differences. However, for chromium and mercury, significant differences were found with p-values of <0.001 and 0.0015, respectively. Therefore, there was statistical evidence to conclude that *Plantago rigida* is more efficient in the removal of chromium and mercury. It should also be noted that *Lachemilla orbiculata* is efficient in chromium removal, and *Calamagrostis intermedia* removes mercury, due to its root characteristics and extent. These species possess greater tolerance to high levels of contaminants, allowing them to grow in more polluted environments without losing their absorption capacity.

Keywords: metal removal; tolerance; heavy metals; floristic species; páramo.

Resumo

As terras altas andinas são vitais para a regulação hídrica; no entanto, enfrentam ameaças decorrentes de atividades como mineração, fenômenos naturais, pecuária e agricultura. Essa situação afeta a qualidade da água. Nesse contexto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a eficiência de três espécies vegetais das terras altas andinas na remoção de metais da água na comunidade de Guargualla, paróquia de Cebadas, província de Chimborazo. Na primeira fase, amostras de água foram coletadas com base na metodologia das normas INEN 2169:2013, INEN 2176:2013 e INEN 1105:1983 para determinar as propriedades microbiológicas, físicas e químicas da água. Posteriormente, a eficiência foi avaliada utilizando um delineamento em blocos casualizados (DBC) com 5 variáveis de resposta (Cr, Fe, As, Hg e Pb) e sua subsequente análise de variância e teste de Tukey: os resultados indicam que os parâmetros: turbidez, cor, dureza total, arsênio, cromo e mercúrio estão fora da faixa de acordo com as normas TULSMA, INEN 1108 e OMS, e os parâmetros: salinidade, pH, cloreto, condutividade, sólidos dissolvidos, temperatura, ferro e chumbo estão dentro do padrão TULSMA. A avaliação da eficiência das três espécies *Plantago rigida*, *Calamagrostis intermedia* e *Lachemilla orbiculata* determinou que três metais pesados — arsênio, ferro e chumbo — não apresentaram

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

diferenças significativas. No entanto, para cromo e mercúrio, foram encontradas diferenças significativas com valores de $p < 0,001$ e $0,0015$, respectivamente. Portanto, houve evidências estatísticas para concluir que *Plantago rigida* é mais eficiente na remoção de cromo e mercúrio. Deve-se notar também que *Lachemilla orbiculata* é eficiente na remoção de cromo e *Calamagrostis intermedia* remove mercúrio, devido às características e extensão de suas raízes. Essas espécies possuem maior tolerância a altos níveis de contaminantes, permitindo que cresçam em ambientes mais poluídos sem perder sua capacidade de absorção.

Palavras-chave: remoção de metais; tolerância; metais pesados; espécies florísticas; páramo.

Introducción

Ecuador es un país con gran variedad de ecosistema y posee una amplia biodiversidad, por lo que es reconocido a nivel mundial por ser uno de los mayores puntos de concentración de vida animal y vegetal en el planeta (Velásquez, 2014, p. 13-23). Estos ecosistemas de alta montaña se encuentran principalmente en América del Sur, distribuidos a lo largo de la cordillera de los Andes en países como Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela, Bolivia, parte Argentina y Chile.

En Ecuador los páramos se encuentran a una altitud promedio de 3300 metros sobre nivel del mar y representan el 7% del territorio nacional (Carillo et al, 2019, pp.30-47). Estos ecosistemas desempeñan un papel importante en el abastecimiento de agua para los valles interandinos y las ciudades circulantes. Entre las características que los hacen tan especiales están su baja evapotranspiración, alta humedad (Velásquez y Cobeña, 2022, p.10), acumulación de materia orgánica y la particular morfología de las plantas que habitan en ellos (Rojas et al., 2019, p35). Además, actúan como importantes sumideros de carbono, almacenando hasta seis veces más carbono que los bosques tropicales.

El ecosistema altoandino se caracteriza por su clima frío y húmedo, albergan especies vegetales adaptadas a condiciones extremas, algunas de las cuales han demostrado potencial para la fitorremediación. Especies como *Plantago rígida* y *Calamagrostis intermedia* han sido identificadas como eficientes acumuladoras de metales pesados, lo que sugiere su potencial uso en programas de restauración ecológica (Arteaga et al., 2025, pp. 88-89).

La fitorremediación es una estrategia ecológica que utiliza plantas para remediar suelos y aguas contaminadas mediante la absorción, acumulación, degradación o volatilización de contaminantes. Esta técnica es especialmente relevante en ecosistemas sensibles como los páramos de la sierra

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guargualla, Cebadas, Chimborazo

ecuatoriana, que son fundamentales para la regulación del ciclo hidrológico y la conservación de la biodiversidad. Sin embargo, la contaminación por metales pesados, resultado de actividades antropogénicas como la minería amenaza la integridad de este ecosistema (Delgadillo et al., 2010, pp. 26-42).

La fitorremediación se presenta como una estrategia efectiva y sostenible para abordar esta problemática de la contaminación de aguas en los páramos andinos. Estos ecosistemas, debido a sus sensibilidades y a la presión que enfrentan por la actividad humana, requieren métodos de descontaminación que sean no solo eficientes, sino también respetuosos con el medio ambiente. Las especies fitorremediadoras, al ser nativas de estos ecosistemas son adecuados a las condiciones locales y poseen mecanismos naturales para absorber, acumular y degradar contaminantes como metales pesados y nutrientes en exceso (Arenas et al. 2024, pp. 10-20).

La presente investigación tiene como finalidad evaluar la eficiencia de tres especies vegetales altoandinas fitorremediadoras para el tratamiento de agua en la comunidad Guargualla, parroquia Cebadas, provincia de Chimborazo. Para ello, se plantea como objetivos específicos caracterizar la calidad del agua en dicha comunidad y determinar la eficiencia de las especies *Plantago rígida*, *Lachemilla orbiculata* y *Calamagrostis intermedia* en la remoción de agentes contaminantes presentes en el agua.

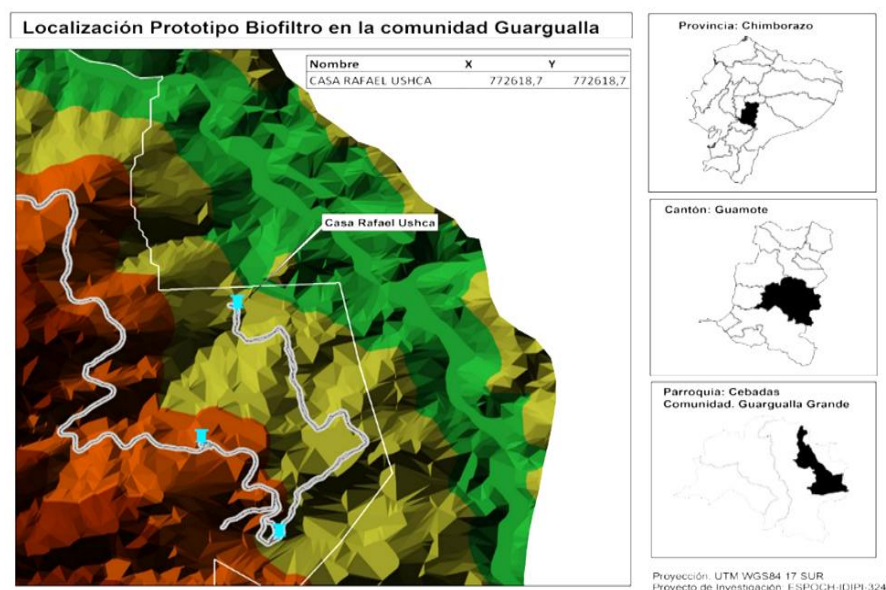
Metodología

Área de estudio

El trabajo se realizó en la comunidad Guargualla de parroquia Cebadas, cantón Guamote en la provincia de Chimborazo. Se limitan al Norte: con la parroquia Pungalá (cantón Riobamba); y al Oeste; parroquia Cebadas (cantón Guamote con la extensión de 189,91 Km² aproximadamente. Con una latitud 774268m, longitud 978435m y una altitud 2880-4500 m.s.n.m.

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guargualla, Cebadas, Chimborazo

Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad Guargualla



El estudio cuenta con un diseño experimental para medir la eficiencia de tres especies altoandinas *Plantago rígida*, *Lachemilla orbiculata*, *Calamagrostis intermedia* en la remoción de metales pesados de agua contaminada.

Parámetros físicos, químicos y microbiológico

Se recolectaron 14 muestras en dos sitios de estudio, para la toma de muestras se consideraron variables como: topografía y ubicación de cuerpos de agua, posteriormente se realizaron los análisis en los laboratorios de la Espoch (Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Ciencias Pecuarias) para asegurar una alta confiabilidad, validez e integridad de los resultados.

El procedimiento de recolección de muestras se ajustó a la norma vigente en país. NTE INEN 2169:98 y NTE INEN 2176:98. Para los análisis microbiológicos (Coliformes fecales) se aplicó la norma NTE INEN 1105:1983. Los parámetros analizados de las muestras de agua de río y bofedal.

Tabla 1: Determinación de parámetros químicos y físicos

Parámetros	unidad	Límite máximo
Color	(Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Temperatura	° C	25
Dureza de agua	mg/L	150
Conductividad eléctrica	milimhos/cm	>3,0

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

Sólidos disueltos totales	mg/L	>2000
Coliformes fecales	NMP/100ml	1000

Realizado por: Los autores, 2025

Tabla 2: Determinación de metales pesados

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Arsénico	mg/L	0,1
Cromo	mg/L	0,1
Hierro	mg/L	5,0
Mercurio	mg/L	0,001
Plomo	mg/L	5,0

Realizado por: Los autores, 2025

Determinación de parámetros físico

a. Conductividad eléctrica

Se procedió a lavar el conductímetro eléctrico OAKTON WD-35462-11 con agua destilada. Se tomó una proporcional de 50 ml de la muestra de agua, luego se depositó en un vaso de precipitación de 100 ml y se efectuó la lectura mediante un conductímetro.

b. Temperatura

Se procedió a medir la temperatura con un termómetro INKBIRD BBQ GO -HH1C. Se tomó 50ml de la muestra y se acopló en un vaso de precipitación de 50ml, a continuación. Se realizó la lectura de la temperatura en grados Celsius.

c. Turbidez

La determinación de la turbidez del agua se ejecutó con el equipo Hach Ratio XR Turbidimeter 43900-ALT en unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) mediante la dispersión de luz.

d. Color

Se utilizó el equipo espectrofotómetro Hach Lange DR 2800, se depositaron 20ml de agua destilada en la cubeta para establecer una referencia. Luego, se tomaron una muestra de agua del mismo volumen y se analizó en el equipo, que emitió luz y midió su absorción según los compuestos presente. Finalmente, se obtuvieron un resultado en unidades Pt-Co.

e. Sólidos disueltos totales

En una cápsula de porcelana lavada se puso en la mufla a 550 °C por 60 minutos, después de estar frío, seco, se procedió a pesar y a guardar en un desecadora. Una vez secado la porcelana se colocó 50ml

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

de muestra y se llevó a evaporar en la mufla. Después, mantengo la muestra a 103-105 °C por 60 minutos, la en frío en un desecador y la peso. Repito el secado hasta alcanzar un peso constante. Este proceso garantiza mediciones precisas para el análisis de calidad del agua. Una vez paso el tiempo se procedió a pesar y calcular los resultados. Se efectuó cinco repeticiones respectivamente.

Los sólidos disueltos totales se calculan como:

$$\text{TDS} \frac{(mg)}{(l)} = \frac{(A - B) \times 1000}{ml(muestra)}$$

Donde:

A= peso de la cápsula más la muestra seca a 105 C (mg)

B= peso cápsula (mg)

Determinación de parámetros químicos

a. pH

Se calibró un pH-metro OAKTON™ 35423-01 con buffers de pH 4, 7 y 10. Luego, se midió el pH de 50 ml de muestra en un vaso de precipitación, realizando cinco repeticiones.

b. Determinación de dureza total

La dureza total del agua se determinó mediante titulación con EDTA 0,01 M, siguiendo el método complejo-métrico. Se empleó un indicador Eriocromo T y una solución tampón para mantener el pH. La muestra (25 ml) se tituló hasta el cambio de color de rojo vino a azul, registrando el volumen consumido de EDTA. Se realizaron cinco repeticiones y los resultados se expresaron en mg/L de CaCO₃ utilizando la fórmula estándar.

c. Salinidad

Se utilizó el equipo Oakton PC2700 para medir la salinidad. Tras calibrarlo, se colocaron 60 ml de muestra en un vaso de precipitación y se sumergió la sonda, evitando burbujas. La lectura se registró en ppm.

d. Cloruros

La determinación de cloruros en muestras de agua se realizó mediante titulación argentométrica, basada en la reacción entre los iones cloruro (Cl⁻) y el nitrato de plata (AgNO₃), formando un precipitado de cloruro de plata (AgCl).

Primero, se prepararon las soluciones necesarias: nitrato de plata (AgNO₃) 0,01N y dicromato de potasio (K₂Cr₂O₇ al 5%) como indicador. Se instaló el equipo de titulación y se cargó la bureta con la solución de AgNO₃. Luego, se midieron 5 ml de la muestra de agua en una probeta y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Se añadieron 3 gotas del indicador (dicromato de potasio al 5%)

y se procedió a la titulación, observando el cambio de color de amarillo a rojo ladrillo como punto final.

Finalmente, se registró el volumen de AgNO_3 consumido y se calculó la concentración de cloruros utilizando la fórmula:

$$\text{meq/L de Cl}^- = (V \times N \times 1000) / \text{volumen de muestra (ml)}$$

Donde:

V = volumen de AgNO_3 gastado (ml)

N = normalidad del AgNO_3 (0,01N)

Volumen de muestra = 5 ml

e. Análisis de metales pesados

Para los análisis de metales pesados, se empleó el método espectrómetro de absorción atómica, siguiendo la metodología descrita en el libro de Estándar Methods for the Examination of Water and Wastewater, en la tabla 3 se menciona los métodos aplicados para determinación de cada metal específico.

Tabla 3: Técnicas empleadas para el análisis de metales pesados

Parámetros	Unidad	Método
Arsénico	mg/L	SM 3030,3133 B/33
Cromo	mg/L	SM 3030,3133 B/33
Hierro	mg/L	SM 3030,3133 B/33
Mercurio	mg/L	SM Ed. 23,2017,3112b/57,00
Plomo	mg/L	SM 3030,3111 B/33

Realizado por: Los autores, 2025

Determinación del parámetro microbiológico

a. Coliformes fecales

Se recolectaron cinco muestras de agua de río y cinco de bofedal (1000 ml cada una). Se preparó el medio de cultivo BBL Trypticase Soy Agar (8,45 g en 300 ml de agua) y se realizaron diluciones 10^{-3} en 30 tubos de ensayo. Todo el material (agar, tubos, puntas y cajas Petri) fue esterilizado en autoclave durante 1 hora a 120°C y luego enfriado por 20 minutos. Se inoculó 1 ml de cada muestra en cajas Petri usando puntas desechables, completando un total de 30 placas. Las placas se incubaron durante 48 horas a $35-37^\circ\text{C}$. Finalmente, se realizó el conteo de colonias con un contador, y se calculó el número de unidades formadoras de colonias (UFC) por 100 ml mediante la fórmula:

$$\text{UFC}/100 \text{ ml} = (\sum C) / (n \times V) \times 100$$

Donde:

$\sum C$ = Total de colonias contadas

n = Número de réplicas

V = Volumen inoculado (ml)

Diseño experimental

Unidad experimental

Las unidades experimentales fueron 12 baldes cada uno con un tamaño de 1000ml de agua, posteriormente se realizaron análisis químicos de los metales pesados (Cr, Fe, Pb, As, Hg) en el equipo espectrometría de absorción atómica.

Tratamiento y diseño experimental

Tabla 4: Esquema del experimento

Tratamientos	Código	Bloques	TUE* ml	Total
<i>Plantago rígida</i>	T1	4	1000	4000
<i>Lachemilla orbiculata</i>	T2	4	1000	4000
<i>Calamagrostis intermedia</i>	T3	4	1000	4000
Total, de ml:				12000

TUE: Tratamiento de la unidad experimental 1000ml de agua*

Realizado por: Los autores, 2025

Análisis estadísticos y prueba de significancia

Los resultados experimentales obtenidos se analizaron mediante pruebas estadísticas, utilizando un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), seguido de un análisis de varianza (ANOVA) para determinar las diferencias significativas entre tratamientos, y una separación de medias mediante la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0,05$.

Resultados y discusión

Caracterizar la calidad del agua de la comunidad Guargualla en la parroquia de Cebadas.

La codificación para las muestras fue: para muestreo río se empleó M1 y para sitio del muestreo bofedal M2.

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala, Cebadas, Chimborazo

Tabla 5: Comparación de los resultados con la Norma INEN 1108 y OMS

Parámetros	Unidad	Resultados del laboratorio		Criterios de calidad	Interpretación	
		M1	M2		M1	M2
Color	Pt- Co	48,2	107,6	15	x	x
Temperatura	°C	8,0	9,0	8-25	✓	✓
Turbidez	NTU	4,0	50	5	✓	x

(x): *No cumple*

(✓): *Cumple*

Realizado por: Los autores, 2025

a. Color

Los resultados de la variable de color de agua determinado que la muestra M2 tiene mayor valor con 107.6 Pt-Co, mientras que M1 tiene 48.2 Pt-Co. Según la norma INEN 1108 el límite máximo permisible es de 15 Pt-Co. Por lo tanto, que las dos superan considerablemente los límites establecidos, lo que las hace no aptas para el consumo humano debido a la presencia excesiva de materiales disueltos.

b. Temperatura

La variable de la temperatura M1 tuvo un valor de 8,0 °C, mientras que M2 registró 9,0 °C. cabe destacar que este parámetro no está establecido en la normativa INEN 1108 ni TULSMA; sin embargo, (Díaz & González, 2022, pp.76-80), mencionan que la temperatura óptima del agua potable debe situarse entre 10 y 22 °C para garantizar su calidad y aceptabilidad. Para riego, se recomienda un rango de 8 a 25 °C, ya que valores fuera de este intervalo pueden comprometer el desarrollo de los cultivos; Es un factor relevante en la calidad de agua para consumo humano y riego. Temperaturas muy bajas pueden afectar negativamente el desarrollo de los cultivos, mientras que temperaturas elevadas reducen el oxígeno disuelto, favoreciendo el crecimiento de bacterias en el agua (Moral y Yanes, 2021, pp.39-42). La variación observada, entre río 8,0 °C y bofedal 9,0 °C, puede atribuirse a las condiciones climáticas durante el muestreo, realizado en las horas de madrugada con presencia de nubosidad.

c. Turbidez

La determinación de turbidez, M1 presenta un valor de 4.0 NTU cumpliendo con el criterio de calidad establecido por la norma INEN 1108, que permite hasta 5 NTU para consumo humano. No obstante, M2 tiene un valor de 50 NTU, lo que la indica que no es óptimo, ya que excede con límite

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala, Cebadas, Chimborazo

recomendado. Esta diferencia puede deberse a factores como carga sedimentaria, actividad biológica o contaminación extrema.

Tabla 6: Comparación de los resultados con Norma TULSMA Anexo 1

Parámetros	Unidad	Resultados de laboratorio		Grado de restricción			Interpretación	
		M1	M2	Ninguno	Moderado	Severo	M1	M2
Conductividad eléctrica	milimhos/cm	0,09	0,08	0,7	0,7-3	>3,0	✓	✓
Sólidos disueltos totales	mg/L	211	50	450	450-2000	>2000	✓	✓

(x): No cumple

(✓): Cumple

Realizado por: Los autores, 2025

a. Conductividad eléctrica

Se determinó valores bajos, M1 con 0,09 milimhos/cm, mientras que M2 tiene 0,08 milimhos/cm. Lo que me indica que ambas fuentes tienen una baja concentración de sales disueltas. Según los criterios agua destinado a riego, un valor de CE a 0,7 milimhos/cm es ideal, lo que ambas muestras cumplen con los grados de restricción.

b. Sólidos disueltos totales

Estos elementos sólidos presentaron valores bajos en M1 con un valor de 211 mg/L, mientras que M2 es de 50 mg/L, lo que están muy debajo del límite recomendado, indicando que el agua es adecuada para el riego. Ambos valores están dentro de límites recomendados por la normativa TULSMA.

Caracterización de parámetros químicos

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala, Cebadas, Chimborazo

Tabla 7: Resultado de parámetros químicos comparación los resultados TULSMA, OMS

Parámetros	Unidad	Resultados del laboratorio		Grado de restricción			Interpretación	
		M1	M2	Mínimo	Moderado	Máximo	M1	M2
Dureza Total	mg/L	169	112	15-75	75-150	>150	x	✓
Salinidad	ppt	0,138	0,101	0,448	0,448- 1,92	>1,92	✓	✓
Cloruro	meq/L	2,53	2,84	4,0	4,0- 10,0	>10	✓	✓
Ph	-	7,14	6,72	-	6,5- 8,4	-	✓	✓

(x): No cumple

(✓): Cumple

Realizado por: Los autores, 2025

a. Dureza total

Como resultado de la dureza del agua, dentro de parámetros tenemos M1 con 169mg/L. De acuerdo con lo analizado y la OMS la dureza de agua se encuentra en grado de restricción máxima es decir que agua contiene concentraciones de Ca y Mg alto lo perjudicaría para el uso como riego. En cambio, en M2 se tiene concentraciones moderadas con 112 mg/L se podría usar en riego, pero de manera controlada, si el agua se utiliza en exceso, podría llevar a la acumulación de sales en el suelo.

Según (EMUROTU y HABIB, 2020, p.2), valores superiores a 150 mg/L pueden causar incrustaciones en las tuberías y reducir la eficiencia de los detergentes, así como para el riego, una dureza moderada puede tener un efecto sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo y la absorción de agua por medio de las plantas.

La dureza del agua en los páramos altoandinos interconectados, que incluyen la composición geológica, las situaciones climáticas y las interacciones ecológicas. Los páramos andinos gozan de niveles excesivos de precipitación, especialmente en alguno momento de la estación humedal, lo que permite la interacción entre el agua y el sustrato geológico. A medida que el agua de lluvia se filtra a través del suelo, no solo disuelve los minerales, sino que también afecta al equilibrio iónico del agua, lo que provoca un aumento de los niveles de dureza (Correa et al., 2020, pp.15-16).

b. Salinidad

El resultado obtenido de la salinidad de las muestras analizadas tenemos que M1 es de 0,138 ppt, en cambio M2 con 0,101ppt. De acuerdo con lo analizado y las norma TULSMA el agua para uso de riego, en salinidad deben estar en su grado de restricción mínimo de 0,448ppt. Por lo que se cumple

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

con grado mínimo de restricción. Según (Avellaneda et al., 2020, pp.2-4), los bajos niveles de salinidad del ambiente de páramo pueden atribuirse especialmente a varios elementos claves, como sus condiciones geográficas y climáticas únicas, así como sus características hidrológicas. Los páramos, ubicados en elevaciones por encima de los 2800 metros en los andes tropicales, se caracterizan por un clima frío y lluvioso, combinado con una baja presión atmosférica, lo que crea un ambiente distintivo propicio para bajos niveles de salinidad en sus aguas y suelos.

Según (Correa et al., 2020, pp.14-23), las zonas de páramo suelen recibir precipitaciones excesivas, lo que contribuye a una considerable retención de agua en esos ecosistemas. Esta retención es esencial para la preservación de sus estructuras hidrológicas y se debe en gran parte a las propiedades específicas de los suelos de páramo, que pueden ser regularmente ricos en dependencia natural. La estabilidad de la precipitación y la excesiva altitud regularmente resultan en bajas tasas de evaporación, lo que además ayuda a ambiente de baja salinidad.

c. Cloruro

Los resultados obtenidos de cloruro M1 con un valor de 2.53 meq/L y M2 registró 2.84 meq/l. en donde se encuentra en la norma de calidad de agua para riego (TULSMA), donde el agua es apta para usar como fuente de riego en sector.

Según (Carrasco et al., 2020, pp.3-5) menciona que la baja concentración se debe a la alta pluviosidad y esorrentía, que diluyen las sales y a la baja evaporación por el clima frío y húmedo. Además, los suelos ricos en materia orgánica retienen iones y limitan la acumulación de cloruro. La ausencia de fuentes geológicas salinas y la filtración a través de turba también contribuyen a su reducción. Hay estaciones con mayor cloruro lo cual se debe a la influencia de manantiales con composiciones mineral específicas. Las filtraciones del agua a través de suelos ricos en materiales orgánicos y turbas ayudan a retener iones, reduciendo su concentración en el agua superficial.

d. pH

Los datos obtenidos indican que el pH en M1 es de 7,14, mientras que M2 tiene un valor de 6,72. Según (Hagemans et al., 2023, pp.3-6), el pH en los páramos está influenciado por diversos factores hidrológicos y ecológicos. Las características químicas de aguas en este ecosistema están vinculadas a la naturaleza oligotrófica de los lagos de páramos, los cuales suelen tener bajos niveles de nutrientes y minerales. Además, los suelos predominantes en el páramo están compuestos por cenizas volcánicas con alto contenido orgánico, lo que contribuye a los niveles moderados de pH observados en los cuerpos de agua asociados. Estas observaciones respaldan que estos suelos suelen tener Ph

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

bajo y una alta conductividad hidráulica (Boanares et al., 2024, pp.1098-1106).

Tabla 8: Resultado de los metales pesados comparación de la norma TULSMA

Parámetros	Unidad	Resultado del laboratorio		Valor máximo	Interpretación	
		M1	M2		M1	M2
Arsénico (As)	mg/L	2,485	2,680	0,1	x	x
Cromo (Cr)	mg/L	0,156	0,149	0,1	x	x
Hierro (Fe)	mg/L	0,275	0,971	5,0	✓	✓
Plomo (Pb)	mg/L	0,001	0,0106	5,0	✓	✓
Mercurio (Hg)	mg/L	0,00316	0,00446	0,001	x	x

(x): No cumple

(✓): Cumple

Realizado por: Los autores, 2025

a. Arsénico

En los metales pesados en valor en arsénico se encontraron 2,485 mg/L en M1 y 2,680 mg/L en M2. Según lo analizado y la norma de criterio de calidad de agua para uso agrícola en riego (TUSLMA) se determinó que este no cumple, ya que el valor máximo es de 0.1mg/L, por lo que podría tener implicaciones negativas para la salud del suelo y los cultivos, debido a la toxicidad del arsénico. Además, estos resultados exceden el límite máximo permitido por la norma INEN 1108 que es de 0,01 mg/L.

b. Cromo

Los valores determinados en el cromo se encontraron en M1 con 0,156mg/L, mientras que, en el M2 con un valor de 0,149mg/L. Estos resultados están fuera de criterio de calidad de agua para uso agrícola en riego (TULSMA) ya que el valor máximo es de 0,1 mg/L. También estos valores están fuera del límite máximo permitido, según la norma INEN 1108 de agua potable el requerimiento.

c. Hierro

La cantidad de hierro encontrado en M1 se registró un valor de 0,275mg/L y en M2 fue de 0,971 mg/L. Por tal razón, lo analizado está dentro de criterio de calidad de agua para uso agrícola en riego (TULSMA) se comprobó que este elemento está en el rango de que cumple las condiciones, pues el índice máximo es de 5,0 mg/L. Además, la muestra de agua de río cumple con el criterio de calidad

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaranda, Cebadas, Chimborazo

para consumo humano según la (NOM -127-SSA1, 1994, pp. 4-5) en la cual su límite permisible es de 0,30 mg/L.

d. Plomo

Dentro de las muestras de agua analizadas la cantidad de plomo en M1 con un valor de 0,001 mg/L, mientras que en M2 la cantidad plomo alcanzo un valor de 0,0106 mg/L. Estos resultados están dentro de criterio de calidad de agua para uso agrícola en riego (TULSMA) ya que el valor máximo es de 5,0 mg/L. Sin embargo, para uso de agua potable en la muestra rio cumple con el criterio de calidad, pero el agua del bofedal hay un mínimo cantidad de exceso del límite, ya que le valor máximo permitido según la norma INEN 1108 es de 0,01mg/L.

e. Mercurio

El análisis de la calidad del agua mostro concentraciones de mercurio de 0,00316 mg/L en M1 y 0,004616 mg/L en M2, evidenciando una ligera variación entre ambos ecosistemas. Estos valores superan el límite máximo de 0,001 mg/L estableciendo en la norma TULSMA para el uso agrícola en riego, lo que indica una posible contaminación que podría representar un riesgo para la salud del suelo y cultivo. Sin embargo, estos valores respectivamente están dentro del límite máximo permitido en la norma INEN 1108 que es de 0,006 mg/L.

Tabla 9: Resultado microbiológico comparado con la Norma TULSMA, Anexo 1

Parámetros	Unidad	Resultados del laboratorio		Criterio de calidad	Interpretación	
		M1	M2		M1	M2
Coliforme fecales	NMP/100ml	1000	3200	1000	✓	x

(x): No cumple

(✓): Cumple

Realizado por: Los autores, 2025

El análisis realizado indica que le río de la zona se registraron 1000 UFC/100ml de Coliformes fecales, mientras que en el bofedal la concentración fue de 3200 UFC/100ml. Según lo establecido en la normativa TULSMA, el agua destinada para riego debe cumplir con el límite de 1000NMP/100ML de Coliformes fecales. En este sentido, el agua de río se encuentra dentro del criterio de calidad permitido, mientras que la del bofedal excede el límite, con un valor de 3200Nmp/100ml.

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

Los bofedales pueden actuar tanto como fuente de sumidero de coliformes fecales debido a su capacidad de filtración y asimilación de nutrientes y contaminantes. Sin embargo, aquellos que han sido perturbados o están sujetos a escorrentía urbana suelen presentar mayores concentraciones de estos microorganismos en comparación con los bofedales no alterados (Zambrano et al., 2022, pp.4-10). En los páramos, la presencia de coliformes está influenciada por factores como la fauna silvestre, la actividad ganadera y el turismo de la zona.

Determinar la eficiencia de tres especies *Plantago rígida*, *Lachemilla orbiculata*, *Calamagrostis intermedia*, en la fitorremediación de agentes contaminantes presentes en el agua

La muestra de aguas de bofedal fue sometida a los tratamientos de biofiltros compuestos por las tres especies *Plantago rígida*, *Lachemilla orbiculata*, *Calamagrostis intermedia*. Una vez finalizado el tratamiento se tomaron las muestras respectivas en cada biofiltro.

a. Cromo

El análisis de varianza sobre la remoción de cromo de acuerdo con el modelo y los tratamientos, en la cual se verifica que los factores presentaron diferencias significativas, el “p-valor” es de $< 0,001$, es decir menos a 0,05, cuyo valor es el establecido para interpretar datos significativos. Por ello, los tratamientos influyen en la remoción de los metales pesados en el agua

Tabla 10: Análisis de varianza (ANOVA) de cromo

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,03	6	0,01	52,87	$<0,001$
Tratamientos	0,03	3	0,01	105,21	$<0,0001$
Bloques	1,6E-04	3	5,3E-05	0,52	0,6770
Error	9,0E-04	9	1,0E-04		
Total	0,03	15			

Dado que se identificaron diferencias significativas entre los tratamientos, se realizó la prueba Tukey para determinar el grado de diferenciación entre ellos. En la Tabla 10 muestra que tratamiento utilizando el biofiltro del experimento la especie altoandina *Plantago rígida* es la más eficiente en la remoción de este metal, ya que la concentración final de cromo es más baja después del tratamiento con un valor de 0,04mg/L. En comparación, la *Lachemilla orbiculata* presentó una concentración de 0,07 mg/L, mientras *Calamagrostis intermedia* alcanzó 0,12mg/L.

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Cebadas, Chimborazo

Tabla 11: Prueba de Tukey para análisis de cromo

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS= 0,02211				
Error: 0,001	gl: 9			
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Testigo	0,16	4	0,01	A
<i>Calamagrostis Intermedia</i>	0,12	4	0,01	B
<i>Lachemilla Orbiculata</i>	0,07	4	0,01	C
<i>Plantago Rígida</i>	0,04	4	0,01	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Los autores, 2025

Las especies altoandinas *Plantago rígida* y *Lachemilla orbiculata* han demostrado ser eficaces en la eliminación de cromo del agua debido a sus características fisiológicas únicas. Según (Enbaia et al., 2021, pp.2-6), estas plantas poseen respuestas adaptativas que mitigan los efectos tóxicos del cromo al modificar el entorno de la rizosfera en comparación con *Calamagrostis intermedia*. Este proceso favorece un estado de redox que facilita la reducción del Cr (VI) a forma menos tóxica, Cr (III), mejorando así la absorción del cromo hexavalente. Además, los mecanismos bioquímicos conteniendo la producción de enzimas y metabolitos específicos que suministran la desintoxicación y bioacumulación de metales pesados, reduciendo así su perjuicio para el medio ambiente (Aiyesanmi et al., 2020, pp.78-79).

b. Mercurio

El análisis de varianza sobre la remoción de mercurio en la Tabla 12. Indica que el modelo y los tratamientos demostraron diferencia significativa el “p- valor” da como 0,0015. El valor es inferior al establecido como estadísticamente significativo, el cual es 0,05. Por tal razón, se puede interpretar que las especies altoandinas influye en la remoción de mercurio.

Tabla 12: Análisis de varianza (ANOVA) de mercurio

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo I)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1,8E-05	6	3,0E-06	17,52	0,0015
Tratamiento	1,5E-05	3	5,1E-06	29,80	0,005
Bloques	2,7E-06	3	8,9E-07	5,23	0,0413
Error	1,0E-06	6	1,7E-07		
Total	1,9E-05	12			

Realizado por: Los autores, 2025

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala, Cebadas, Chimborazo

Para evaluar las diferencias significativas en los tratamientos, se realizó una prueba Tukey Tabla 13.

La cual determinó que la especie altoandina más eficiente la remoción de mercurio fue *Plantago rígida*, con una concentración media de 0,00056 mg/L. En comparación, *Calamagrostis intermedia* con un valor de 0,0007mg/L, mientras *Lachemilla orbiculata* registró 0,00075mg/L. Aunque estas dos últimas especies lograron reducir la concentración de mercurio, su eficiencia fue menor en relación con *Plantago rígida*.

Tabla 13: Prueba de Tukey para análisis de mercurio

Test: Tukey Alfa= 0,05 DMS= 0,00133				
Error: 0,000	gl: 6			
Tratamientos	Medias	n	E.E.	
Testigo	4, 5E-03	1	4,1E-04	A
<i>Lachemilla Orbiculata</i>	2, 0E-03	4	2,1E-04	B
<i>Calamagrostis Intermedia</i>	7, 5E-04	4	2,1E-04	B C
<i>Plantago Rígida</i>	5, 6E-04	4	2,1E-04	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p>0,05$)

Realizado por: Los autores, 2025

Según (Ortega & García, 2024, pp.36-40) menciona que la eficiencia de remoción de aguas contaminadas de la *Plantago rígida* y *Calamagrostis intermedia* se da por sus características fisiológicas que contribuyen a su capacidad para fitorremediar el mercurio de los páramos por su sistema radicular denso y profundo

En los páramos altoandinos se caracteriza por suelos anegados y sedimentos ricos en materia orgánica, lo que crea condiciones óptimas para la actividad microbiana responsable de la metilación del mercurio (Liu et al., 2023, pp.18149-8154). En estos ecosistemas, los humedales favorecen la transformación del mercurio inorgánico en metilmercurio, una forma altamente tóxica y bioacumulable en las redes tróficas, representando un riesgo para los organismos terrestres y acuáticos (Roth et al., 2021, pp.3-9).

c. Arsénico

El análisis de varianza sobre la remoción de Arsénico se describe en la Tabla 14. En la que se menciona que el modelo y los tratamientos demostraron que no existe diferencias significativas. El motivo de dicho resultado fue determinado debido a que el “p-valor” es de 0,2809, un valor superior al 0,05 denominado valor significativo.

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala, Cebadas, Chimborazo

Tabla 14: Análisis de varianza (ANOVA) para arsénico

Cuadro de análisis de la varianza (SC tipo III)					
F. V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,11	6	0,02	1,50	0,2809
Tratamiento	0,08	3	0,03	2,40	0,1354
Bloques	0,02	3	0,01	0,60	0,6324
Error	0,11	9	0,01		
Total	0,21	15			

Realizado por: Los autores, 2025

No obstante, para respaldar lo presentado en la Tabla 15, se realizó la prueba de Tukey con el objetivo de evaluar la media de remoción de cada tratamiento. Los resultados mostraron que las medias son similares a la del tratamiento testigo, lo que indica que no hay evidencia estadística suficiente para determinar una diferencia significativa ni identificar que especie es más eficiente. Sin embargo, todas las especies lograron remover arsénico de las aguas contaminadas.

Tabla 15: Prueba de Tukey para análisis de arsénico

Test: Tukey Alfa= 0,05 DMS= 0,23893				
Error: 0,0117	gl: 9			
Tratamientos	Medias	n	E. E	
Testigo	2,68	4	0,05	A
<i>Lachemilla Orbiculata</i>	2,62	4	0,05	A
<i>Calamagrostis Intermedia</i>	2,62	4	0,05	A
<i>Plantago Rígida</i>	2,48	4	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Los autores, 2025

Las tres especies altoandinas cumplieron con la remoción del arsénico en pequeñas cantidades. Sin embargo, es fundamental evaluar no solo la capacidad de absorción de estas especies, sino también los posibles efectos ecológicos de su uso a largo plazo. Es necesario determinar si la acumulación del arsénico en la biomasa vegetal representa un riesgo en las cadenas tróficas (Besedin et al., 2023, pp.2-15).

d. Plomo

El análisis de varianza elaborado en Tabla 16 sobre la remoción de plomo, demostró que el modelo y los tratamientos no presentaron diferencias significativas. Esto se debe a que el "p-valor" de 0,7907

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala,
Cebadas, Chimborazo

fue superior al considerado como estadísticamente significativo de 0,05. Cuyo valor es muy alto, por lo cual las medias de especies altoandinas no influyen en la remoción de plomo, pero si hubo remoción de plomo en bajas cantidades.

Tabla 16: Análisis de varianza (ANOVA) para plomo

Cuadro de análisis de la Varianza (SC tipo III)					
F.V.	SC	gl	CM	F	p- valor
Modelo	1, 6E-03	6	2, 7E-04	0,50	0,7907
Tratamiento	7, 3E-04	3	2, 4E-04	0,45	0,7296
Bloques	9, 0E-04	3	3, 0E-04	0,55	0,6646
Error	3,3E-03	6	5, 5E-04		
Total	4,9E-03	12			

Realizado por: Los autores, 2025

Por ello, se llevó a cabo la prueba de Tukey para verificar que los valores de las medias son estadísticamente iguales, lo que se evidencia en la Tabla 17, donde todos se agrupan bajo la letra “A”. Además, ninguno de los tratamientos presenta haber remoción de plomo.

Tabla 17: Prueba de Tukey para plomo

Test: Tukey Alfa= 0,05 DMS= 0,07560				
Error: 0,0005	gl: 6			
Tratamientos	Medias	n	E.E.	
<i>Lachemilla Orbiculata</i>	0,01	4	0,01	A
<i>Calamagrostis Intermedia</i>	0,01	4	0,01	A
Testigo	0,01	1	0,02	A
<i>Plantago Rígida</i>	0,01	4	0,01	A

Medidas con la letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Los autores, 2025

Los resultados obtenidos que los tratamientos con *Lachemilla orbiculata*, *Calamagrostis intermedia* y *Plantago rígida* no lograron una remoción significativa del plomo en el agua contaminada. Las concentraciones finales de los metales pesados fueron similares a la del tratamiento testigo. Esto se puede atribuir por el poco tiempo que se dejó en los biofiltros, la baja capacidad de bioacumulación de estas especies frente al plomo o la posible necesidad de condiciones ambientales específicas.

e. Hierro

El análisis de varianza sobre la remoción de hierro se describe en la Tabla 18. En la que se menciona que modelo y los tratamientos demostraron no presentan diferencias significativas. El motivo de dicho resultado fue determinado debido a que el “p” es de 0,3373 un valor inferior al 7,90 denominado valor significativo entre suma de rango.

Tabla 18: Análisis de varianza (ANOVA) para hierro

<i>Plantago Rígida</i>	<i>Lachemilla Orbiculata</i>	<i>Calamagrostis Intermedia</i>	Testigo	T ²	p
2,00	2,50	2,00	3,50	1,29	0,3373

Minima diferencia significativa entre suma de rango= 7,980

Realizado por: Los autores, 2025

No obstante, para demostrar lo descrito en la Tabla 19, se ejecutó la prueba de Friedman ya que los datos no cumplían con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Aunque el testigo tiene una mayor media de rangos, la prueba Friedman indica que estas diferencias no son lo suficiente relevantes para afirmar que alguno de los tratamientos sea más efectivo en la remoción de hierro.

Tabla 19: Prueba de Friedman para hierro

Tratamiento	Suma (Ranks)	Media (Ranks)	n	
<i>Plantago Rígida</i>	8,00	2,00	4	A
<i>Calamagrostis Intermedia</i>	8,00	2,00	4	A
<i>Lachemilla Orbiculata</i>	10,00	2,50	4	A
Testigo	14,00	3,50	4	A

Medias con una letra común no son significativamente diferente ($p > 0,050$)

Realizado por: Los autores, 2025

Los resultados indican que las tres especies evaluadas lograron remover hierro del agua contaminada, pero *Plantago rígida* y *Calamagrostis intermedia* fueron más eficiente, ya que redujeron concentraciones similares y en mayor porción que *Lachemilla orbiculata*, cuya remoción fue menor. La eficiencia de *Plantago rígida* en la eliminación del hierro del agua puede atribuirse a extenso sistema radicular, también por producir exudados radiculares que posee ácidos orgánicos que ayudan

a movilizar el hierro y lo hacen más asimilable para su absorción. Estos factores en conjunto no solo permiten que la especie prospere en ambiente contaminados, si no también favorecen activamente la fitorremediación de este metal en sistema acuáticos, mejorando la calidad de agua (Aioub et al., 2019, pp.2-5).

Conclusiones

La calidad de agua de acuerdo con la norma TULSMA, INEN y OMS indica que para el río (M1) los parámetros color, dureza total, arsénico, cromo, mercurio están fuera del límite permisible que conlleva a una posible contaminación y lo hace no apto para uso. En el caso de los bofedales (M2), los niveles de turbidez, color, arsénico, cromo y mercurio también exceden los límites permitidos, volviéndolo inapropiado tanto para el riego como para el ecosistema. Estos hallazgos sugieren que las actividades humanas y procesos geológicos de los volcanes del lugar están impactando negativamente en los páramos

La especie *Plantago rígida* muestra ser más eficiente en remoción de metales pesados puesto que tiene una mayor capacidad de absorción para los metales cromo y mercurio, debido a su estructura radicular y a la extensión de sus raíces permitiendo tener una excelente capacidad de absorción. También la *Lachemilla orbiculata* es eficiente en eliminación de cromo, pero tiene menor capacidad de absorción y acumulación ya que tiene menor adaptación fisiológica y resistencia. Y finalmente *Calamagrostis intermedia* es eficiente en remoción de mercurio, pero tiene menor capacidad de absorción y acumulación ya sea por su menor tolerancia a contaminantes, por su desarrollo radicular y una menor superficie de contacto con el agua.

Referencias

1. AIOUB, Ahmed; et al. "Reducción de la contaminación del suelo por residuos de cipermetrina mediante fitorremediación con *Plantago* mayor y algunos surfactantes". *Environmental Sciences Europe* [en línea], 2019, vol. 26(31), págs. 1-12. [Consulta: 23 octubre 2024]. ISSN 2190-4715. Disponible en: <https://enveurope.springeropen.com/articles/10.1186/s12302-019-0210-4>
2. AIYESANMIA, Ademola; et al. "Evaluación de Contaminación por metales pesados de Suelos y Verdura de Tierras de cultivo en Seleccionado llanuras de inundación en Akure y alrededores Nigeria". *International Journal of Plant & Soil Scienc* [en línea], 2020, (Nigeria)

-
- vol. 32 (8), págs. 76-86. [Consulta: 4 septiembre 2024]. ISSN 2320-7035. Disponible en: <https://journalijpss.com/index.php/IJPSS/article/view/1147/2296>
3. ARENAS CHÁVEZ, Fiorela Beatriz & ORTIZ ROMERO, Derly David. Métodos de fitorremediación en aguas residuales municipales y domésticas. [En línea]. (Trabajo de titulación) Universidad Católica de Santa María, Ciencias Farmacéutica, Bioquímicas y Biotecnológica. Arequipa- Perú. 2024. págs. 10-20 [consulta: 2024-10-15]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12920/14593>
 4. ARTEAGA, William; et al. “Diversidad, abundancia y conservación de aves en turberas de Páramos de los Andes del Norte de Ecuador”. Revista Ecuatoriana de Ornitología [en línea], 2025, págs. 88-89 (Ecuador) [Consulta: 2 noviembre 2024]. ISSN 2697-3685. Disponible en: <https://revistas.usfq.edu.ec/index.php/reo/article/view/3634>
 5. AVELLANEDA, Libeth; et al. “Efectos del cultivo de papa y la ganadería sobre grupos funcionales de microorganismos en suelos del páramo altoandino neotropical”. Brasileira de Ciencia do Solo. [en línea], (Brasil) vol. 44, no5, págs. 2-4 [consulta: 4 abril 2025].
 6. ISSN 1806-9657. 2020. Disponible en: <https://www.rbcjournal.org/article/potato-cultivation-and-livestock-effects-on-microorganism-functional-groups-in-soils-from-the-neotropical-high-andean-paramo/>
 7. BOANARES; et al. Immunocytochemical evaluation of aquaporins and cell wall components and their influence on foliar water uptake in andean melastomataceae. Plant Biology, 26(6), 1098-1106. Dialnet [en línea], 2024, [consulta: 3 abril 2025]. Disponible: <https://doi.org/10.1111/plb.13700>
 8. CARRASCO, Carlos; et al. “Macroinvertebrados acuáticos en arroyos asociados con bofedales altoandinos, Ayacucho Perú. Revista de Biología Tropical [en línea], 2020, (Perú) vol. 68 (2), págs. 116-131. [Consulta: 4 diciembre 2024]. ISSN 0034-7744, Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-77442020000600116
 9. CARRILLO, Galo; et al. “The breathing of the Andean highlands: Net ecosystem exchange and evapotranspiration over the páramo of southern Ecuador”. Agricultural and Forest Meteorology [en línea], 2019, (Ecuador) vol. 265, págs. 30-47. [Consulta: 4 septiembre 2024]. ISSN 0168-1923. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168192318303526>
-

10. CORREA, Alicia; et al. “Un esfuerzo de investigación concertado para avanzar en la comprensión hidrológica de los páramos tropicales”. *Hydrological Processes* [en línea], 2019, (Colombia) vol. 34 (24), págs. 4609-4627. [Consulta: 23 octubre 2024]. ISSN 1099-1085. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1002/hyp.13904>
11. DELGADILLO, Angélica; et al. “Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación”, *Tropical and Subtropical Agroecosystems* [en línea], 2011, (México) vol. 14 (2), págs. 597-612. [Consulta: 2 octubre 2024]. ISSN 1870-0462. Disponible en: <https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/2972/>
12. DÍAZ, Sarai & GONZÁLEZ, Javier. “La importancia de la temperatura del agua en las redes de abastecimiento”. *Ingeniería del Agua* [en línea], 2022, (España) vol. 26 (2), págs. 76-80 [Consulta: 4 enero 2025]. ISSN 1886-4996. Disponible en: <https://polipapers.upv.es/index.php/IA/article/view/17366>
13. EMUROTU, Je & HABIB, Lo. “Evaluación de la calidad del agua del río Obuburu, Okene, estado de Kogi, Nigeria”, *AJOL*. [en línea], 2019, vol. 23 (11), págs. 2-14 [consulta: 15 enero 2025]. ISSN 1119-8362 Disponible en: <https://www.ajol.info/index.php/jasem/article/view/192491>
14. HAGEMANS, Kimberley; et al. “Las actividades antropogénicas en el páramo desencadenan cambios ecológicos en los lagos andinos tropicales”. *Cambridge University Press* [en línea], 2023, (Ecuador) vol. 114 (4), págs.3-6. [Consulta: 20 diciembre 2024]. Disponible en: <https://www.cambridge.org/core/journals/quaternary-research/article/anthropogenic-activities-in-the-paramo-trigger-ecological-shifts-in-tropical-andean-lakes/18412CC0718CEDCEF721EFECC0089D83>
15. MORAL, Francisco & YANES, José. “Análisis preliminar de los factores condicionantes de la temperatura de los manantiales kársticos de Andalucía”. *GEOGACETA*. [en línea], 2021, (España), vol. 70 (2), págs. 39-42. [Consulta: 4 enero 2024]. ISSN 2173-6545. Disponible en: <https://recyt.fecyt.es/index.php/geogaceta/article/view/102295>
16. NTE INEN 1105:1983. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS. Coliformes fecales
17. NTE INEN 1108. AGUA POTABLE. Requisito
18. NTE INEN 2169:2013 AGUAS: Calidad del agua, muestreo, manejo y conservación de muestras.
19. NTE INEN 2176:2013. PARA LA CALIDAD DE AGUA. técnica de muestreo

20. NTE INEN, 2014. NORMA TECNICA ECUATORIANA. Agua Potable. Requisitos.
21. OMS. La dureza del agua: efectos, directrices de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y regulaciones en diferentes países. Biblioteca del congreso nacional Chile/BCN [en línea], 2024, (Chile) (1), págs. 2-6. [Consulta: 30 octubre 2024]. ISSN 2306-6253. Disponible en: https://obtienearchivo.bcn.cl/obtienearchivo?id=repositorio/10221/36257/1/Informe_Aguas_Duras__F_.pdf
22. ORTEGA RAMIREZ, Angie & GARCIA ROMERO, Daniela “Evaluación de riesgos e impacto ambiental del uso de mercurio para la minería de oro en el área del Páramo de Santurbán, Colombia”. International Journal of Sustainable Energy and Environmental [en línea], 2024, (Colombia) vol. 13 (1), págs. 597-612. [Consulta: 30 octubre 2024]. ISSN 2306-6253. Disponible en: <https://archive.conscientiabeam.com/index.php/13/article/view/3697/8021>
23. ROJAS DÍAZ, María Ysabel. Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (chrysopogon zizanioides) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo, distrito chota (Trabajo de titulación). Universidad César Vallejo. Ingeniería. Chiclayo-Perú. 2017. pág. 38. [consulta: 2024-18-01] Disponible en: <https://revistas.uss.edu.pe/index.php/tzh/article/view/792>
24. SALAHDELDEEN, Enbaia; et al. “Desintoxicación, captación activa y acumulación intracelular de especies de cromo por una bacteria oxidante de metano”. Applied and Environmental Microbiology [en línea], 2021 vol. 87 (2), págs. 1-13. [Consulta: 4 abril 2025]. ISSN 1098-5336. Disponible en: <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.00947-20>
25. SPENCER, Roth; et al. “Los aportes de nutrientes estimulan la metilación del mercurio por los sintróficos en una turbera subártica”. Frontiers in Microbiology [en línea], 2021, (Estados Unidos) vol. 12, págs. 741523 [Consulta: 23 enero 2025]. ISSN 741-523. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/Spencer>
26. TULSMA. Anexo 1 del libro del texto unificado de legislación secundaria del ministerio del ambiente: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua. Parte. Criterio de calidad de agua para uso riego.
27. VELÁSQUEZ BRAVO, Elizabeth. La biodiversidad en el Ecuador [en línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Ciencias Sociales, Gestión para el desarrollo sostenible. Quito- Ecuador. 2014. Págs. 13-23. [2025/02/4]. Disponible en:

Eficiencia de tres especies altoandinas en fitorremediación de aguas contaminadas en la comunidad Guaraguala,
Cebadas, Chimborazo

<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/6788/1/La%20Biodiversidad.pdf>

28. VELÁSQUEZ, Jefferson & COBEÑA, Hugo “Fitorremediación como alternativa en remoción de metales pesados del suelo: Una revisión teórica”. [en línea], 2022 (Panamá), vol. 9 (2), pág. 1-14 [consulta: 4 abril 2024]. ISSN 2313-7819 Disponible en:
<http://portal.amelica.org/ameli/journal/215/2153488002/>
29. ZAMBRANO, Jessica; et al. “Contaminantes biológicos presentes en fuentes de agua del centro-sur de la provincia de Manabí, Ecuador” en línea], 2022, (Mexico) vol. 8 (2), págs. 2-10 [Consulta: 25 diciembre 2024]. ISSN 2448-4997. Disponible en:
<http://scielo.senescyt.gob.ec/pdf/siembra/v9n2/2477-8850-siembra-09-02-04011.pdf>

©2026 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|