

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos
Naturales**



TESIS

Capacidad fitorremediadora de *hydrocotyle ranunculoides l. f.* en aguas
contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua -
Aymaraes - Apurímac, 2022.

Presentado por:

Bach: RAQUELINA VERA DAMIÁN

Para optar el título profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Abancay - Apurímac - Perú

2023

Tesis

Capacidad fitorremediadora de *hydrocotyle ranunculoides l. f.* en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua - Aymaraes - Apurímac, 2022.

Línea de investigación:

Calidad ambiental

Asesor:

Dra.: Carolina Soto Carrión



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES

FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y RECURSOS
NATURALES**

**CAPACIDAD FITORREMIADORA DE *HYDROCOTYLE RANUNCULOIDES L. F.*
EN AGUAS CONTAMINADAS POR METALES PESADOS DE LA QUEBRADA
PACCHANTAY, TAPAIRIHUA - AYMARAES - APURÍMAC, 2022.**

Presentado por la Bach. **Raquelina VERA DAMIÁN**, para optar el título profesional
de: **INGENIERO AMBIENTAL**

Sustentado y aprobado el 16 de junio del 2023, ante el jurado:

Presidente : Mg. Vanesa Salas Peña

Primer miembro : Mg. Kristhel Jaylane Calderón Aedo

Segundo miembro : Mg. Elena Elvira González Mamani

Asesor : Dr. Carolina Soto Carrión

Capacidad fitorremediadora de hydrocotyle ranunculoides l. f. en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua - Aymaraes - Apurímac, 2022.

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%

INDICE DE SIMILITUD

19%

FUENTES DE INTERNET

5%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	2%
2	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	transparencia.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.unsaac.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	reciamuc.com Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Universidad Tecnológica de los Andes Trabajo del estudiante	1%

apirepositorio.unh.edu.pe

DEDICATORIA

A Dios por ser luz en mi camino, brindarme la oportunidad de desarrollarme profesionalmente, por darme la fortaleza para no decaer en momentos difíciles y por haber puesto en mi sendero a todas aquellas personas que ha sido soporte en esta etapa de mi vida.

A mi madre Elena Damián Cáceres, por darme la vida, por su sacrificio. Gracias madre por inculcarme valores, principios, ser perseverante y superar momentos difíciles; todo lo que soy es por ti.

A mi padre Máximo Nicolás Vera Cahuana por su comprensión, constancia, esfuerzo, perseverancia y apoyo incondicional mantenido a través del tiempo. Quien me ha enseñado a ser responsable, valorar lo que tengo y ser valiente.

A mis hermanos Yefferson y Alexis que son mi inspiración y motivo para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

Aprecio la guía divina que me acompañó durante mi desarrollo profesional, brindándome la fortaleza de voluntad necesaria para persistir en los momentos de fragilidad y alcanzar una de mis metas.

Expreso mi gratitud eterna hacia mis padres, Elena y Nicolás, por respaldarme, por depositar su confianza en mí, por su inagotable paciencia, por sus palabras de ánimo en situaciones complicadas.

A la Universidad Tecnológica de los Andes en especial a la Facultad de Ingeniería – Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales por el aporte cognoscitivo durante el tiempo de permanencia en la casa de estudios.

A la Mg. Elena Elvira Gonzales Mamani, Mg. Kristhel Jaylane Calderón Aedo, Dr. Melquiades Barragán Condori, Dr. Carlos Moreano Huayhua, Mg. Anjhela Rosa Callo Mamani y Dra. Sonia María Loayza Chacara. Por su tiempo, orientaciones y conocimientos compartidos. A mi asesora la Doctora Carolina Soto Carrión, un eterno agradecimiento, por haber contribuido en la mejora de mi investigación.

En fin, quiero agradecer a todos mis compañeros de estudios y familia que siempre me han apoyado y han estado a mi lado, y a todas aquellas personas que de una u otra manera colaboraron en la ejecución y elaboración del presente trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PORTADA	i
POSPORTADA	ii
PÁGINA DE JURADOS.....	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE TABLAS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	x
ACRÓNIMOS.....	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	xiv
CAPÍTULO I	15
PLAN DE INVESTIGACIÓN	15
1.1 Descripción de la realidad problemática.....	15
1.2 Identificación y Formulación del problema	18
1.2.1 Problema General.....	18
1.2.2 Problemas Específicos.....	18
1.3 Justificación de la investigación.	19
1.4 Objetivos de la investigación.....	21
1.4.1 Objetivo general.....	21
1.4.2 Objetivos específicos	21
1.5 Delimitación de la investigación.....	22
1.5.1 Espacial	22
1.5.2 Temporal.....	22
1.5.3 Social	22
1.5.4 Conceptual.....	22
1.6 Viabilidad de la investigación.....	23
1.7 Limitaciones de la investigación.....	23

CAPÍTULO II.....	25
MARCO TEÓRICO	25
2.1 Antecedentes de investigación	25
2.1.1 A nivel internacional.....	25
2.1.2 A nivel nacional	27
2.1.3 A nivel regional y local.....	31
2.2 Bases teóricas	31
2.2.1 El agua.....	31
2.2.2 Contaminación del agua por metales pesados.....	34
2.2.3 Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.....	34
2.2.4 Fitorremediación	36
2.2.5 Metales pesados.....	38
2.2.6 Capacidad Fitorremediadora de especies vegetales.....	39
2.2.7 Especie vegetal <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> (Mateccllo).....	40
2.2.8 Espectroscopía de emisión atómica ICP-OES.....	43
2.2.9 La hidroponía.....	45
2.3 Marco conceptual.....	45
CAPÍTULO III.....	48
METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.1 Hipótesis.....	48
3.1.1 Hipótesis general.....	48
3.1.2 Hipótesis específicas.....	48
3.2 Método.....	49
3.3 Tipo de investigación.....	49
3.4 Nivel o alcance de investigación	49
3.5 Diseño de la investigación.....	49
3.6 Operacionalización de variables	51
3.7 Población, muestra y muestreo.....	52
3.7.1 Población	52
3.7.2 Muestra.....	53
3.7.3 Muestreo	53
3.8 Técnicas e instrumentos.....	54

3.8.1 Técnicas.....	54
3.8.2 Instrumentos	63
3.9 Consideraciones éticas.....	65
3.10 Procesamiento estadístico.....	65
CAPÍTULO IV	66
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	66
4.11 Resultados.	66
4.12 Discusión de resultados.	85
4.13 Prueba de hipótesis.....	86
CONCLUSIONES.....	93
RECOMENDACIONES.....	94
ASPECTOS ADMINISTRATIVOS	95
Recursos.....	95
Recursos humanos	95
Recursos tecnológicos.....	95
Cronograma de actividades.	96
Presupuesto y financiamiento.....	98
Presupuesto.....	98
Financiamiento.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
WEB GRAFÍA.	109
ANEXOS.....	110
Matriz de consistencia.	110
Instrumento de recolección de información.	112
Evidencias.	129

ÍNDICE DE TABLAS.

<i>Tabla 1 ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 2 Capacidad fitorremediadora de especies acuáticas.</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3 Concentración de Cobre en agua en todos los grupos.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabla 4 Concentración de Manganeso en agua en todos los grupos.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabla 5 Concentración de Aluminio en agua en todos los grupos.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 6 pH promedio antes y después del tratamiento.</i>	<i>70</i>
<i>Tabla 7 Conductividad Eléctrica antes y después del tratamiento.</i>	<i>71</i>
<i>Tabla 8 Temperatura antes y después del tratamiento.</i>	<i>72</i>
<i>Tabla 9 Concentración de cobre en hoja en todos los grupos.....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 10 Concentración de cobre en raíz en todos los grupos.</i>	<i>74</i>
<i>Tabla 11 Concentración de cobre en tallo en todos los grupos.....</i>	<i>75</i>
<i>Tabla 12 Concentración de manganeso en hoja en todos los grupos.</i>	<i>76</i>
<i>Tabla 13 Concentración de manganeso en raíz en todos los grupos.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 14 Concentración de manganeso en tallo en todos los grupos.</i>	<i>78</i>
<i>Tabla 15 Concentración de aluminio en hoja en todos los grupos.</i>	<i>79</i>
<i>Tabla 16 Concentración de aluminio en raíz en todos los grupos.....</i>	<i>80</i>
<i>Tabla 17 Concentración de aluminio en tallo en todos los grupos.</i>	<i>81</i>
<i>Tabla 18 Comparación con el ECA para agua Cat. 3 (antes y después).....</i>	<i>82</i>
<i>Tabla 19 Porcentajes de capacidad fitorremediadora de especie.</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 20 Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples de Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua.....</i>	<i>88</i>
<i>Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en todos los grupos (inicial y final en los demás grupos).</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 22 Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en los parámetros físicos antes y después en el agua.</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 23 Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en todos los grupos (antes y después).</i>	<i>91</i>

ÍNDICE DE FIGURAS.

<i>Figura 1 Tipos de fitorremediación.....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 2 Ubicación - quebrada Pacchantay.</i>	<i>52</i>
<i>Figura 3 Ubicación -punto de muestreo.</i>	<i>53</i>
<i>Figura 4 Procedimiento general para la ejecución del proyecto.</i>	<i>55</i>
<i>Figura 5 Flujograma de la concentración inicial y final de metales pesados en agua.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 6 Flujograma de determinación de parámetros fisicoquímicos antes y despues en el agua.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura 7 Flujograma de concentración de metales pesados en raices y parte aérea.</i>	<i>62</i>
<i>Figura 8 Concentración de Cobre en agua en todos los grupos.</i>	<i>66</i>
<i>Figura 9 Concentración de Manganeso en agua en todos los grupos.....</i>	<i>67</i>
<i>Figura 10 Concentración de Aluminio en agua en todos los grupos.....</i>	<i>68</i>
<i>Figura 11 pH promedio antes y después del tratamiento.</i>	<i>69</i>
<i>Figura 12 Conductividad Eléctrica antes y después del tratamiento.</i>	<i>70</i>
<i>Figura 13 Temperatura antes y después del tratamiento.</i>	<i>71</i>
<i>Figura 14 Concentración de cobre en hoja en todos los grupos.</i>	<i>72</i>
<i>Figura 15 Concentración de cobre en raíz en todos los grupos.</i>	<i>73</i>
<i>Figura 16 Concentración de cobre en tallo en todos los grupos.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 17 Concentración de manganeso en hoja en todos los grupos.</i>	<i>75</i>
<i>Figura 18 Concentración de manganeso en raíz en todos los grupos.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 19 Concentración de manganeso en tallo en todos los grupos.</i>	<i>77</i>
<i>Figura 20 Concentración de aluminio en hoja en todos los grupos.</i>	<i>78</i>
<i>Figura 21 Concentración de aluminio en raíz en todos los grupos.....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 22 Concentración de aluminio en tallo en todos los grupos.</i>	<i>80</i>
<i>Figura 23 Comparación con el ECA para agua Cat. 3 (antes y después).</i>	<i>83</i>
<i>Figura 24 Comparación resultados (antes y después) de Hydrocotyle ranunculoides L. f. en la raíz y parte aérea (hojas y tallos).</i>	<i>84</i>
<i>Figura 25 Porcentajes de capacidad fitorremediadora de especie.....</i>	<i>84</i>

ACRÓNIMOS.

AAA: Autoridad Administrativa del Agua.

ANA: Autoridad Nacional del Agua.

CE: Conductividad Eléctrica.

D.S: Decreto Supremo.

ECA: Estándares de Calidad Ambiental

MINAM: Ministerio del Ambiente.

MINSA: Ministerio de Salud.

OEFA: Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

OMS: Organización Mundial de la Salud.

pH: Potencial de hidrogenión

SDGCRH: Subdirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos.

UTEA: Universidad Tecnológica de los Andes.

UTM: Universal Transversal Mercator.

RESUMEN

La investigación tuvo como objetivo determinar la capacidad fitorremediadora de la especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* en aguas contaminadas por metales pesados (Cu, Mn y Al) de la quebrada Pacchantay. Se realizó un muestreo puntual de agua contaminada de la quebrada en un recipiente de 20L. La especie fue recolectada en Bancapata y luego cultivada en un sistema hidropónico con 50L de agua purificada. Durante un mes, las plantas se alimentaron semanalmente con soluciones A y B. Luego, se añadieron 5L de agua de río contaminada con metales pesados (Cu, Mn y Al) a tres grupos, mientras que al grupo control se le dio solo agua purificada. Posteriormente, se agregaron 20 unidades de la especie *Hydrocotyle Ranunculoides L.f.* a cada una de las cubetas, y se llevó a cabo la fitorremediación durante un mes. En este periodo, se midieron los parámetros fisicoquímicos (conductividad, pH, temperatura) y la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en agua y plantas fueron analizados antes y después del proceso de fitorremediación por el método espectroscopía de Absorción Atómica. Los resultados muestran que al analizar las comparaciones múltiples de cobre antes y después del tratamiento en agua, se observa diferencias significativas. Después del tratamiento, los metales aumentaron significativamente tanto en hoja, raíz y tallo. Se concluye que *Hydrocotyle ranunculoides L. f* tiene capacidad fitorremediadora para los metales Cu (98.97%) > Mn (73.01%) > Al (59.40%) y disminución de acidez en el agua.

Palabras claves: Fitorremediación, *Hydrocotyle Ranunculoides L. f.* y metales pesados.

ABSTRACT.

The objective of the research was to determine the phytoremediation capacity of the species *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* in waters contaminated by heavy metals (Cu, Mn and Al) from the Pacchantay stream. Spot sampling of contaminated water from the stream was carried out in a 20-liter container. The species was collected in Bancapata and then grown in a hydroponic system with 50L of purified water. For a month, the plants were fed weekly with solutions A and B. Then, three groups were added 5 liters of river water contaminated with heavy metals (Cu, Mn and Al), while the control group He was given only purified water. Subsequently, 20 units of the species *Hydrocotyle Ranunculoides L.f.* were added. to each of the buckets, and phytoremediation was carried out for one month. In this period, the physicochemical parameters (conductivity, pH, temperature) and the concentration of heavy metals (Cu, Mn and Al) in water and plants were analyzed before and after the phytoremediation process using the Atomic Absorption spectroscopy method. The results show that when analyzing multiple comparisons of copper before and after treatment in water, significant differences are observed. After treatment, metals increased significantly in both leaf, root and stem. It is concluded that *Hydrocotyle ranunculoides L. f* has phytoremediation capacity for the metals Cu (98.97%) > Mn (73.01%) > Al (59.40%) and a decrease in acidity in the water.

Keywords: Phytoremediation, *Hydrocotyle Ranunculoides L. f.* and heavy metals.

INTRODUCCIÓN.

La contaminación del agua con metales pesados es un problema grave con repercusiones para el medio ambiente y la salud pública debido a sustancias perjudiciales. La fitorremediación se presenta como una solución eficaz, utilizando plantas para eliminar y neutralizar estos elementos nocivos.

El primer capítulo presenta el enfoque de la investigación, detallando la descripción y formulación del problema, tanto en su aspecto general como en sus aspectos específicos. También abarca la delimitación, la justificación, los objetivos y las limitaciones de la investigación.

El segundo capítulo surge de la necesidad de respaldo para la investigación y aborda los antecedentes a nivel internacional, nacional y regional, así como las fundamentaciones teóricas y conceptuales en relación con las variables, dimensiones e indicadores.

En el tercer capítulo, se elaboró la metodología de la investigación, incluyendo la formulación de la hipótesis tanto general como específica, la definición y medición de las variables, la determinación de la población y muestra, la selección de las técnicas e instrumentos para la recopilación de datos y el enfoque para analizarlos.

El cuarto capítulo presenta los resultados de la investigación, incluyendo la confirmación estadística de las hipótesis y su discusión en relación con el trabajo realizado, en comparación con las hipótesis tanto generales como específicas. También se ofrecen conclusiones y recomendaciones que servirán como punto de partida para futuras investigaciones a nivel local, regional y nacional.

CAPÍTULO I

PLAN DE INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad problemática.

La contaminación del agua constituye un problema a nivel global debido a diversas fuentes como fundiciones, industrias químicas y textiles, aguas residuales urbanas y vertidos mineros que liberan sustancias no orgánicas tóxicas al entorno. Estos metales pesados son duraderos en la biodiversidad y tienen una tendencia a acumularse en sistemas biológicos. Estos no pueden ser descompuestos naturalmente. Diversas especies de plantas acuáticas flotantes pueden ser empleadas en métodos de fitorremediación de agua, suelo y aire, ofreciendo numerosas ventajas en la mitigación al reducir los niveles de concentración de contaminantes(Mishra & Tripathi, 2008).

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017); De acuerdo con el informe titulado "¿La herencia de un mundo sostenible?: Atlas sobre Salud Infantil y Medio Ambiente", se destaca que la contaminación del agua por metales pesados y la falta de salubridad en el agua, que terminan ingresando en la cadena alimentaria, resultan en la pérdida de vidas de más de una cuarta parte de niños menores de 5 años. La Dra. Margaret Chan, directora general de la OMS, señala a través de un comunicado de prensa que la contaminación ambiental afecta de manera significativa a los niños, ya que son más susceptibles a enfermedades que pueden impactar en el desarrollo del cerebro, el sistema endocrino y la función cognitiva, debido a que su sistema inmunológico y sus órganos están en proceso de desarrollo.

Según el Ministerio de salud (MINSA, 2020), el Perú también sufre esta problemática como es el caso de Cerro de Pasco, los contaminantes presentes en el agua y en el aire superan los ECAS; de acuerdo a los reportes del Ministerio de Salud son en total 34 familias, en las cuales 70 niños tienen metales pesados en su sangre.

Según (Varela et al., 2020) manifiestan; la minería desempeña un papel significativo en la economía del país, pero es importante llevarla a cabo de manera responsable. Sin embargo, la contaminación del agua generada por la actividad minera ha causado graves daños y efectos negativos en el medio ambiente a lo largo del tiempo, generando un descontrol preocupante. Las aguas contaminadas que fluyen a lo largo de los cursos de agua representan una amenaza directa.

De acuerdo al monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del Río Pachachaca (ANA, 2017); en el Informe Técnico N° 016-2017-ANA-AAA.PA-SDGCRH; los resultados de análisis del agua de la quebrada Pacchantay que pertenece hidrográficamente a la cuenca del Río Pachachaca da a conocer lo siguiente: Oxígeno disuelto (4.56 mg/L), pH (3.54), Aluminio (12.17 mg/L), Cobre (21.63 mg/L) y Manganeseo (0.679 mg/L) que superan los ECAS para agua- Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.

Así mismo en el monitoreo participativo de la Calidad del Agua de la Cuenca del Río Pachachaca (ANA, 2019) en el informe Técnico N° 063-2020-ANA-AAA.PA-AT; también se corrobora en los resultados de análisis del agua de la quebrada Pacchantay que es uno de los tributarios de la cuenca Pachacha: pH (3.35), Aluminio (16.1 mg/L), Cobre (33.13 mg/L) y Manganeseo (1.003 mg/L); teniendo mayor acidez y concentraciones

de metales pesados en el agua en comparación al Informe Técnico N° 016-2017-ANA-AAA.PA-SDGCRHi; también superando los ECAS para agua - Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales que se debe a las actividades de la minería artesanal, informal e ilegal en la parte alta de esta quebrada.

Debido a la concentración y variedad de contaminantes que presenta el cauce de la quebrada Pacchantay pueden afectar a la salud humana, la flora y fauna; ante esta problemática; se plantea la necesidad de investigar técnicas de fitorremediación con plantas acuáticas para minimizar los niveles de concentración de metales pesados (Zarazúa et al., 2013).

1.2 Identificación y Formulación del problema.

1.2.1 Problema General.

- ¿Cuál es la capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides L.f.* en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022?

1.2.2 Problemas Específicos.

- ¿Cuál es la concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua por el método espectroscopía de absorción atómica, del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022?
- ¿Cuáles son los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y temperatura) del agua antes y después de la fitorremediación con *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022?
- ¿Cuál es la concentración de metales pesados en la raíz y en la parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* al final del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022?

1.3 Justificación de la investigación.

La problemática de las aguas contaminadas por metales pesados es una preocupación debido a sus efectos perjudiciales para la salud humana y el ecosistema. La quebrada Pacchantay que pertenece hidrográficamente a la cuenca del Río Pachachaca está siendo contaminada por la minería artesanal, informal e ilegal. Esta contaminación se debe a la descarga de aguas ácidas provenientes de bocaminas, canchas de mineral y botaderos de desmonte. Según el informe técnico N° 063-2020-ANA-AAA.PA-AT del Monitoreo Participativo de la Calidad del Agua de la Cuenca del Río Pachachaca – 2019, se han detectado en el agua: pH (3.35) y concentraciones de metales pesados (Cu, Mn y Al) superiores a los ECAS para agua en la Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales como: Cobre (33.13), Manganeso (1.003) y Aluminio (16.1). La población del sector Masopampa depende del agua de la quebrada Pacchantay para llevar a cabo sus actividades económicas de agricultura y ganadería. Entendiendo que las aguas de la quebrada Pacchantay. Dado este contexto, es crucial destacar la importancia de la quebrada Pacchantay y la necesidad de encontrar una alternativa viable para abordar el problema de polución.

La fitorremediación se presenta como una alternativa prometedora y sostenible para la restauración de cuerpos de agua contaminados. Por lo tanto, es importante investigar y comprender la eficacia de la fitorremediación como una solución. El enfoque teórico de la fitorremediación se basa en los procesos de absorción y acumulación de contaminantes por parte de las plantas. La especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* ha demostrado ser un fitorremediador altamente eficiente en varios estudios ya que se caracteriza por un sistema radicular bien desarrollado que favorece la acción depuradora de las aguas, de fácil

propagación y adaptabilidad en aguas que presenten contaminación. Esta planta acuática posee la notable capacidad de absorber metales pesados como Cobre (Cu), Manganeso (Mn), Aluminio (Al), Mercurio (Hg), Arsénico (As), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Níquel (Ni), entre otros; por lo tanto, es una excelente opción para la depuración de aguas contaminadas. Sin embargo, es necesario profundizar y evaluar la eficiencia en diferentes contaminantes.

A pesar de los avances en la investigación sobre fitorremediación, existen vacíos en cuanto a la comprensión de la capacidad de diferentes plantas para remediar aguas contaminadas en diferentes contextos ambientales. Además, se requiere una mayor investigación para determinar los factores que influyen en la eficacia de la fitorremediación, como las condiciones del agua, la presencia de otros contaminantes y los efectos a largo plazo en el ecosistema acuático. Esta investigación busca llenar estos vacíos tomando como muestra las aguas de la quebrada Pacchantay y proporcionar a futuro información práctica para la implementación de la fitorremediación a nivel local y regional.

También busca contribuir al conocimiento existente al evaluar la capacidad de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. para remover metales pesados (Cu, Mn y Al) en aguas contaminadas. Al identificar las plantas más eficientes y comprender los procesos subyacentes, se podrá desarrollar estrategias de fitorremediación más efectivas y sostenibles. Además, se espera proporcionar información valiosa sobre la viabilidad y los desafíos asociados con la implementación de la fitorremediación en entornos contaminados.

La fitorremediación de aguas contaminadas presenta beneficios en su aplicación, los cuales son altamente prácticos, económicos y de gran relevancia social. Al utilizar plantas como agentes de descontaminación, se pueden reducir los costos asociados con métodos convencionales y minimizar los impactos ambientales adversos. Además, la implementación de la fitorremediación puede ayudar a restaurar cuerpos de agua, mejorando así la calidad del agua, la biodiversidad acuática y la salud de los sectores que dependen de este recurso.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Determinar la capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* en aguas contaminadas por metales pesados de la quebrada Pacchantay, Tapairihua - Aymaraes – Apurímac 2022.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar la concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua por el método espectroscopía de absorción atómica, del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.
- Determinar los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y temperatura) del agua antes y después de la fitorremediación con *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.

- Determinar la concentración de metales pesados en raíz y parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. al final del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua - Aymaraes – Apurímac 2022.

1.5 Delimitación de la investigación

1.5.1 Espacial

Se muestreo y se llevó a cabo los tratamientos experimentales a nivel de laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay que comprende al distrito de Tapairihua, Provincia de Aymaraes.

1.5.2 Temporal

El análisis fue llevado a cabo durante un lapso de dos meses, desde noviembre hasta diciembre del año 2022.

1.5.3 Social

La población del sector Masopampa se ve afectada por la contaminación de las aguas con metales pesados (Cu, Mn y Al) de la quebrada Pacchantay, las cuales son utilizadas por los pobladores para desarrollar sus actividades económicas, actividades que incluyen el cultivo de maíz, papa, haba, cebada, oca y olluco, así como la ganadería de animales vacunos, equinos y ovinos.

1.5.4 Conceptual

Se tomó en cuenta como definición de fitorremediación de masas de agua poluidas por metales pesados (Cu, Mn y Al).

Según (Delgadillo et al., 2011) menciona que la fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados es una tecnología sostenible que se apoya en el empleo de plantas para disminuir, ya sea en el lugar de origen o fuera de él, la cantidad o la amenaza de sustancias contaminantes, tanto orgánicas como inorgánicas, presentes en el agua. Esto ocurre gracias a procesos bioquímicos asociados con las plantas y sus sistemas de raíces, lo que conlleva a la reducción, mineralización, descomposición, liberación y estabilización de los metales pesados.

1.6 Viabilidad de la investigación.

Económica: Los costos de los análisis de laboratorio requeridos para el proyecto variaron en función del número de muestras que se analizaron para determinar la presencia de metales pesados tanto en las plantas acuáticas como en el agua.

Social: El propósito de este estudio es abordar los desafíos relacionados con la contaminación del agua por metales pesados (Cu, Mn y Al) y mejorar la calidad del agua en beneficio de la comunidad de Masopampa.

Técnica: El proyecto tiene como técnica la observación el cual consistió en observar atentamente el desarrollo de la especie acuática; técnica de fichaje por que se llenó datos de los parámetros (temperatura, conductividad, pH del agua) y la técnica de la experimentación por el cual se determinó la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en agua y especie.

1.7 Limitaciones de la investigación.

Los exámenes para cuantificar las concentraciones de metales pesados (Cu, Mn y Al) en las muestras de agua y en *Hydrocotyle ranunculoides L. f* fueron ejecutados en el

laboratorio Pacific Control SAC en Lima, dado que la Universidad Tecnológica de los Andes - UTEA carece del equipo de espectroscopía de absorción atómica requerida para estos análisis. No obstante, la etapa experimental del estudio se desarrolló en el laboratorio Pacific Control SAC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes de investigación

2.1.1 A nivel internacional

Demarco et al (2019). El estudio se centró en evaluar el potencial de fitorremediación de *Hydrocotyle ranunculoides L.f.*, una planta flotante que se encuentra en un ambiente contaminado en el sur de Brasil. Se analizaron nutrientes y metales pesados en las raíces y brotes de las plantas utilizando una técnica de digestión con ácido nítrico perclórico y cuantificación mediante ICP-OES. Los resultados revelaron que la planta tiene una notable capacidad para extraer fósforo, sodio y arsénico del agua y transportarlos a los brotes. También demostró potencial en la retención de varios elementos en las raíces. Se destaca su eficacia en la fitoextracción de potasio, calcio y fósforo, así como en la rizofiltración de hierro y aluminio. Se concluye que esta especie tiene un alto potencial para llevar a cabo la fitorremediación in situ en el arroyo Santa Bárbara y podría ser aplicada en un contexto más amplio.

Bokhari et al (2016). Se llevó a cabo un estudio titulado "Evaluación del potencial de fitorremediación de *Lemna Minor* para metales pesados" en Islamabad, Pakistán. En el ensayo, que se extendió a lo largo de 31 días, se utilizó la planta acuática *Lemna Minor* para eliminar metales pesados como cobre (Cu), plomo (Pb), cadmio (Cd) y níquel (Ni) de dos efluentes. Durante el proceso de fitorremediación, se evaluó semanalmente la concentración de estos metales pesados en el agua y en la planta acuática, calculando el factor de bioconcentración (FBC), la eficiencia de remoción y la absorción de metales por parte de la planta. Los resultados fueron altamente positivos, ya que se logró eliminar

eficazmente más del 80% de los metales, con la excepción del níquel, que alcanzó una eliminación máxima del 99%. La acumulación y absorción de plomo y cobre en la biomasa seca de la planta fueron notablemente superiores en comparación con otros metales. En resumen, *Lemna Minor* demostró un rendimiento sobresaliente en la eliminación de metales pesados y se destacó particularmente en la extracción de níquel, plomo y cobre.

Aurangzeb et al (2016). El estudio realizado en Haripur, Pakistán, se enfocó en evaluar la capacidad de dos plantas flotantes, *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, para absorber metales pesados de los efluentes de una fundición de acero. Para ello, se recolectaron muestras de los efluentes y de las plantas en su hábitat natural, seleccionando ejemplares jóvenes para el experimento. En el laboratorio, las plantas fueron meticulosamente lavadas y luego dispuestas en recipientes para el análisis en un espectrómetro. Los resultados demostraron que la especie *P. stratiotes* fue eficaz en la eliminación de algunos metales pesados, mostrando una fuerte afinidad por el Cu (66.5%) y el Pb (70.7%). Por otro lado, *E. crassipes* demostró un potencial considerable en la fitorremediación de ambientes acuáticos perturbados, con una eficiencia progresivamente mayor para Cd (82.8%), Cu (78.6%), As (74%), Al (73%) y Pb (73%). En resumen, se concluyó que estas especies flotantes poseen la capacidad de extraer metales pesados de los efluentes industriales.

Erum et al (2016). Se llevó a cabo una investigación en Islamabad, Pakistán, para examinar la capacidad de *Hydrocotyle Umbellata L.* en la acumulación de contaminantes procedentes de aguas residuales textiles. Se tomó una muestra de una planta textil en Faisalabad y se observó que los niveles de contaminación superaban los límites establecidos por las regulaciones. Después, se introdujo *Hydrocotyle Umbellata L.* durante

un período de 15 días y se evaluó su eficacia utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados indicaron una notable disminución en la concentración de contaminantes, abarcando parámetros como pH, TDS, CE, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻, CO₃⁻, HCO₃⁻, COD, BOD, Cu, Cr y Zn. En resumen, se concluye que *Hydrocotyle Umbellata L.* posee un elevado potencial para ser empleado en procesos de fitorremediación destinados a la eliminación de contaminantes metálicos en aguas residuales textiles contaminadas.

Zarazúa et al (2016). El estudio evaluó los niveles de metales pesados (Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb) en la planta acuática *Hydrocotyle ranunculoides* del curso superior del Río Lerma en México. Se examinaron los factores de bioacumulación en dos partes de la planta (aérea y sumergida) utilizando ICP-OES después del muestreo y análisis de agua y de la planta. Los resultados mostraron que Zn y Fe tuvieron los mayores factores de bioacumulación, seguidos por Cu, Mn, Cr y Pb. Además, los metales, excepto Zn, presentaron mayores factores de bioacumulación en la parte sumergida de la planta, lo que indica una menor movilidad de Mn, Cr y Pb. En resumen, se concluye que *Hydrocotyle ranunculoides* tiene potencial para remediar aguas contaminadas por metales pesados.

2.1.2 A nivel nacional

Rosales (2019). El estudio buscaba determinar la capacidad de la planta acuática *Hydrocotyle Vulgaris* para absorber los metales pesados plomo, cobre, zinc, hierro y cromo en la zona de Tomayquichua, Huánuco, en el año 2019. Para esto, se acondicionaron las plantas en un medio acuoso con nutrientes durante 12 semanas en cubetas de vidrio. Se añadió agua destilada sin metales pesados y solución nutritiva. Luego, se realizaron pruebas para medir la concentración de metales a lo largo del crecimiento. Se empleó un bulbo de pecera para evitar reacciones químicas dañinas. Al cabo de 12 semanas, se

analizaron las muestras con un dispositivo de absorción atómica Spektra AA. Los resultados fueron positivos: el cobre, con una concentración inicial de 5.0 ppm, fue absorbido en un 95%, quedando solo un 5%. Durante las 12 semanas, se evaluó la capacidad de *Hidrocotyle Vulgaris* para fitorremediar el cobre y el cromo. La planta demostró una alta eficiencia en la absorción de cobre, alcanzando un 95%. Sin embargo, su capacidad para absorber cromo fue menor, con un rendimiento del 25.45%. Se concluye que *Hidrocotyle Vulgaris* es mucho más efectiva en la absorción de cobre que en la de cromo.

Barreto y Paredes (2018). En el estudio llevado a cabo en Tingo María - Huánuco, titulado "Determinación del potencial de absorción de cobre en solución acuosa de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*", el objetivo fue comparar la capacidad de absorción de cobre en solución acuosa entre dos especies de plantas acuáticas, *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*. Se realizó un experimento en cubas de vidrio con soluciones de cobre a concentraciones variadas de 10, 30, 60 y 90 mg/L. Se examinaron los cambios físicos en las plantas, la tasa de crecimiento relativo mediante la ecuación de Hunt y la cantidad de cobre absorbido, determinada a través de espectrofotometría de absorción atómica, en un sistema de tipo lote durante 20 días. Los resultados señalaron que la tasa de crecimiento relativo de ambas especies se vio afectada después de una concentración de 10 mg/L de cobre. Además, se observó una alta capacidad de absorción de cobre en ambas especies, alcanzando un 98.87% para *Pistia stratiotes* y un 98.34% para *Eichhornia crassipes*.

Puelles y Núñez (2017). Realizaron una investigación titulada “Capacidad de acumulación del cobre por macrófitas acuáticas en el río Lacramarca, Chimbote, Perú”. El propósito fue evaluar la capacidad de acumulación de cobre por parte de cuatro especies de macrófitas acuáticas: *S. californicus*, *Typha sp*, *Eichhornia crassipes* y *Polygonum sp*, recolectadas del río Lacramarca y el estuario en Chimbote, Perú. El procedimiento involucró aclimatar las macrófitas en la Universidad Nacional de Santa y seleccionar 1,5 kg de cada especie. Posteriormente, se expusieron las macrófitas a agua contaminada con cobre durante 48 horas en acuarios, y luego se determinó la concentración, absorción y acumulación de cobre utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica. Los resultados indicaron que la especie *S. californicus* presentó la menor acumulación de cobre, con 43,0197 mg (86,04%). Por otro lado, *E. crassipes*, *Typha sp* y *Polygonum sp* mostraron una mayor acumulación de cobre en su biomasa total, con 45,2797 mg (90,56%), 44,5387 mg (89,08%) y 43,3153 mg (86,63%), respectivamente. En resumen, *E. crassipes* (90,56%) y *Typha sp* (89,08%) demostraron una capacidad superior para remover el cobre del agua.

Valencia (2017). El estudio llevado a cabo en Trujillo, titulado “Efecto del pH y tiempo en fitorremediación de Cobre con *Lemna minor* del agua del río Suro, Santiago de Chuco”, tuvo como objetivo investigar cómo el pH y la duración del tratamiento afectan el proceso de fitorremediación de cobre utilizando *Lemna minor* en el agua del río Suro, ubicado en Santiago de Chuco. Se empleó un diseño experimental con dos factores y se realizaron pruebas estadísticas como la prueba de Wilk-Shapiro, ANOVA y la prueba de Tukey. Para analizar la concentración de cobre en el agua, se utilizó el método de espectrometría de absorción atómica por llama y plasma. Los resultados del experimento

indicaron que *Lemna minor* logró eliminar el cobre del agua del río Suro en un 97,4% y 99,8% a un pH de 6 después de 10 y 15 días de tratamiento, respectivamente. La concentración de cobre disminuyó de 7,376 ppm a 0,189 ppm y 0,011 ppm, respectivamente. Estos valores se mantuvieron por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECAS) establecidos por el D.S. N° 004-2017-MINAM para el agua de categoría 3, que se utiliza en la irrigación de cultivos y consumo de animales.

Orosco et al (2015). Se llevó a cabo un estudio con el título "Evaluación de la eliminación de cobre y zinc por la planta nativa *Scirpus Californicus* (Totora) en la comunidad de Pomachaca-Tarma". El objetivo de la investigación consistió en examinar cómo el período de exposición afecta la capacidad de la planta nativa *Scirpus Californicus* (Totora) para eliminar cobre y zinc en la comunidad de Pomachaca. -Tarma. Se aplicó la técnica de fitorremediación utilizando esta especie vegetal, y el estudio se repitió durante un período de 15 días, con análisis de muestras de agua realizadas cada tres días. El estudio se dividió en tres fases: la primera se enfocó en caracterizar el agua recolectada, la segunda implicó llevar a cabo un análisis fisicoquímico del agua para evaluar la eliminación en distintas temperaturas, y la tercera etapa comprendió la construcción de un diagrama de flujo para evaluar la eficacia de la planta en la remoción de cobre y zinc en diferentes períodos de exposición. Los resultados indicaron que la planta nativa *Scirpus Californicus* (Totora) tiene la capacidad de absorber contaminantes como metales en su estructura, logrando una tasa de eliminación del 81,50% para el cobre ($P=0,000$) y del 57,50% para el zinc ($P=0,000$). Como conclusión, se determina que existe una relación logarítmica entre el tiempo de exposición y el porcentaje de eliminación.

2.1.3 A nivel regional y local.

Dado que hay una falta de información bibliográfica en la región sobre estudios relacionados con el proyecto de investigación, solo se cuenta con el siguiente precedente regional.

Soto & Jiménez (2019). Se llevó a cabo un estudio titulado “Potencial fitorremediador de especies nativas en suelos contaminados por metales pesados en el vertedero Quitasol – Imponeda Abancay”. El objetivo principal fue analizar las concentraciones de cromo, plomo, níquel, cadmio y zinc en raíces, tallos y hojas en la zona principal de residuos. Se utilizó un diseño experimental completo que incluyó tres especies diferentes y cinco tratamientos con metales pesados, con dos repeticiones en tres parcelas seleccionadas (A, B, C). Los resultados revelaron que *Amaranthus hybridus* acumula la mayor cantidad de zinc, plomo y cadmio, con concentraciones de 23,03 ppm en las raíces, 5,87 ppm en el tallo y 8,83 ppm en las hojas en las parcelas dos y tres. Brassica rapa mostró las mayores concentraciones de zinc, plomo y cadmio en las raíces, pero se observará una disminución en el crecimiento de las hojas y el grosor del tallo. En cuanto a *Amaranthus spinosus*, presentó altas concentraciones de zinc en raíces y hojas, así como de plomo (1,74 ppm).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 El agua.

La palabra “agua” se utiliza para describir la sustancia que puede encontrarse en forma líquida, sólida (como hielo) y gaseosa (como vapor). Este líquido esencial es vital para la supervivencia de todas las formas de vida que existen en el universo (Merino, 2011).

2.2.1.1 Propiedades físicas.

Las características de los parámetros fisicoquímicos son las siguientes:

2.2.1.1.1 Potencial de hidrógeno (pH).

a) Definición.

La escala de pH oscila de 0 a 14, y una sustancia se considera neutra si su pH es 7. Si el pH es inferior a 7, se clasifica como ácida, mientras que, si es mayor a 7, se cataloga como alcalina (Aguilar & Navarro, 2018).

b) Características.

El pH del agua natural es influenciado por la composición del suelo que atraviesa, siendo alcalino en suelos calizos y ácido en suelos silíceos. En áreas de descarga industrial, el agua contaminada puede presentar un pH extremadamente ácido (Sanchez, 2019).

c) Riesgo.

Si el pH del agua natural es muy alto o muy bajo, puede causar un desequilibrio en la química del agua y provocar la movilización de contaminantes, lo que puede generar condiciones tóxicas. Los organismos acuáticos pueden verse afectados y sufrir problemas que pueden llevar a una disminución de la población (Ginez, 2021).

2.2.1.1.2 Conductividad eléctrica.

a) Definición.

La conductividad del agua, que se refiere a su habilidad para conducir electricidad, está asociada a la presencia de iones en ella. Estos iones provienen de bases, ácidos o sales y se descomponen en forma de iones. (Lapeña, 1989).

Cuando el agua está en su forma pura, actúa como un mal conductor de corriente eléctrica. Sin embargo, cuando contiene sal u otros componentes, se convierte en un conductor eléctrico eficiente debido a la presencia de iones cargados (Ávila & Genescá, 2013).

b) Características.

La conductividad del agua pura es bastante reducida. En cambio, el agua natural lleva iones disueltos que incrementan su capacidad de conducción eléctrica, proporcional a la cantidad y características de estos electrolitos. Por esta razón, el valor de la conductividad se emplea como una estimación cercana de la concentración de solutos. Es importante destacar que dado que la temperatura afecta la conductividad, las mediciones deben realizarse a una temperatura de 20 grados Celsius. (Lapeña, 1989).

2.2.1.1.3 Temperatura.

a) Definición.

Según los autores (Monsalve & Gómez, 2020) La temperatura es una medida de la energía interna presente en un cuerpo, objeto o entorno en general, determinada mediante el uso de un termómetro. Se describe en términos de calor y frío, donde el primero está vinculado a temperaturas más altas y el segundo a temperaturas más bajas. La temperatura puede expresarse en grados Celsius (°C), grados Fahrenheit (°F) y grados Kelvin (°K).

b) Características.

- La temperatura más alta o más baja de un objeto depende de la energía cinética que posean las partículas, átomos y moléculas que lo forman.
- Magnitud física.

c) Riesgos.

- El aumento de temperatura precipita la transpiración de forma que las raíces no puedan aportar agua suficiente para compensar la evapotranspiración.
- Las zonas muertas se proliferan debido al aumento de temperatura agotando el oxígeno y por lo tanto se genera la eutrofización en donde no se pueda desarrollar la vida acuática.

2.2.2 Contaminación del agua por metales pesados.

Las repercusiones de las descargas industriales, la gestión inapropiada de los residuos sólidos, la aplicación indiscriminada de pesticidas, la incorrecta disposición de los desechos de la extracción y procesamiento de minerales metálicos, la ausencia de sistemas de desvío para aguas ácidas y eventuales derrames de productos. Químicos, junto con las actividades diarias de consumo sin control, todo esto se denomina contaminación de origen humano. Estos contaminantes están dispersos extensamente en el ecosistema, incluyendo tanto fuentes superficiales como subterráneas de agua (Aldana, 2014).

2.2.3 Estándares nacionales de calidad ambiental para el agua.

Los ECAS para el agua son medidas que evalúan la concentración de diversos parámetros en el agua con el fin de determinar su calidad. Estos parámetros abarcan elementos minerales, tanto orgánicos como inorgánicos, que se encuentran presentes en distintos cuerpos de agua destinados a diversos usos. Estos estándares son utilizados para evaluar si las concentraciones de estos elementos superan los niveles aceptables. Además, se lleva a cabo una evaluación en colaboración con organizaciones como la OMS y la FAO (MINAM, 2017).

Tabla 1*ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.*

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
FÍSICOS- QUÍMICOS				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/ Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	(pS/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO ₃ -N) + Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO ₂ -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	> 4		> 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de PH	6,5 - 8,5		6,5 - 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000
Temperatura	°C	A 3		A 3
INORGÁNICOS				
Aluminio	mg/L	5		5
Arsénico	mg/L	0,1		0,2
Bario	mg/L	0,7		**
Berilio	mg/L	0,1		0,1
Boro	mg/L	1		5
Cadmio	mg/L	0,01		0,05
Cobre	mg/L	0,2		0,5
Cobalto	mg/L	0,05		1
Cromo Total	mg/L	0,1		1
Hierro	mg/L	5		**
Litio	mg/L	2,5		2,5
Magnesio	mg/L	**		250
Manganeso	mg/L	0,2		0,2
Mercurio	mg/L	0,001		0,01
Níquel	mg/L	0,2		1
Plomo	mg/L	0,05		0,05
Selenio	mg/L	0,02		0,05
Zinc	mg/L	2		24
ORGÁNICO				
<u>Bifenilos Policlorados</u>				
Bifenilos Policlorados (PCB)	Pg/L	0,04		0,045

PLAGUICIDAS				
Paratión	Pg/L		35	35
Organoclorados				
Aldrín	Pg/L		0,004	0,7
Clordano	Pg/L		0,006	7
Dicloro Difenil Tricloroetano (DDT)	Pg/L		0,001	30
Dieldrín	Pg/L		0,5	0,5
Endosulfán	Pg/L		0,01	0,01
Endrin	Pg/L		0,004	0,2
Heptacloro y Heptacloro Epóxido	Pg/L		0,01	0,03
Lindano	Pg/L		4	4
Carbamato				
Aldicarb	Pg/L		1	11
MICROBIOLÓGICOS Y PARASITOLÓGICO				
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	1 000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1 000	**	**
Huevos de Helmintos	Huevo/L	1	1	**

Nota: Esta tabla muestra los parámetros de los ECA agua: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Fuente: Ministerio del ambiente (MINAM).

2.2.4 Fitorremediación

La fitorremediación consiste en que las plantas absorben, almacenen y descompongan metales pesados a lo largo de su ciclo de vida. Este proceso puede ocurrir en varias partes de la planta, como las vacuolas y las paredes celulares de las hojas, tallos y raíces. (Beltrán & Gómez Rodríguez, 2016).

Además, es importante estudiar la tolerancia de cada especie vegetal para las diferentes concentraciones de metales pesados presentes en aguas contaminadas, debido a que a concentraciones muy altas las especies vegetales no soportarían un ambiente tóxico (Valencia & Flórez, 2020).

Existen diversas variedades de plantas, como las totoras, repollitos de agua, camalotes y juncos, que se emplean en el tratamiento de aguas contaminadas. Se utilizan en sistemas de humedales que actúan como sumideros eficaces de nutrientes y como amortiguadores de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Una alternativa viable para

abordar la contaminación de aguas que contienen metales pesados es la instalación de humedales artificiales, conocidos como humedales, los cuales funcionan como filtros naturales. Estos humedales se ubican estratégicamente entre la fuente de contaminación y los cuerpos de agua (ríos, lagos, lagunas) y ofrecen la ventaja de no requerir mantenimiento ni consumo de energía eléctrica (Frers, 2008).

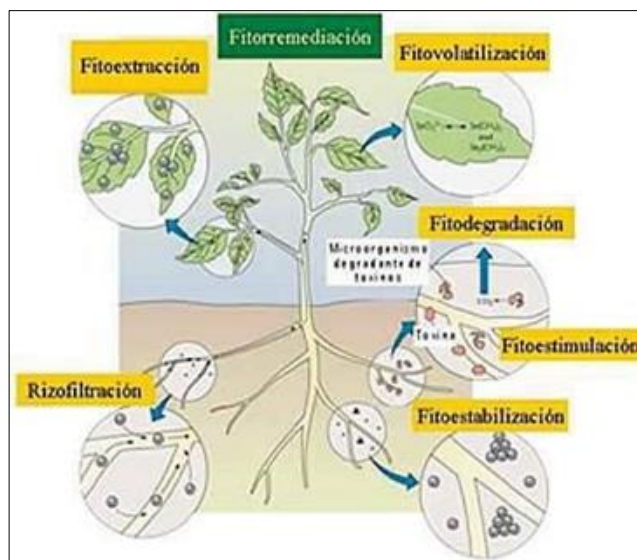
La fitorremediación también se puede aplicar a suelos contaminados por metales pesados como son los relaves mineros, mediante el uso de especies vegetales de las zonas mineras y analizar su capacidad de absorción de los metales pesados (Martinez Manchego, 2018).

2.2.4.1 Tipos de Fitorremediación

Se clasifican de acuerdo a la contaminación a tratar y los diferentes procesos involucrados en la fitorremediación. En la Figura 1, se muestra donde se realizan los diferentes procesos.

Figura 1

Tipos de fitorremediación.



Nota: Esta figura representa los tipos de fitorremediación, implica diferentes tipos de procesos que ocurren en distintas partes de las plantas. Fuente: Frers, 2008.

2.2.4.2 Criterios de selección de plantas para la fitorremediación.

El proceso de fitorremediación elimina eficazmente los contaminantes. Los efectos de la fitorremediación dependen de la especie vegetal seleccionada, su etapa de crecimiento y el tipo de contaminantes eliminados. Por ello, es importante que las plantas utilizadas cumplan con las siguientes características para conseguir resultados óptimos (Huamán & Rumaja, 2017):

- a) Deben demostrar resistencia a concentraciones elevadas de metales.
- b) Han de ser capaces de acumular metales.
- c) Deben exhibir un rápido ritmo de crecimiento y una alta productividad.
- d) Han de ser de fácil recolección.

2.2.5 Metales pesados.

Los metales pesados están ubicados hacia la parte inferior de la tabla periódica, lo que significa que tienen densidades considerablemente altas en comparación con otros materiales. Aunque solemos asociar los metales pesados con la contaminación del agua y alimentos, en realidad, se transportan en su mayoría de un lugar a otro a través del aire, ya sea como gases o especies adsorbidas, o como especies absorbidas en partículas suspendidas en el aire (Beltrán & Gómez Rodríguez, 2016).

2.2.5.1 Cobre.

El cobre (Cu) exhibe propiedades de maleabilidad y ductilidad, y es altamente eficiente en la conducción de calor y electricidad. Además, su rendimiento no se ve significativamente afectado cuando se exponen al aire seco. En el metabolismo humano, el cobre desempeña un papel esencial. En su estado puro, tiene una textura suave; el mineral

más común de cobre es la calcopirita, una combinación de azufre de hierro y cobre. Entre sus características destacan su alta conductividad térmica y eléctrica, resistencia a la corrosión, y su capacidad para ser estirado y moldeado sin romperse (Nordberg, 2017).

2.2.5.2 Manganeso.

El manganeso (Mn) es un metal denso que, cuando se encuentra en niveles altos en el aire, puede dar lugar a problemas neurológicos. Debido a esta amenaza, entidades como la Organización Mundial de la Salud (OMS) han fijado un límite de referencia anual de 150 ng/m³ para la presencia de manganeso en la atmósfera. Sin embargo, en áreas próximas a instalaciones de producción de ferroaleaciones de manganeso, este límite suele ser superado con regularidad (Mazón, 2018).

2.2.5.3 Aluminio.

A pesar de que el aluminio no cumple con los criterios convencionales para ser considerado un metal pesado, ya que su peso específico en la tabla periódica es inferior a 5 g/cm³ y su número atómico no supera los 20, se le clasifica como metal pesado en ciertas listas de sustancias tóxicas debido a su toxicidad (Aldana, 2014, pág. 11).

2.2.6 Capacidad Fitorremediadora de especies vegetales.

En la tabla a continuación se puede apreciar la habilidad de ciertas especies acuáticas para la fitorremediación.

Tabla 2

Capacidad fitorremediadora de especies acuáticas.

Especie	Porcentaje de Cu	Autor
<i>Eichhornia crassipes</i>	78.6 %	(Aurangzeb et al., 2014)
<i>Pistia Stratiotes</i>	66.5 %	(Aurangzeb et al., 2014)
<i>Hydrocotyle ranunculoides</i>	70. 0 %	(Zarazúa et al., 2013)
<i>Lemna minor</i>	80%	(Bokhari et al., 2016)

Nota: Fuente (Aurangzeb et al., 2014), (Zarazúa et al., 2013) y (Bokhari et al., 2016).

2.2.7 Especie vegetal *Hydrocotyle ranunculoides* L. f (Mateccllo).

De acuerdo con la clasificación del Grupo Filogenético de Angiospermas (APG IV), la posición taxonómica es la siguiente a (Huamán & Rumaja, 2017):

Nombre científico: *Hydrocotyle ranunculoides* L. f.

Nombre común: Mateccllo.

2.2.7.1 Descripción botánica.

Planta acuática que se caracteriza por tener tallos delgados y suculentos que se extienden horizontalmente, ya sea postrados o flotantes. Estos tallos pueden alcanzar un diámetro de hasta 1.65 mm y presentan internodos cortos de hasta 2.5 cm de longitud. Sus hojas tienen una forma similar a la de un riñón (reniformes) y carecen de un pecíolo central (no son peltadas). Cada hoja está compuesta por 5 a 6 lóbulos con bordes obtusos y crenados de manera irregular. Tienen un tamaño máximo de 3 x 3.5 cm y su superficie es lisa en ambas caras, sin vellosidades (glabras). En cada nudo de la planta se encuentra una hoja. Los peciolos de *Hydrocotyle ranunculoides* son delgados, presentan surcos longitudinales y son lisos (Huamán & Rumaja, 2017).

2.2.7.2 Descripción geográfica.

La especie *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. se encuentra en una extensa área que se extiende desde Estados Unidos hasta América, y también está presente en África. Su rango altitudinal varía desde los 110 - 3850 msnm, y prospera tanto en áreas tropicales como en páramos. Esta especie tiende a crecer en lugares abiertos y suele estar asociada a cuerpos de agua (Huamán & Rumaja, 2017).

2.2.7.3 Usos

La especie *H. ranunculoides* se comercializa como una planta tropical ideal para acuarios. Además, ha sido objeto de estudios exitosos en la aplicación de tratamientos de aguas residuales. Debido a su rápido crecimiento, se considera una fuente apropiada de alimento para el ganado, ya que contiene un alto contenido de proteína cruda (Huamán & Rumaja, 2017).

2.2.7.4 Mecanismo de acumulación de metales en las plantas

La acumulación de metales en los organismos acuáticos ocurre en dos etapas. En la primera fase, los metales son rápidamente absorbidos o se adhieren a la superficie biológica mediante un proceso llamado biosorción. Luego, en la segunda etapa, tiene lugar un transporte lento e irreversible, controlado por difusión, hacia el interior de las células, conocido como bioacumulación. Este proceso puede realizarse mediante la difusión de los iones metálicos a través de la membrana celular o a través de un transporte activo facilitado por una proteínas transportadora (Huamán & Rumaja, 2017).

En las plantas, los metales inician sus efectos en las raíces, ya que este órgano es responsable de la absorción de nutrientes del entorno. Posteriormente, estos efectos se extienden al resto de la planta de manera progresiva. En las hojas, se producen daños

notables en los cloroplastos y las mitocondrias, lo que impacta en los procesos de fotosíntesis y respiración. En etapas más avanzadas de estos cambios, se observan alteraciones metabólicas y de la regulación celular significativas. Finalmente, debido a la acumulación crónica de metales pesados, se estimula el envejecimiento celular, lo que puede culminar en la muerte de las plantas (Posada & Arroyave, 2006).

2.2.7.5 Mecanismo de resistencia a los metales pesados.

A continuación, describen las adaptaciones que han desarrollado las especies vegetales que crecen en ambientes contaminados para tolerar niveles de toxicidad:

- **Exclusión:** Esta estrategia empleada por las plantas involucra una acumulación restringida de metales en las partes superiores de la planta, centrándose principalmente en concentrarlos preferentemente en las raíces (González & Zapata, 2008).
- **Indicadoras:** Esta estrategia se distingue por el hecho de que las plantas almacenan metales en sus estructuras, lo cual suele reflejar los niveles de metales existentes en el agua, suelo (González & Zapata, 2008).
- **Hiperacumulación:** Esta táctica se destaca por la habilidad de la planta para acumular cantidades significativas de metales en sus estructuras internas, particularmente en las partes superiores de la planta (González & Zapata, 2008).

2.2.7.6 Mecanismos internos de tolerancia.

- **Exudados radicales:** Los exudados radicales, compuestos mayormente por ácidos orgánicos de bajo peso molecular generados a partir del ciclo del ácido tricarbóxico, desempeñan un papel fundamental en la tolerancia a los metales en el sistema de raíces. Estos ácidos orgánicos pueden influir directamente en la solubilidad de elementos esenciales y no esenciales a través de procesos como la acidificación, la

quelación, la precipitación y la oxidación-reducción en la rizosfera (González & Zapata, 2008).

–La unión de diversos ligandos con metales en el citosol para formar complejos:

La quelación se refiere a la capacidad de una molécula para unirse a un metal y crear un nuevo compuesto con propiedades químicas diferentes a las del compuesto original (González & Zapata, 2008).

2.2.8 Espectroscopía de emisión atómica ICP-OES.

(Jiménez et al., 2020) la espectroscopia de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) es una técnica ampliamente utilizada para analizar trazas de elementos en diversas muestras. Antes de su análisis, las muestras suelen ser sometidas a un proceso de digestión. La ICP-OES se basa en la emisión de fotones por átomos excitados en un plasma de argón a alta temperatura.

2.2.8.1 Principio de funcionamiento de la ICP – OES.

De acuerdo a (Fanego & Carabeo Pérez, 2017, pág. 55) la espectrometría de emisión atómica con plasma acoplado inductivamente permite la medición precisa de la mayoría de los elementos de la tabla periódica, incluso en niveles muy bajos, utilizando muestras que han sido disueltas en agua. Los autores explican el proceso de la siguiente manera.

La muestra líquida es conducida a través de una bomba peristáltica hacia el sistema nebulizador, donde se convierte en aerosol utilizando gas argón. Este aerosol se dirige hacia la zona de ionización, donde se genera un plasma al aplicar un campo magnético oscilante a un flujo de gas argón mediante una corriente de alta frecuencia. En el plasma, se alcanzan temperaturas de hasta 8000 °K, lo que resulta en la ionización/excitación de

los átomos presentes en la muestra. Cuando estos iones o átomos excitados regresan a su estado fundamental, emiten radiación con una longitud de onda característica de cada elemento. Esta radiación atraviesa un sistema óptico que separa la radiación según su longitud de onda. Posteriormente, un detector mide la intensidad de cada radiación, estableciendo una relación con la concentración de cada elemento en la muestra (Fanego & Carabeo Pérez, 2017).

2.2.8.1.1 Ventajas y desventajas.

El ICP- OES tiene varias ventajas significativas en comparación con otras fuentes de emisión. Una de las razones fundamentales es su eficiente y constante capacidad para vaporizar, atomizar, excitar e ionizar una amplia gama de elementos presentes en diferentes tipos de muestras. Una ventaja significativa del ICP-OES sobre la llama y el horno es la alta temperatura del plasma. Mientras que la llama y el horno alcanzan temperaturas de alrededor de 3300 °K, la temperatura del gas en el centro del plasma puede llegar a aproximadamente 6800 °K. Esta temperatura más elevada no solo mejora la eficiencia en la excitación e ionización, sino que también reduce o elimina muchas de las interferencias químicas encontradas en las llamas y los hornos. Otra característica única del ICP-OES es que los átomos de la muestra permanecen en el plasma durante aproximadamente 2 milisegundos a temperaturas que oscilan entre 6000 y 8000 °K cuando llegan al punto de observación. Estos tiempos y temperaturas son de 2 a 3 veces mayores que los alcanzados en las llamas de combustión más calientes (como las de acetileno/óxido nitroso). Como resultado, la atomización es más completa y se minimizan las interferencias químicas (Fanego & Carabeo Pérez, 2017).

2.2.9 La hidroponía.

La hidroponía es una técnica utilizada en el cultivo de plantas en la que se emplean soluciones minerales en vez de suelo agrícola. El término "hidroponía" proviene de las palabras griegas "hidro", que significa agua, y "ponos", que significa trabajo (Garduño, 2011).

Las raíces reciben una solución acuosa equilibrada de nutrientes que contiene todos los elementos químicos necesarios para el crecimiento de la planta. Estas raíces pueden desarrollarse tanto en una solución mineral pura como en un medio inerte, como arena lavada, grava o perlita (Irigo, 2010).

2.3 Marco conceptual

1. **Agua:** Sustancia líquida sin olor, sabor ni color; su composición molecular consiste en dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno unidos por un enlace covalente. Puede encontrarse en estado líquido, sólido y gaseoso (Marín, 2019).
2. **Calidad del agua:** La calidad del agua se refiere a las características físicas, químicas y microbiológicas que la componen (Chávez, 2018).
3. **Antropogénicos:** Resultado de efectos, procesos o materiales que provienen de la actividad humana (Corona, 2013).
4. **Fitorremediación:** Conjunto de técnicas que emplean plantas para degradar, extraer, almacenar o inmovilizar los contaminantes presentes en el suelo y el agua. Estas estrategias están siendo reconocidas como alternativas innovadoras y económicamente viables en comparación con los métodos convencionales de tratamiento utilizados en áreas contaminadas por residuos peligrosos (Castro, 2020).

5. **Contaminación:** Cambios no deseados en las características físicas, químicas y biológicas del aire, agua y suelo que tienen un efecto adverso en la vida humana, otros seres vivos, la flora y fauna, el desarrollo industrial, las condiciones de vida y los aspectos culturales (Domínguez, 2015).
6. **Contaminante:** Cualquier sustancia que tenga un efecto perjudicial en la salud, el entorno de las personas y los ecosistemas. En la mayoría de los casos, los contaminantes ingresan al medio ambiente a través de aguas residuales, desechos, descargas accidentales (Bravo, 2009).
7. **Espectrofotómetro:** Dispositivo empleado en el análisis químico que puede determinar la relación entre los valores de radiación fotométrica de dos haces, en función de la longitud de onda. Esta medición está vinculada a la concentración de una muestra o a reacciones químicas particulares (Martínez, 2020).
8. **Metales pesados:** Considerados uno de los grupos más riesgosos debido a su escasa biodegradabilidad, alta toxicidad a bajas concentraciones y capacidad para acumularse en diversos organismos (Reyes et al., 2016).
9. **Hidroponía:** Técnica empleada para el cultivo de plantas mediante el uso de soluciones minerales (solución A y solución B), en la que el sistema de producción implica que las raíces de las plantas no están arraigadas en el suelo, sino en un sustrato o en la misma solución nutritiva utilizada (Barbado, 2005).
10. **Rizofiltración:** Método empleado para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados, que se basa en la capacidad de biosorción presente en ciertas plantas acuáticas. La rizofiltración implica utilizar la biosorción a través de las raíces para eliminar contaminantes del medio hídrico (Núñez et al., 2004).

11. Biorremediación: Empleo de seres vivos, ya sean hongos, plantas o enzimas, con el propósito de restaurar el entorno ambiental, incluyendo agua, suelo y aire, que ha sido modificado por la presencia de contaminantes tóxicos, devolviéndolo a su estado natural (López & Escoto, 2007).

12. Plantas acuáticas: También denominadas hidrófitas o higrófitas o macrófitas ya que se desarrollan en el agua; viven total o parcialmente sumergidas en el agua (Chugden & Verastegui, 2020).

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis.

3.1.1 Hipótesis general

- La especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* presenta capacidad fitorremediadora en aguas contaminadas por metales pesados; de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.

3.1.2 Hipótesis específicas

- La concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Al, Mn) en el agua es variable por el método espectroscopía de absorción atómica, del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.
- Los parámetros fisicoquímicos (pH, conductividad y temperatura) del agua antes y después del tratamiento experimental en el laboratorio es variable; de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes – Apurímac 2022.
- La concentración de metales pesados en raíz y parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* al final del tratamiento experimental en el laboratorio es variable de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.

3.2 Método.

El enfoque de la metodología de la investigación es cuantitativa, lo cual implicó la recopilación de datos con el propósito de verificar la hipótesis a través de mediciones numéricas y análisis estadísticos. Esto facilitó la identificación de patrones de comportamiento y la evaluación de teorías (Hernandez et al., 2009).

3.3 Tipo de investigación.

El estudio se llevó a cabo utilizando un enfoque de investigación aplicado, ya que se emplearon conocimientos y teorías previas para analizar y comprender las particularidades de la población seleccionada, con el propósito de aplicar este conocimiento en un contexto específico (Ugalde & Balbastre, 2013).

3.4 Nivel o alcance de investigación

El nivel de investigación es de carácter explicativo, ya que va más allá de la mera descripción de conceptos o fenómenos y se enfoca en establecer relaciones y explicar las causas de los eventos físicos o sociales. Como su nombre indica, su objetivo principal es responder a por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta, así como investigar las relaciones entre dos o más variables. Los estudios explicativos buscan identificar las causas de los sucesos o fenómenos que se investigan (Hernandez et al., 2009).

3.5 Diseño de la investigación.

En esta investigación, se utilizó un diseño cuasiexperimental para analizar los efectos de al menos una variable independiente en una o más variables dependientes. A diferencia de los experimentos "puros", en los cuasiexperimentos, los sujetos no se asignan al azar a los grupos ni se emparejan, sino que los grupos ya están formados antes del

experimento y son grupos intactos. La forma en que se crean y su independencia del experimento son aspectos cruciales. Cada uno de estos grupos se considera un grupo experimental (Hernandez et al., 2009).

3.6 Operacionalización de variables.

Variable	Dimensiones	Indicadores	Ítems	Escala de medición
<p>Variable Independiente CAPACIDAD FITORREMIADORA DE <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f.</p> <p>La fitorremediación consiste en el uso de plantas que tienen la capacidad de reducir la concentración de contaminación en el agua, asociados a su sistema de raíz que conducen a la degradación, de los diversos tipos de contaminantes como el Cu, Mn y Al. <i>Hydrocotyle ranunculoides</i> L. f. es una especie macrófita acuática flotante, con raíces sumergidas que es el responsable de absorber la concentración de los metales pesados, ha demostrado ser un potencial fitorremediador útil en la remediación de aguas contaminadas por metales pesados (Delgadillo et al., 2011).</p>	<p>Dimensión 1: Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua.</p> <p>Es la concentración de metales pesados en el agua debido a la contaminación por diferentes actividades antrópicas, mineras e industriales que alteran negativamente el estado natural de las fuentes hídricas (Rosas, 2001)</p> <p>Dimensión 2: Determinación de parámetros fisicoquímicos antes y después en el agua.</p> <p>Son algunos de los parámetros que dan a conocer si el agua se encuentra dentro de los Estándares de Calidad Ambiental y que sean aptas para el riego de vegetales cultivados y para la bebida de animales (DIGESA, 2018)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración inicial de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua. - Concentración final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua. - Parámetro físico del agua (conductividad) - Parámetro químico del agua (potencial de hidrógeno) - Parámetro físico del agua (temperatura) 	<p>1.1</p> <p>1.2</p> <p>2.1</p> <p>2.2</p> <p>3.3</p>	<p>mg/L</p> <p>mg/L</p> <p>µS/cm</p> <p>Unidad de pH</p> <p>°C</p>
<p>Variable Dependiente AGUAS CONTAMINADAS POR METALES PESADOS.</p> <p>La contaminación hídrica se entiende como la acción de incorporar algún material en el agua alterando su calidad y su composición química, de manera que no reúna las características necesarias (OMS, 2009). Los metales son componentes naturales de la corteza terrestre; Pueden actuar también como potentes tóxicos, tanto para los seres humanos como para los ecosistemas, según cuáles sean sus vías de exposición (Ferré et al., 2007).</p>	<p>Dimensión 3: Concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíces y parte aérea (hojas y tallos).</p> <p>Es la concentración de metales pesados en las raíces y parte aérea de la especie acuática mediante procesos de fitoextracción y rizofiltración (Medina & Montano, 2014).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíces. - Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en parte aérea. 	<p>3.1</p> <p>3.2</p>	<p>mg/kg</p> <p>mg/kg</p>

Nota: Fuente; Autoría Propia.

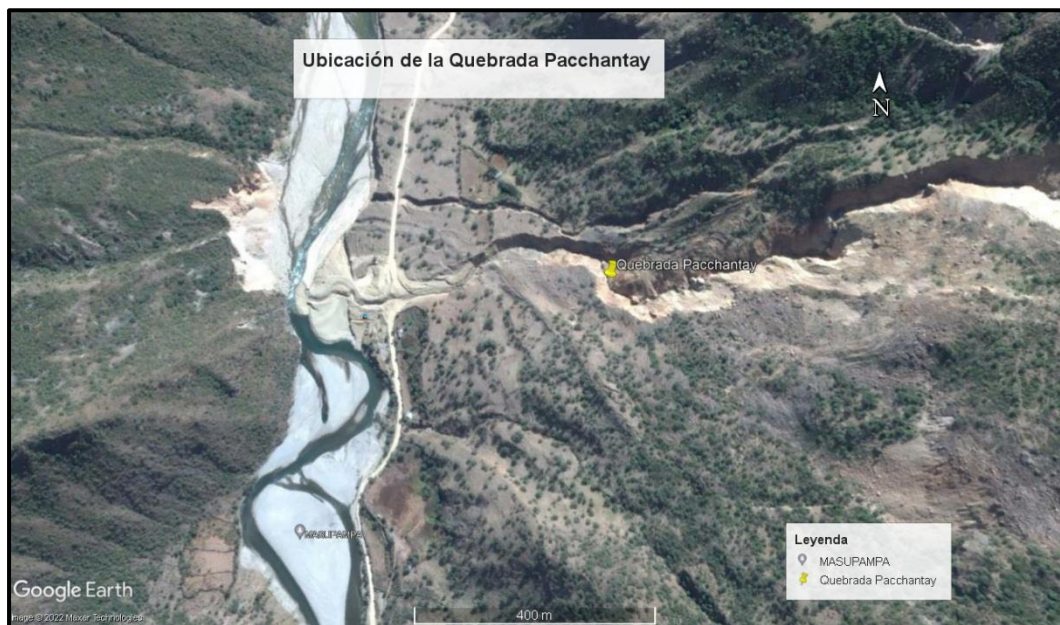
3.7 Población, muestra y muestreo.

3.7.1 Población

La población objeto de estudio se localiza en la quebrada Pacchantay, en el Distrito de Tapairihua, Provincia de Aymaraes. Esta área presenta contaminación por metales pesados como Cu, Mn y Al, y se encuentra en las coordenadas UTM E:700554, N:8432839, a una altitud de 2619 msnm. Desde una perspectiva hidrográfica, la quebrada Pacchantay está en el límite superior de la cuenca de Antabamba. Para llevar a cabo el proceso experimental de esta investigación, se trasladaron muestras de agua al laboratorio de la UTEA, ubicado en la ciudad de Abancay.

Figura 2

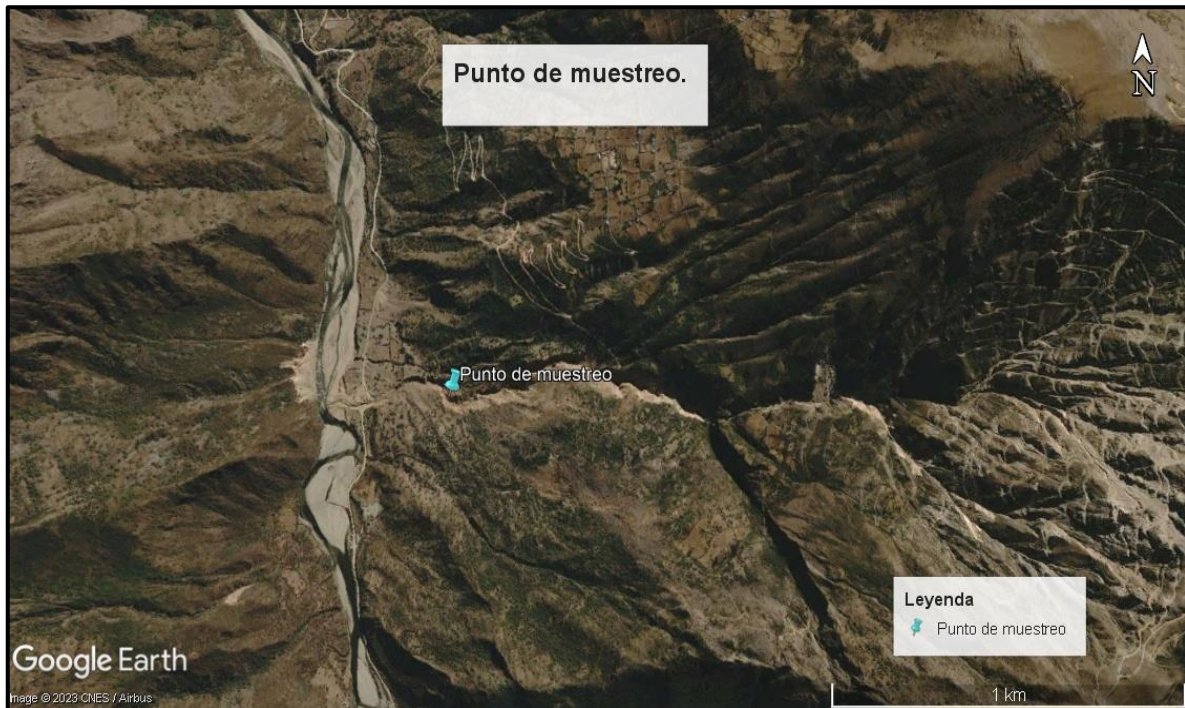
Ubicación - quebrada Pacchantay.



Nota: Esta figura representa la ubicación de la quebrada Pacchantay, 2023.

Figura 3

Ubicación -punto de muestreo.



Nota: Esta figura representa la ubicación – punto de muestreo,2023.

3.7.2 Muestra.

Se recolectaron muestras en el punto geográfico con las siguientes coordenadas UTM, Datum WGS84: E: 700554, N: 8432839, a una altitud de 2619 msnm. El muestreo fue realizado siguiendo el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos establecido por la Autoridad Nacional del Agua, a través de la Dirección de Gestión de Calidad de los Recursos Hídricos. Se tomó una porción de 20 litros del agua contaminada de la quebrada Pacchantay, la cual fue depositada en un recipiente apropiado.

3.7.3 Muestreo

La recolección de muestras fue puntual y se llevó a cabo conforme al Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos establecido por la Autoridad Nacional del Agua a través de la DGCRH. Se extraiga una porción de agua en un punto

específico para su posterior análisis y tratamiento. Esta muestra refleja las condiciones y características originales de la quebrada Pacchantay en el lugar, momento y circunstancias pertinentes en el momento de su recolección.

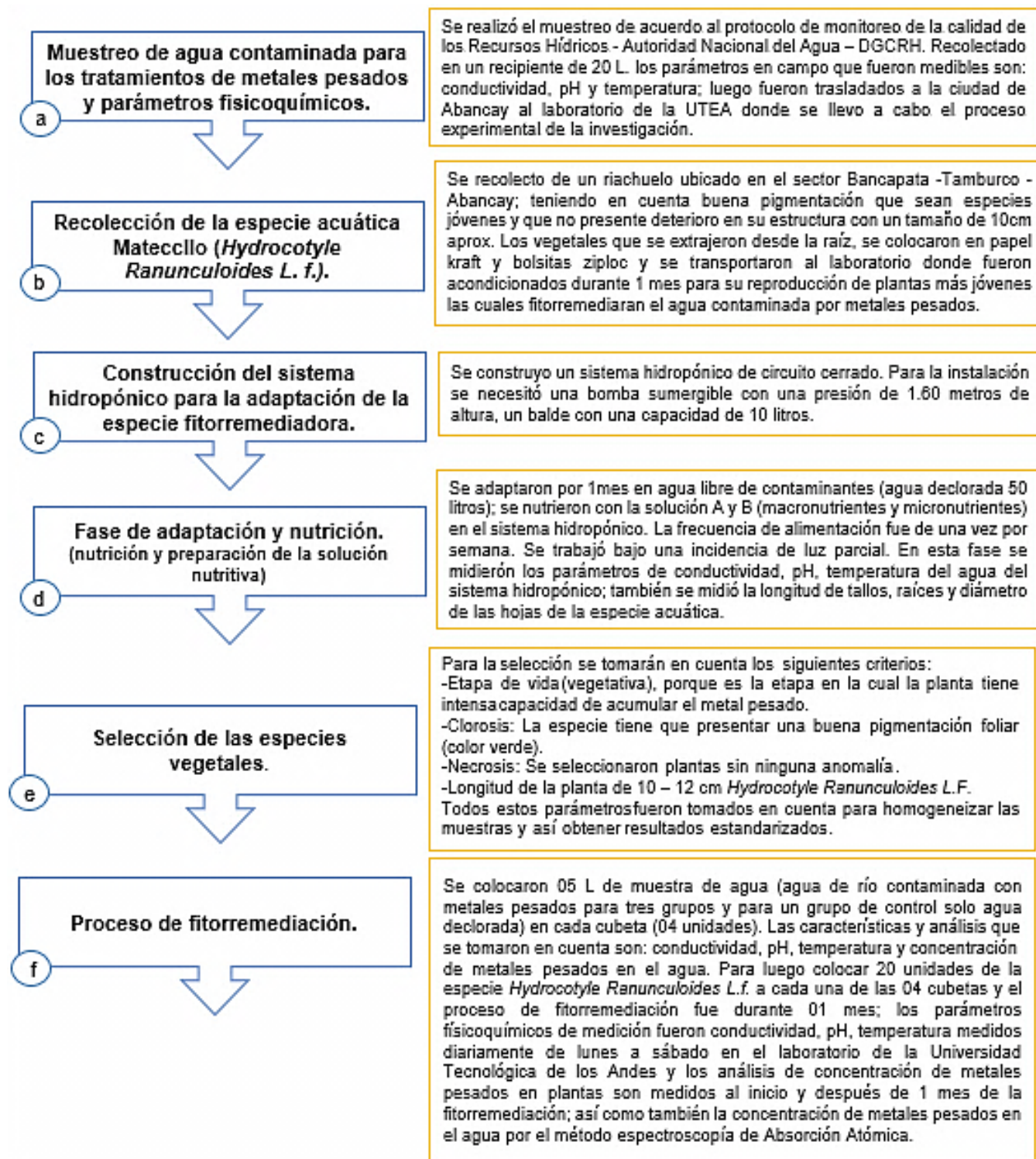
3.8 Técnicas e instrumentos.

3.8.1 Técnicas.

- Observación.
- Experimentación.
- Fichaje

Figura 4

Procedimiento general para la ejecución del proyecto.



Nota: Procedimiento general para la recolección de muestras (especie vegetal y agua), adaptación de la especie acuática y fitorremediación

a) Muestreo de agua contaminada para los tratamientos biológicos de metales pesados (Cu, Mn y Al) y parámetros fisicoquímicos.

La obtención de la muestra de agua de la quebrada Pacchantay para la investigación se llevó a cabo siguiendo el protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos establecido por la Autoridad Nacional del Agua a través de la DGCRH.

Se llevó a cabo una toma de muestra puntual de agua superficial que se recogió en un recipiente de 20 litros. Se enjuagó tres veces con agua de la quebrada para prevenir posibles alteraciones de agentes externos en la muestra. Durante el muestreo en campo, se midieron los siguientes parámetros: conductividad, pH y temperatura. Posteriormente, las muestras se transportaron al laboratorio de la Universidad Tecnológica de los Andes en la ciudad de Abancay, donde se llevó a cabo el proceso experimental de la investigación.

b) Recolección de *Hydrocotyle Ranunculoides L. F.*

La especie acuática flotante utilizada para el proceso de fitorremediación, conocida como *Hydrocotyle Ranunculoides L. f.*, fue obtenida de un riachuelo ubicado en el sector Bancapata, distrito de Tamburco, provincia de Abancay. Se seleccionaron especímenes con buena pigmentación (color verde), que sean jóvenes y no presenten daños en su estructura, con un tamaño aproximado de 10 cm. Estas plantas se extrajeron desde la raíz, se colocaron en papel kraft y se guardaron en bolsitas ziploc para su posterior transporte al laboratorio. Allí fueron acondicionadas durante un mes para promover la reproducción de plantas más jóvenes, las cuales serían utilizadas en la fitorremediación del agua contaminada por metales pesados (Cu, Mn y Al).

c) Construcción del sistema hidropónico para la adaptación de la especie fitorremediadora.

Se construyó un sistema hidropónico de circuito cerrado a base de 01 tubo de 3" PVC, 08 tapones de 3" PVC, 07 adaptadores UPR ½ PVC, 09 codos de ½ PVC, 04 uniones de ½ PVC, tubo de ½ PVC, 01 broca copa cierra, fierros de 07 metros de longitud.

Para la instalación se necesitó una bomba sumergible con una presión de 1.60 metros de altura, un balde con una capacidad de 10 litros.

d) Fase de adaptación y nutrición.

La especie vegetal fue aclimatada durante un mes en agua libre de contaminantes (50 litros de agua de clorada). Para lograrlo, se dejó reposar el agua en un recipiente abierto por dos días para permitir que el cloro presente en el agua se evapore de forma natural. Se les proporcionaron nutrientes a través de la solución A y B al sistema hidropónico, con una frecuencia de alimentación de una vez por semana. Se llevó a cabo bajo una exposición parcial a la luz durante el período de aclimatación. Esta etapa se demostró esencial para determinar si la planta podía adaptarse a las condiciones. Durante esta fase se registraron los parámetros de conductividad, pH y temperatura del agua en el sistema.

- **Nutrición.**

Durante la fase de adaptación en el cultivo hidropónico de la especie acuática, se proporcionó la nutrición requerida mediante el uso de un fertilizante conocido como

solución hidropónica "La Molina". Esta solución incluye los nutrientes esenciales que son críticos para el crecimiento adecuado de las macrófitas acuáticas.

- **Preparación - solución A y B.**

Para preparar un litro de solución nutritiva, mezcle 5 ml de la solución concentrada A y 2 ml de la solución concentrada B en un litro de agua (Universidad Nacional Agraria La Molina, 2003).

Para la propagación de las especies acuáticas en el sistema hidropónico, se acondicionaron 50 litros de agua sin cloro con 250 ml de la solución A y 100 ml de la solución B (Universidad Nacional Agraria La Molina, 2003).

- e) **Selección de las especies vegetales.**

Para la selección, se consideraron los siguientes criterios:

- Etapa de vida (vegetativa), ya que es el período en el cual la planta tiene una alta capacidad de acumulación del metal pesado.
- Clorosis: La especie debe mostrar una buena coloración foliar (verde).
- Ausencia de necrosis: Se eligieron plantas sin ninguna anomalía.
- Longitud de la planta de 10 a 12 cm (*Hydrocotyle Ranunculoides L.f.*).

Todos estos parámetros fueron tenidos en cuenta para uniformizar las muestras y así obtener resultados estandarizados.

- f) **Proceso de fitorremediación.**

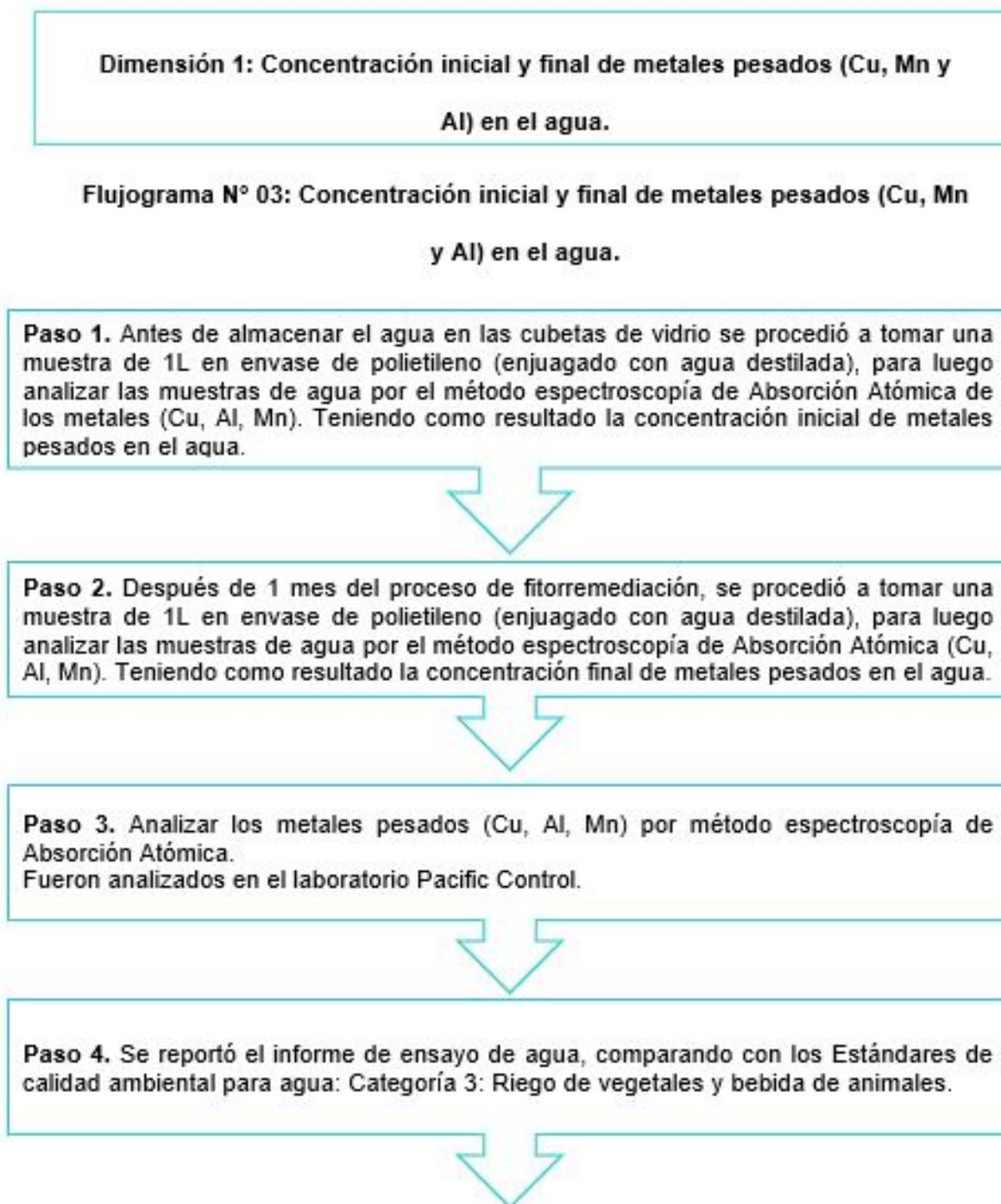
Se distribuyeron 5 litros de muestras de agua (agua del río contaminada con metales pesados como Cu, Mn y Al) en tres grupos experimentales, mientras que un

grupo de control recibió solo agua declarada, todo esto en cada una de las cuatro cubetas disponibles. Se evaluaron características y análisis como la conductividad, pH, temperatura y concentración de metales pesados en el agua. Posteriormente, se agregaron 20 especímenes de *Hydrocotyle Ranunculoides L.f.* a cada una de las 4 cubetas, y el proceso de fitorremediación se llevó a cabo durante un mes. Los parámetros físicos de medición, como la conductividad, pH y temperatura, se registraron diariamente de lunes a sábado en el laboratorio de la UTEA sede Abancay. El análisis de la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en las plantas se realizó antes del proceso de fitorremediación, así como también la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua mediante el método de espectroscopía de Absorción Atómica.

Después de un mes, al concluir esta fase, se procedió a analizar la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en las plantas, así como las concentraciones de estos metales en el agua en los cuatro grupos experimentales, empleando el método de espectroscopía de Absorción Atómica. Durante este período, se incorporó una pequeña bomba de acuario de manera continua durante un mes con el fin de prevenir la generación de malos olores.

Figura 5

Flujograma de la concentración inicial y final de metales pesados en el agua.

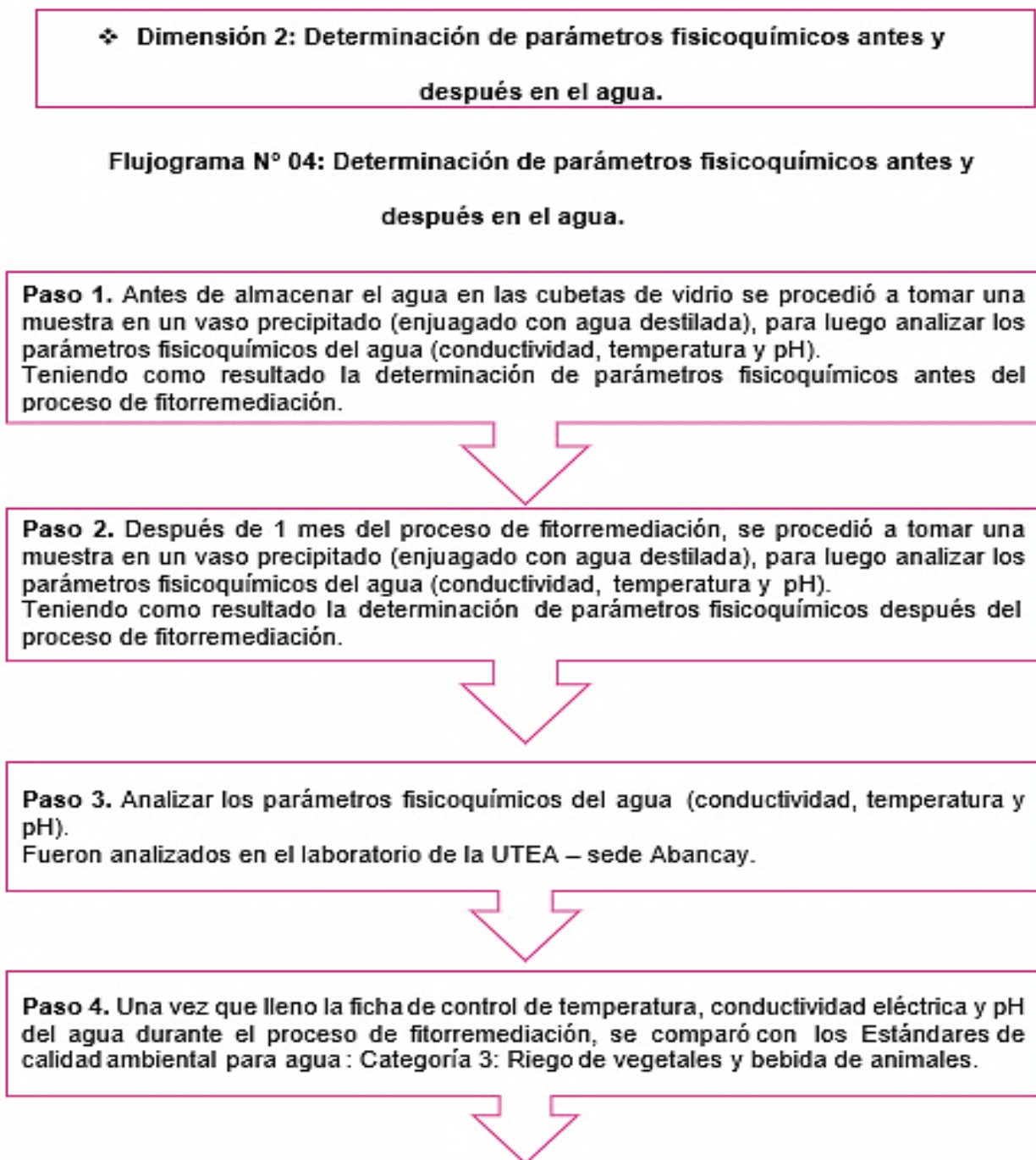


Fuente: Huamán y Rumaja (2017).

Nota: Flujograma de la concentración inicial y final de metales pesados en el agua. Fuente: Huamán y Rumaja (2017).

Figura 6

Flujograma de determinación de parámetros fisicoquímicos antes y después en el agua.



Nota: Flujograma de determinación de parámetros fisicoquímicos antes y después en el agua. Fuente: Huamán y Rumaja (2017).

Figura 7

Flujograma de concentración de metales pesados en raíces y parte aérea.

Dimensión 3 Concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíces y parte aérea (hojas y tallos).

Flujograma N° 02. Concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíces y parte aérea (hojas y tallos).

Paso 1. Antes de introducir la especie (*Hydrocotyle ranunculoides L. f.*) al agua contaminada se procedió a realizar análisis de metales en la especie raíces y parte aérea (hojas y tallos).

Paso 2. Se colocaron 05 L de muestra de agua (agua de río contaminada con metales pesados para tres grupos y para un grupo de control solo agua declorada).

Paso 3. Para luego colocar 20 unidades de la especie *Hydrocotyle Ranunculoides L.f.* a cada una de las 04 cubetas y el proceso de fitorremediación fue durante 01 mes.

Paso 4. Después de 1 mes, se procedió a escoger 5 unidades de especie (las que tienen mejor pigmentación y ninguna anomalía).

Paso 5. Se procedió a sacar de las cubetas y lavarlas con agua destilada. Para luego ponerla a secar en papel kraft a temperatura ambiente.

Paso 6. Una vez estén secos las especies, alistar tabla de picar, bisturí con mango, papel kraft, tapers pequeños y agua destilada. Para luego proceder a: (1) picar tallos, almacenar en papel kraft y tapercito, limpiar bisturí y tabla con agua destilada, (2) picar raíz, almacenar en papel kraft y tapercito, limpiar bisturí y tabla con agua destilada, (3) picar hojas almacenar en papel kraft y tapercito. Rotular cada tapercito. Para todo el proceso utilizar guantes de nitrilo.

Paso 7. Se analizaron las muestras de la especie raíces y parte aérea (hojas y tallos) por el método espectroscopía de Absorción Atómica los metales pesados (Cu, Al, Mn). Fueron analizados en el laboratorio Pacif Control.

Nota: Flujograma de concentración de metales pesados en raíces y parte aérea. Fuente: Huamán y Rumaja (2017).

3.8.2 Instrumentos

- Ficha de recolección de *Hydrocotyle Ranunculoides L. f.*
- Informe - ensayo de *Hydrocotyle Ranunculoides L. f.*
- Informe - ensayo de agua.
- Ficha de control de temperatura, conductividad eléctrica, pH.

✓ **MATERIALES Y EQUIPOS DE TRABAJO.**

➤ **Material biológico.**

- Especie - (*Hydrocotyle ranunculoides L. f.*). Recolectada de un riachuelo ubicado en el sector denominado Bancapata, distrito de Tamburco, provincia de Abancay.

➤ **Equipos e instrumentos.**

- Espectroscopía de emisión atómica ICP-OES
- GPS
- Multiparámetro
- pH

➤ **Reactivos.**

- Ácido nítrico
- Solución A
- Solución B

➤ **Materiales de campo.**

- Cámara fotográfica
- Libreta de apuntes
- Marcador tinta indeleble.
- Bolsitas ziploc
- Frascos polietileno HD de 1L

- Cooler
- Bidón capacidad de 50 litros
- Papel Kraft
- Regla
- **Materiales de escritorio**
- Laptop
- Papel bond A4
- **Software para el trabajo**
- Microsoft office 2015
- SPSS Análisis de varianza (ANOVA)
- **Materiales para la construcción del sistema hidropónico y fitorremediación.**
- Cubetas de vidrio para las muestras de agua
- Mini bomba de agua
- Manguerilla para pecera
- Piedra Difusora
- Interruptor
- Tapones de 3" PVC
- Tubo de 3" PVC
- Adaptador UPR ½ PVC
- Codos de ½ PVC S/R
- Unión C/R. ½ PVC
- Tubo de ½ S/R
- Balde de 10 Litros

3.9 Consideraciones éticas.

El proyecto de tesis respeta la autoridad de las fuentes citadas y sigue las pautas proporcionadas por ellos. Todas las citas textuales están en conformidad con las normas APA. Se implementó un sistema hidropónico para asegurar que los factores ambientales no afectarán el ensayo. La recopilación de datos, fotografías, análisis y la ubicación del sitio cuentan con descripciones detalladas para garantizar la legitimidad de la investigación. Finalmente, al concluir el tratamiento de fitorremediación, las especies vegetales serán incineradas de manera controlada por expertos en la materia.

3.10 Procesamiento estadístico

En el presente trabajo de investigación, se realizó un análisis estadístico utilizando la técnica de análisis de varianza (ANOVA). Esta herramienta se aplicó en el software SPSS con el propósito de identificar posibles diferencias entre los grupos estudiados. Se evaluó la capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* como variable independiente y su relación con las distintas dimensiones de manera significativa a un nivel del 5%.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Resultados.

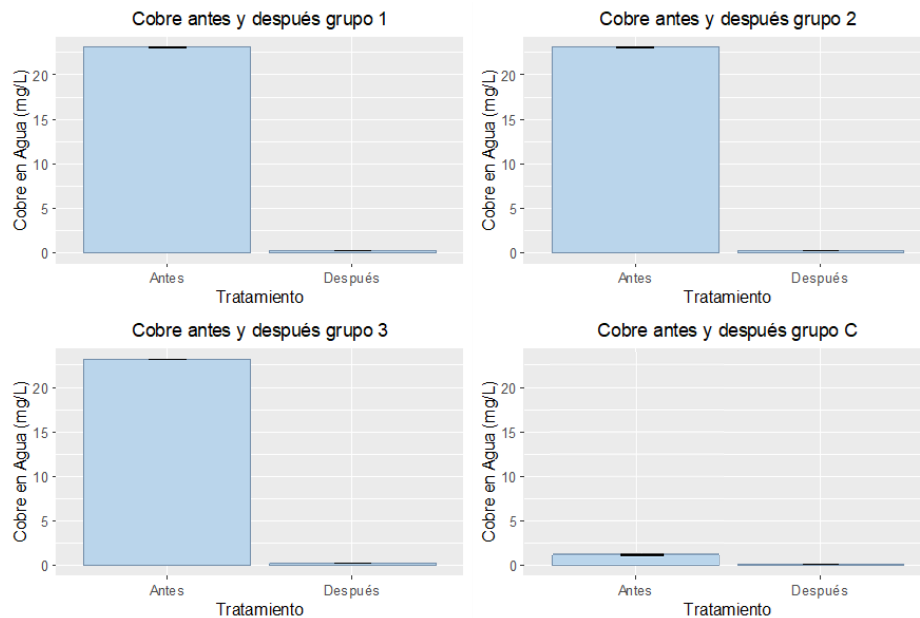
Para la presentación de resultados se estableció por grupos; las muestras trabajadas denominándose grupo 1= muestra 1, grupo 2= muestra 2, grupo 3= muestra 3 y Grupo C=muestra 4.

Las concentraciones de los metales en la muestra inicial son Cu = 23.160, Al =12.761, y Mn = 0.853, donde a continuación las figuras de los resultados se expresan por grupos.

DIMENSIÓN 1: CONCENTRACIÓN INICIAL Y FINAL DE METALES PESADOS (Cu, Mn y Al) EN AGUA.

Figura 8

Concentración de Cobre en agua en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cobre antes y después del tratamiento; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 3

Concentración de Cobre en agua en todos los grupos.

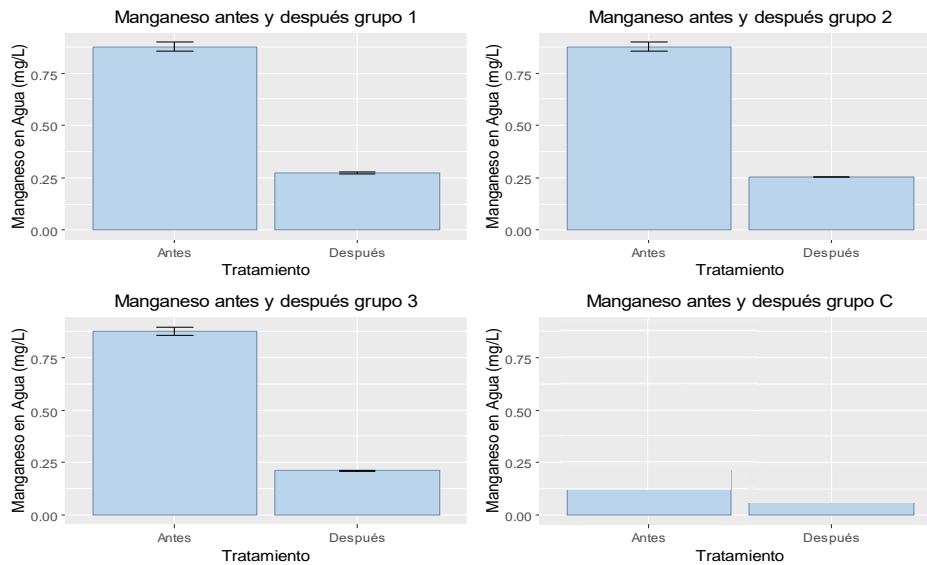
	Cobre antes del tratamiento (agua). mg/L	Cobre después del tratamiento (agua). mg/L
Grupo 1	23.160	0.321
Grupo 2	23.160	0.303
Grupo 3	23.160	0.251
Grupo C	1.300	0.081

Nota: Autoría propia.

Se observa que existen diferencias significativas entre la concentración de cobre en el agua antes y después del tratamiento. Después de aplicar la fitorremediación en los grupos, disminuyeron significativamente la concentración de metales presentes en el agua.

Figura 9

Concentración de Manganeso en agua en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de manganeso antes y después del tratamiento; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 4

Concentración de Manganeso en agua en todos los grupos.

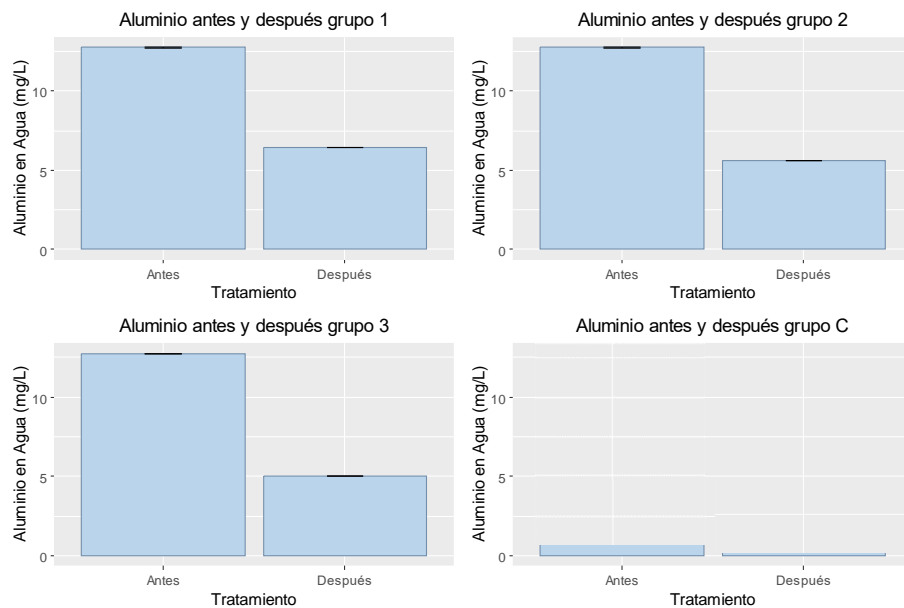
	Manganeso antes del tratamiento (agua). mg/L	Manganeso después del tratamiento (agua). mg/L
Grupo 1	0.853	0.268
Grupo 2	0.853	0.254
Grupo 3	0.853	0.209
Grupo C	0.200	0.190

Nota: Autoría propia.

Se observa que existen diferencias significativas entre la concentración de manganeso en el agua antes y después del tratamiento. Después de aplicar la fitorremediación en los grupos, disminuyeron la concentración de metales presentes en el agua.

Figura 10

Concentración de Aluminio en agua en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cantidad de aluminio antes y después del tratamiento; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 5

Concentración de Aluminio en agua en todos los grupos.

	Aluminio antes del tratamiento (agua). mg/L	Aluminio después del tratamiento (agua). mg/L
Grupo 1	12.761	6.425
Grupo 2	12.761	5.632
Grupo 3	12.761	5.022
Grupo C	0.300	0.020

Nota: Autoría propia.

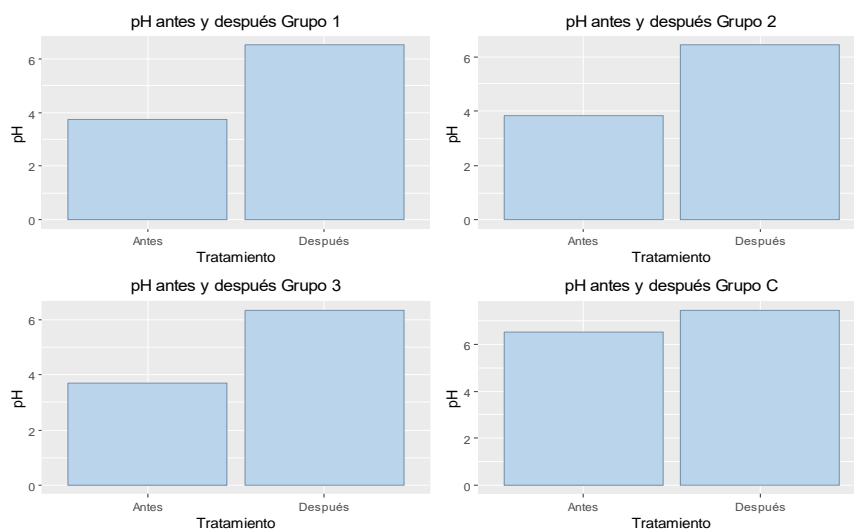
Se observa que existen diferencias significativas entre la concentración de aluminio en el agua antes y después del tratamiento. Después de aplicar la fitorremediación en los grupos, disminuyeron la concentración de metales presentes en el agua.

DIMENSIÓN 2. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS ANTES Y DESPUÉS EN EL AGUA.

Los parámetros fisicoquímicos en la muestra inicial son pH = 3.84, conductividad eléctrica = 520.25 y temperatura = 17.72, donde a continuación las figuras de los resultados se expresan por grupos.

Figura 11

pH promedio antes y después del tratamiento.



Nota: Esta figura representa la prueba de comparación de cantidad promedio antes y después del pH; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 6

pH promedio antes y después del tratamiento.

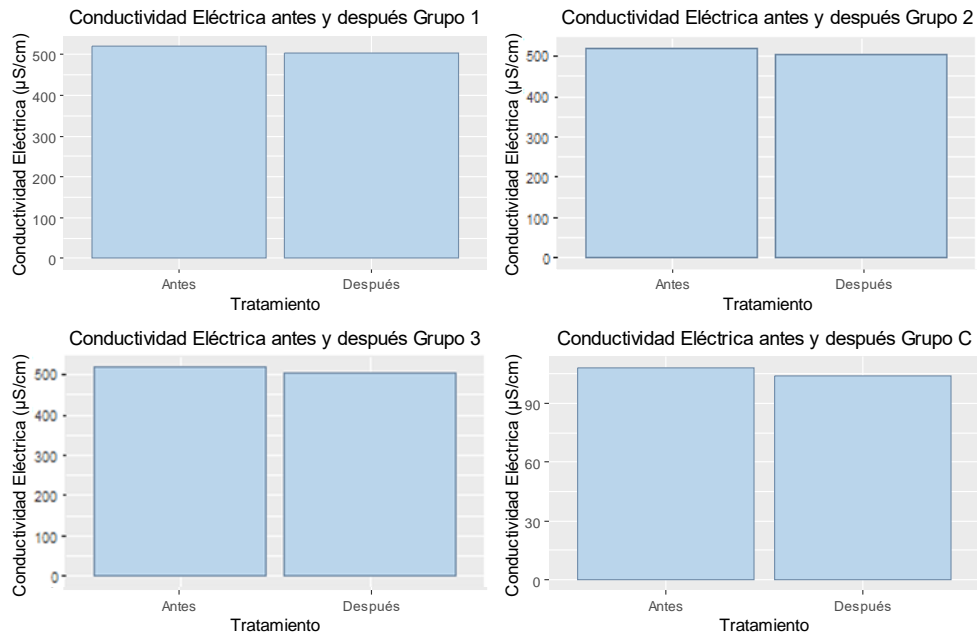
	pH antes del tratamiento (agua). (pH)	pH después del tratamiento (agua). (pH)
Grupo 1	3.84	6.51
Grupo 2	3.84	6.43
Grupo 3	3.84	6.35
Grupo C	6.61	7.46

Nota: Autoría propia.

Se observa que existen diferencias significativas en pH en el agua antes y después del tratamiento. Después de aplicar la fitorremediación en los grupos, disminuyó la acidez en el agua.

Figura 12

Conductividad Eléctrica antes y después del tratamiento.



Nota: Esta figura representa la prueba de comparación de antes y después de la Conductividad eléctrica; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 7

Conductividad Eléctrica antes y después del tratamiento.

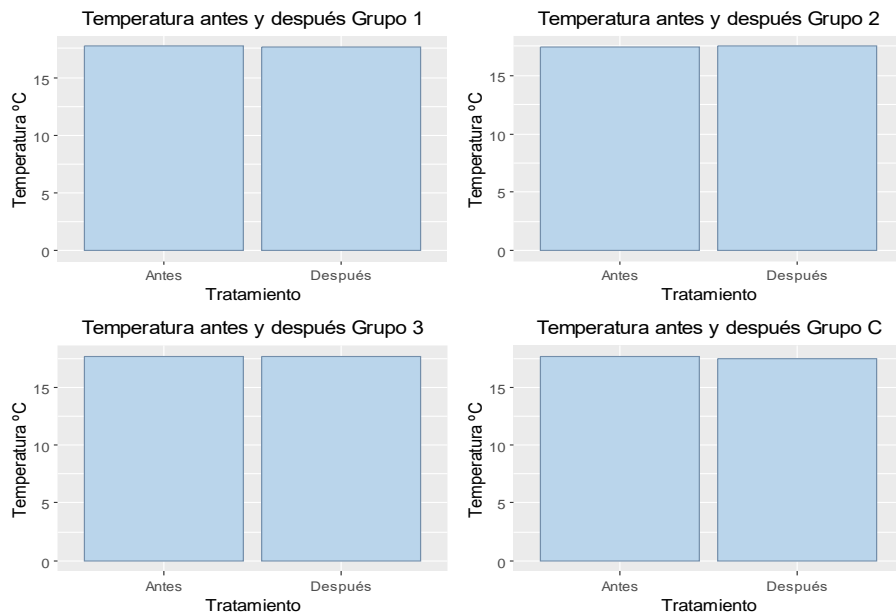
	Conductividad Eléctrica antes del tratamiento (agua). ($\mu\text{S/cm}$)	Conductividad Eléctrica después del tratamiento (agua). ($\mu\text{S/cm}$)
Grupo 1	520.25	503.31
Grupo 2	520.25	504.02
Grupo 3	520.25	501.22
Grupo C	108.38	104.31

Nota: Autoría propia.

Se observa que en la conductividad eléctrica si existe diferencia significativa siendo el grupo 1 el de mayor conductividad, mientras que el grupo C el de menor conductividad.

Figura 13

Temperatura antes y después del tratamiento.



Nota: Esta figura representa la prueba de comparación de antes y después de la temperatura; en el agua en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 8

Temperatura antes y después del tratamiento.

	Temperatura antes del tratamiento (agua). °C	Temperatura después del tratamiento (agua). °C
Grupo 1	17.72	17.65
Grupo 2	17.72	17.52
Grupo 3	17.72	17.64
Grupo C	17.41	17.50

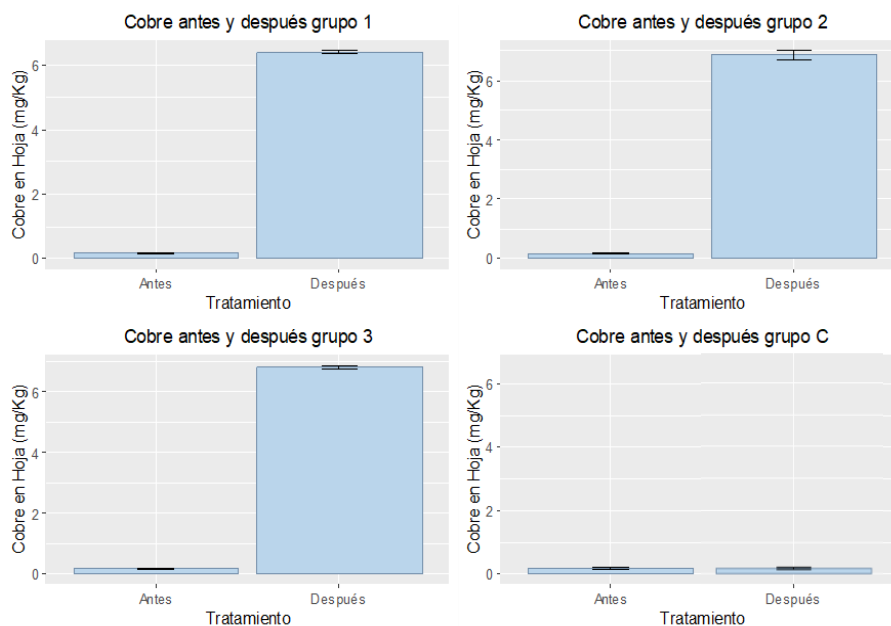
Nota: Autoría propia.

Se observa que en la temperatura no existe diferencia significativa, estadísticamente, este parámetro tiene medidas similares.

DIMENSIÓN 3: CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS (Cu, Mn y Al) EN RAÍCES Y PARTE AÉREA (HOJAS Y TALLOS).

Figura 14

Concentración de cobre en hoja en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cobre antes y después del tratamiento; en hoja en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 9

Concentración de cobre en hoja en todos los grupos.

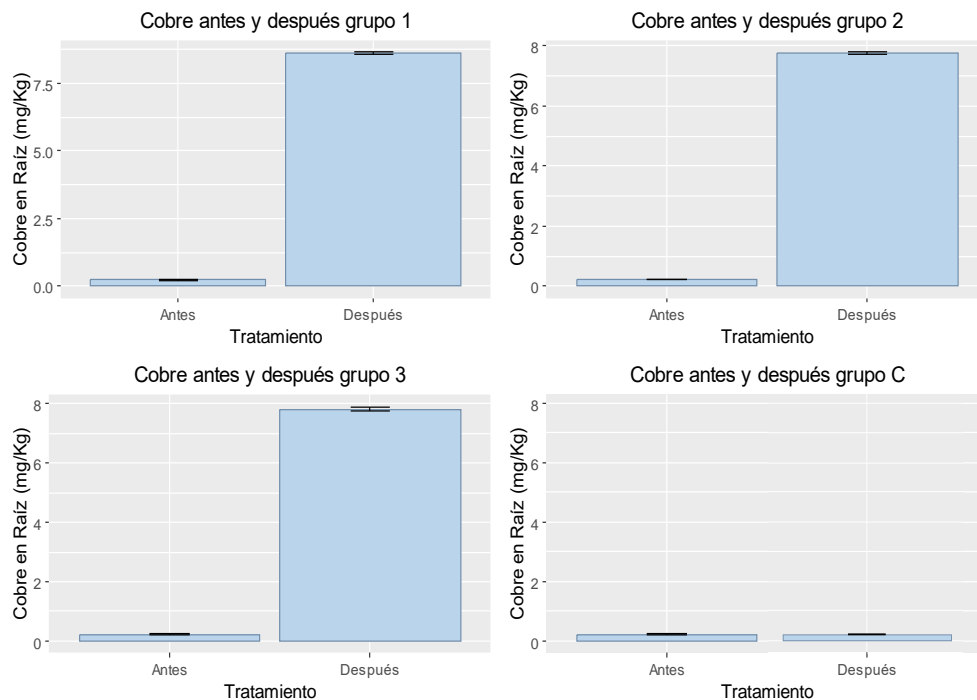
	Cobre antes del tratamiento (hoja). (mg/Kg)	Cobre después del tratamiento (hoja). (mg/Kg)
Grupo 1	0.15	6.33
Grupo 2	0.15	6.97
Grupo 3	0.15	6.80
Grupo C	0.15	0.15

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de cobre antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento los metales aumentaron en hoja. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 15

Concentración de cobre en raíz en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cobre antes y después del tratamiento; en la raíz en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 10

Concentración de cobre en raíz en todos los grupos.

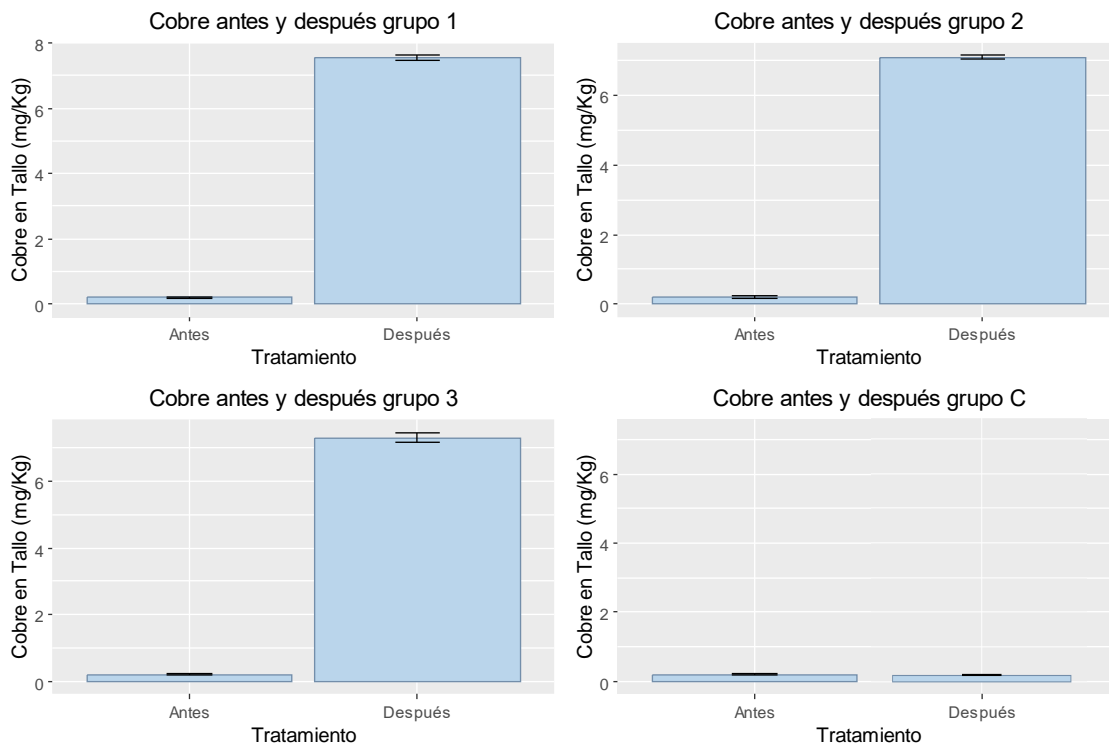
	Cobre antes del tratamiento (raíz). (mg/Kg)	Cobre después del tratamiento (raíz). (mg/Kg)
Grupo 1	0.22	8.61
Grupo 2	0.22	7.72
Grupo 3	0.22	7.77
Grupo C	0.22	0.22

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de cobre antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento, los metales aumentaron en raíz significativamente. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 16

Concentración de cobre en tallo en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cobre antes y después del tratamiento; en el tallo en el grupo 1, grupo 2, grupo3 y grupo C.

Tabla 11

Concentración de cobre en tallo en todos los grupos.

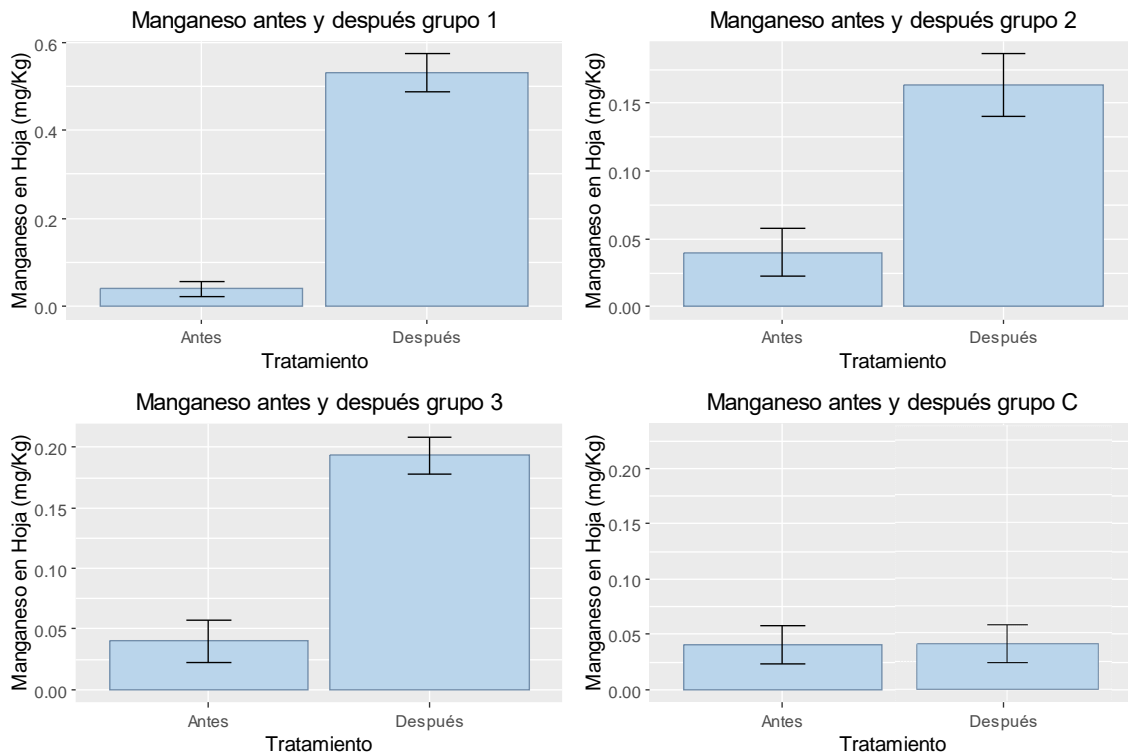
	Cobre antes del tratamiento (tallo). (mg/Kg)	Cobre después del tratamiento (tallo). (mg/Kg)
Grupo 1	0.19	7.52
Grupo 2	0.19	7.05
Grupo 3	0.19	7.23
Grupo C	0.19	0.19

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de cobre antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento los metales aumentaron en el tallo. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 17

Concentración de manganeso en hoja en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de manganeso antes y después del tratamiento; en el hoja en el grupo 1, grupo 2 , grupo3 y grupo C.

Tabla 12

Concentración de manganeso en hoja en todos los grupos.

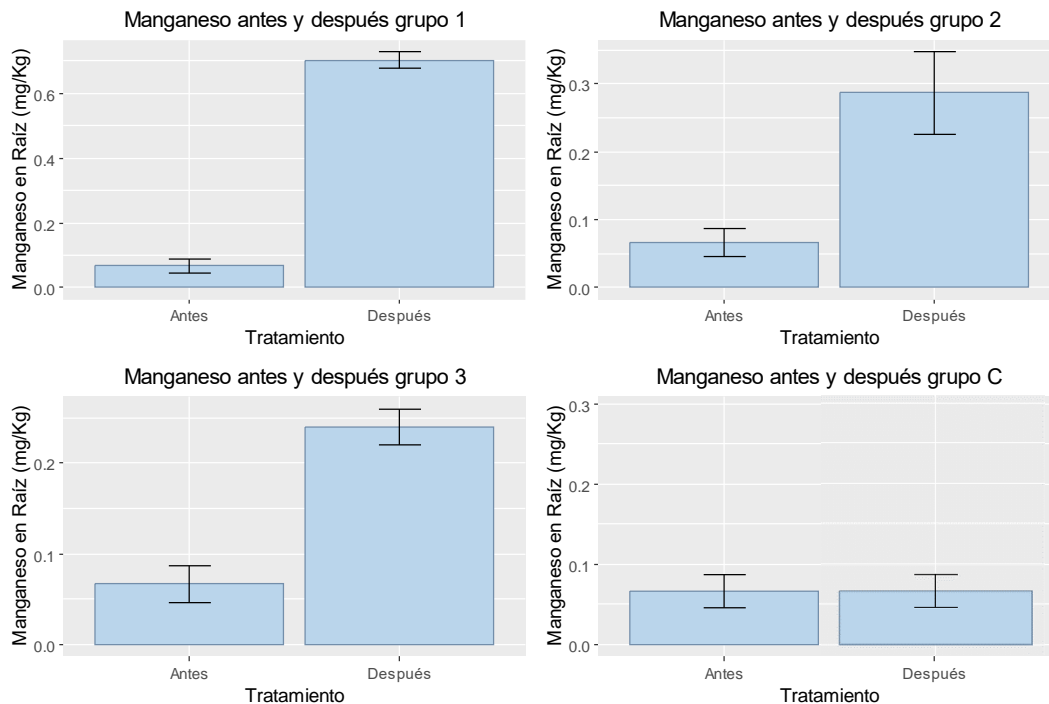
	Manganeso antes del tratamiento (hoja). (mg/Kg)	Manganeso después del tratamiento (hoja). (mg/Kg)
Grupo 1	0.02	0.56
Grupo 2	0.02	0.15
Grupo 3	0.02	0.19
Grupo C	0.02	0.02

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de manganeso antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3, se observa diferencias significativas; después del tratamiento, los metales aumentaron en hoja. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 18

Concentración de manganeso en raíz en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de manganeso antes y después del tratamiento; en el hoja en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 13

Concentración de manganeso en raíz en todos los grupos.

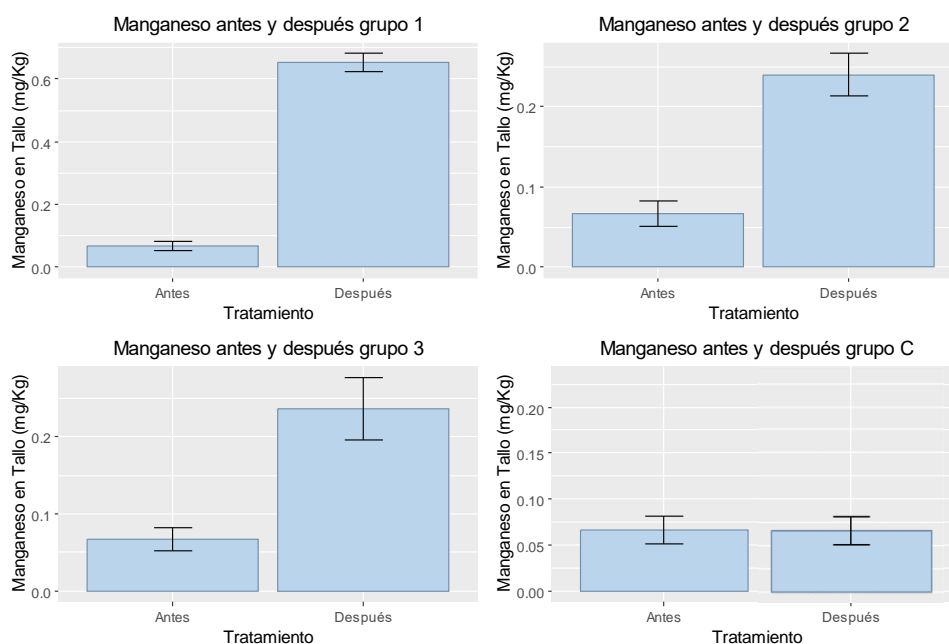
	Manganeso antes del tratamiento (raíz). (mg/Kg)	Manganeso después del tratamiento (raíz). (mg/Kg)
Grupo 1	0.05	0.70
Grupo 2	0.05	0.28
Grupo 3	0.05	0.24
Grupo C	0.05	0.05

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de manganeso antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento, los metales aumentaron en raíz. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 19

Concentración de manganeso en tallo en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de manganeso antes y después del tratamiento; en el tallo en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 14

Concentración de manganeso en tallo en todos los grupos.

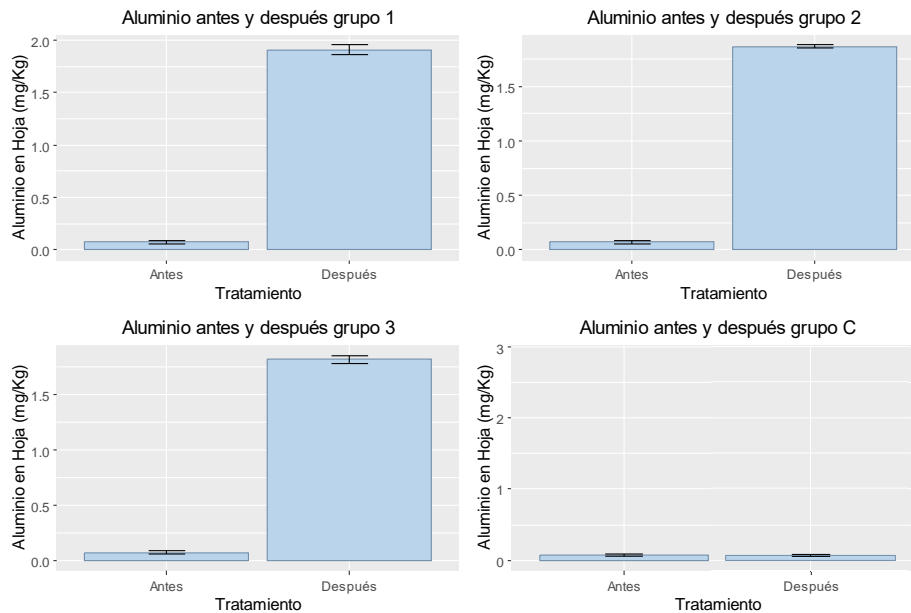
	Manganeso antes del tratamiento (tallo). (mg/Kg)	Manganeso después del tratamiento (tallo). (mg/Kg)
Grupo 1	0.08	0.62
Grupo 2	0.08	0.22
Grupo 3	0.08	0.20
Grupo C	0.08	0.08

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de manganeso antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento, los metales aumentaron en tallo. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 20

Concentración de aluminio en hoja en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de aluminio antes y después del tratamiento; en la hoja en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 15

Concentración de aluminio en hoja en todos los grupos.

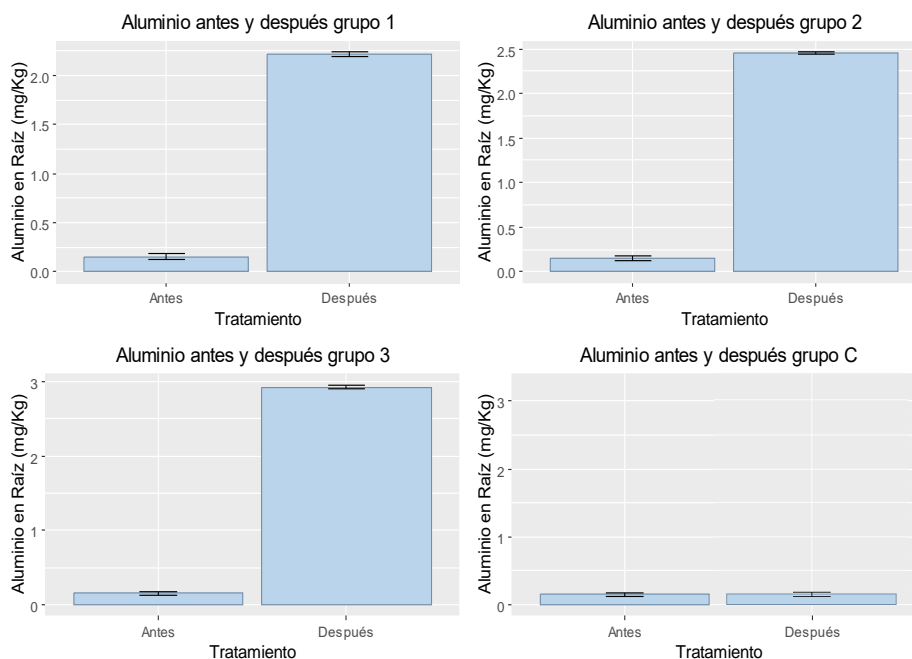
	Aluminio antes del tratamiento (hoja). (mg/Kg)	Aluminio después del tratamiento (hoja). (mg/Kg)
Grupo 1	0.07	1.90
Grupo 2	0.07	1.88
Grupo 3	0.07	1.79
Grupo C	0.07	0.07

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de aluminio antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento los metales aumentaron en hoja. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 21

Concentración de aluminio en raíz en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de aluminio antes y después del tratamiento; en la raíz en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 16

Concentración de aluminio en raíz en todos los grupos.

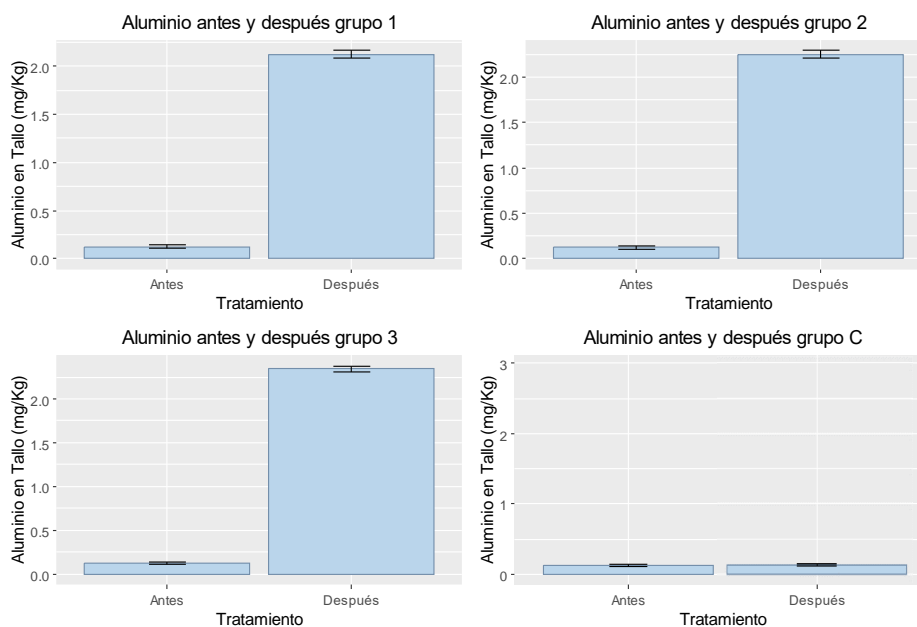
	Aluminio antes del tratamiento (raíz). (mg/Kg)	Aluminio después del tratamiento (raíz). (mg/Kg)
Grupo 1	0.18	2.24
Grupo 2	0.18	2.46
Grupo 3	0.18	2.90
Grupo C	0.18	0.18

Nota: Autoría propia.

Al analizar las concentraciones de aluminio antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento los metales aumentaron en raíz. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Figura 22

Concentración de aluminio en tallo en todos los grupos.



Nota: Esta figura representa la concentración de cantidad de aluminio antes y después del tratamiento; en el tallo en el grupo 1, grupo 2, grupo 3 y grupo C.

Tabla 17

Concentración de aluminio en tallo en todos los grupos.

	Aluminio antes del tratamiento (tallos). (mg/Kg)	Aluminio después del tratamiento (tallos). (mg/Kg)
Grupo 1	0.12	2.11
Grupo 2	0.12	2.25
Grupo 3	0.12	2.38
Grupo C	0.12	0.12

Nota: Autoría propia.

Al analizar concentraciones de aluminio antes y después del tratamiento en el grupo 1, grupo 2 y grupo 3 se observa diferencias significativas; después del tratamiento los metales aumentaron en raíz. Sin embargo, en el grupo control se observa que mantienen las concentraciones antes y después.

Tabla 18

Comparación con el ECA para agua Cat. 3 (antes y después).

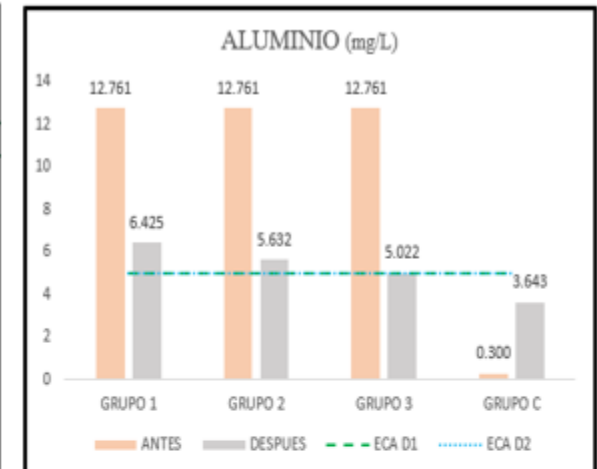
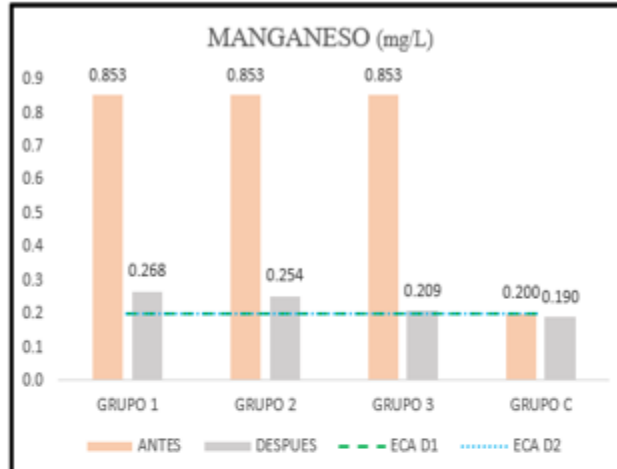
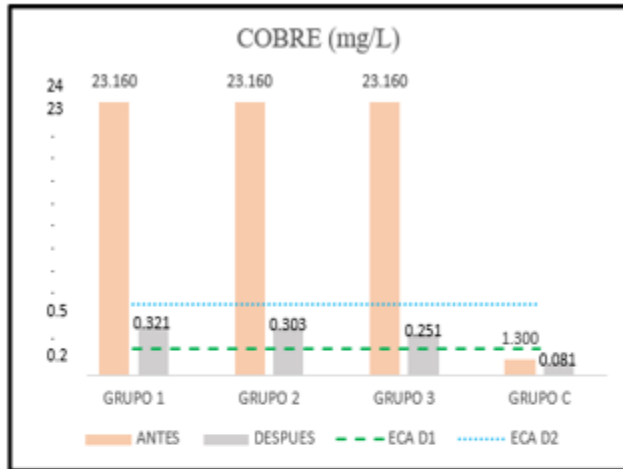
ECA: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales				Resultados								
Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales	Resultados (antes del tratamiento)				Resultados (después del tratamiento)			
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo C	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	Grupo C
Metales pesados.												
Cobre (Cu)	mg/L	0.2		0.5	23.160	23.160	23.160	1.300	0.321	0.303	0.251	0.081
Manganeso (Mn)	mg/L	0.2		0.2	0.853	0.853	0.853	0.200	0.268	0.254	0.209	0.190
Aluminio (Al)	mg/L	5		5	12.761	12.761	12.761	0.300	6.425	5.632	5.022	0.02
Fisicoquímicos.												
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 - 8.5		6.5 - 8.4	3.84	3.84	3.84	6.61	6.51	6.43	6.35	7.46
Conductividad	(µS/cm)	2500		5000	520.25	520.25	520.25	108.38	503.31	313.12	232.45	104.31
Temperatura	°C	Δ 3		Δ 3	17.72	17.72	17.72	17.41	17.65	17.52	17.64	17.50

Nota: ECA, Cat 3. – Elaboración propia.

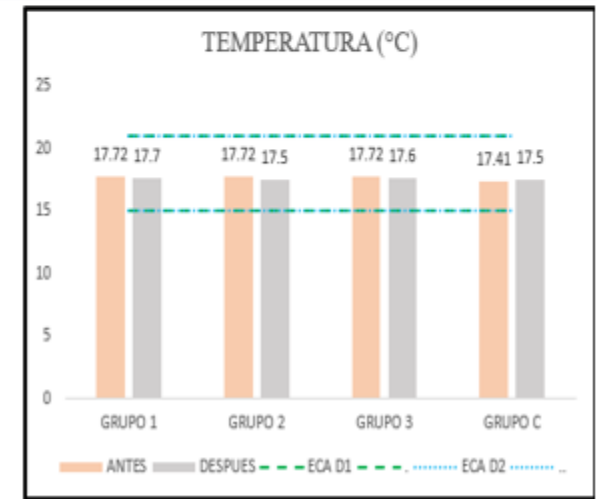
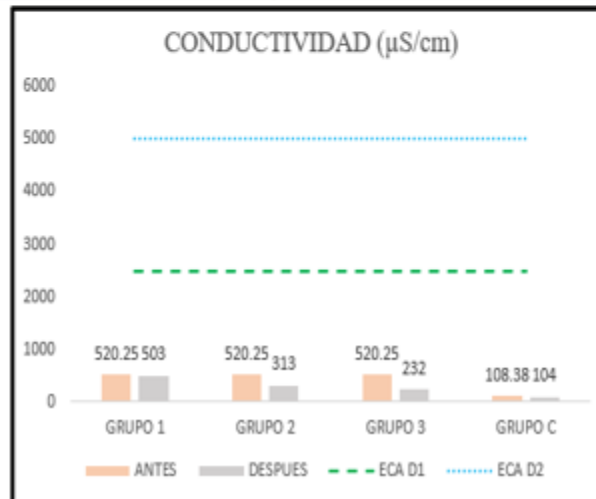
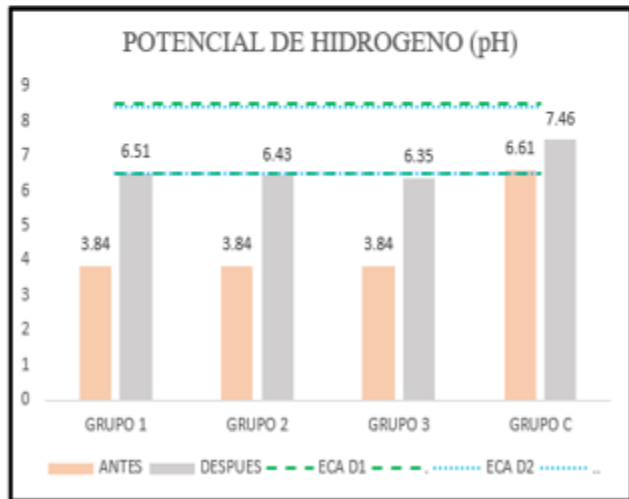
Figura 23

Comparación con el ECA para agua Cat. 3 (antes y después).

Metales pesados.



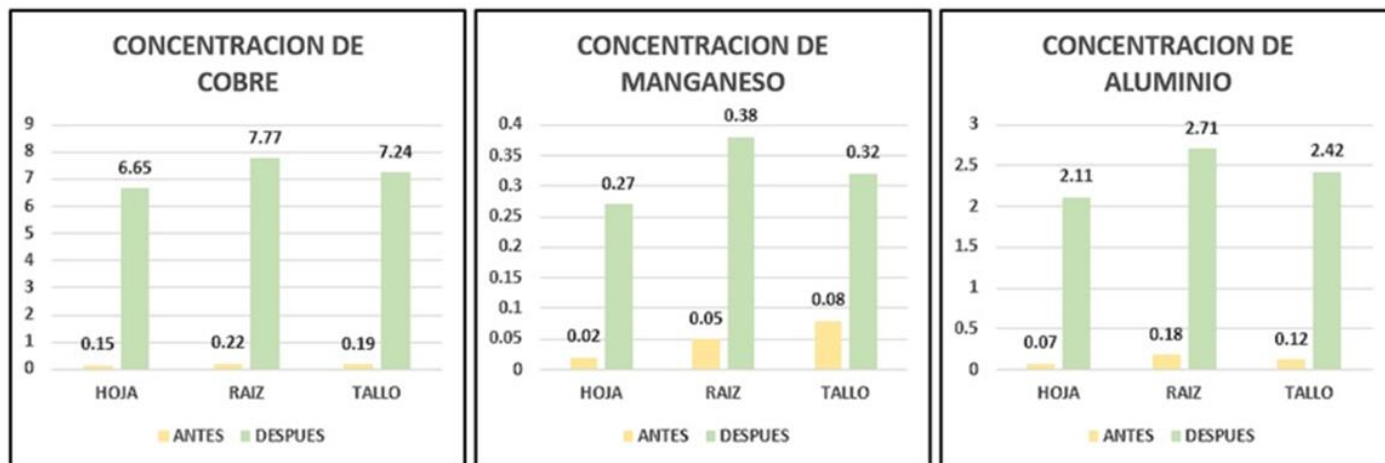
Fisicoquímicos.



Nota: ECA, Cat 3. – Elaboración propia.

Figura 24

Comparación resultados (antes y después) de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. en la raíz y parte aérea (hojas y tallos).



Nota: Autoría propia.

Tabla 19

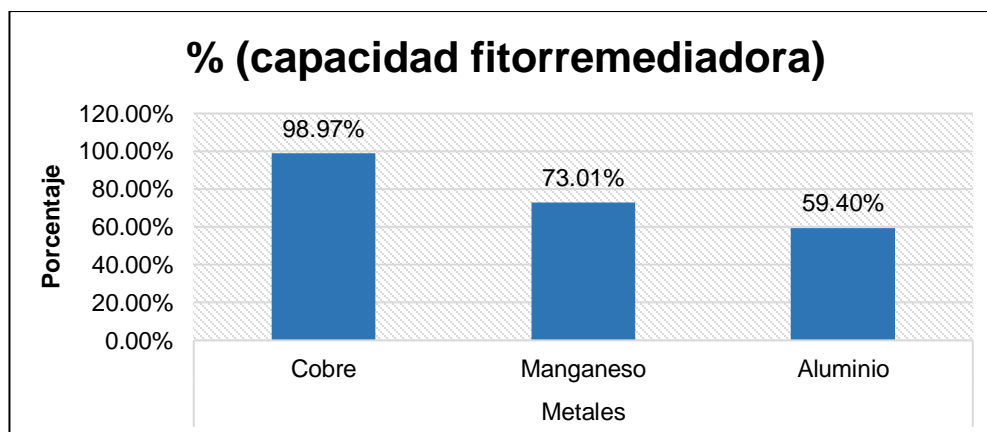
Porcentajes de capacidad fitorremediadora de especie.

Parámetros	Unidad de medida	Antes	Después	% (capacidad fitorremediadora)	
Metales	Cobre	mg/L	23.16	0.24	98.97%
	Manganeso	mg/L	0.85	0.23	73.01%
	Aluminio	mg/L	12.76	5.18	59.40%

Nota: Autoría propia.

Figura 25

Porcentajes de capacidad fitorremediadora de especie.



Nota: Autoría propia.

4.2 Discusión de resultados.

Diversas plantas acuáticas tienen mecanismos y tolerancia para las diferentes concentraciones y cada preferencia por cada metal pesado es particular (Valencia & Flórez, 2020). A pesar de que el mecanismo de absorción de cada elemento por *Hydrocotyle ranunculoides* L.f puede ser variado, se observó distintas concentraciones de cobre en hoja, raíz y tallo; en la figura 14, figura 15 y figura 16, al analizar las comparaciones múltiples de cobre después del tratamiento en la especie vegetal en el grupo 1 hoja (6.33), raíz (8.61) y tallo (7.52), grupo 2 hoja (6.97), raíz (7.72) y tallo (7.05), grupo control hoja (6.50), raíz (7.82) y tallo (7.17); se observa que las concentraciones de cobre aumentaron tanto en hoja, raíz y tallo. Estos resultados corroboran los de (Bokhari et al., 2016) con la afirmación de acumulación y absorción de cobre en la biomasa seca fue significativamente mayor a otros.

De acuerdo a la figura 17, figura 18 y figura 19, al analizar las comparaciones múltiples de manganeso después del tratamiento en la especie vegetal en el grupo 1 hoja (0.56), raíz (0.70) y tallo (0.62), grupo 2 hoja (0.15), raíz (0.28) y tallo (0.22) , grupo 3 hoja (0.19), raíz (0.24) y tallo (0.20) se observa que las concentraciones de manganeso aumentaron tanto en hoja, raíz y tallo; los resultados afirman con los autores (Zarazúa et al., 2016) analizaron el potencial fitorremediador de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f; los autores muestra la concentración promedio de los metales en ambas partes (aérea y sumergida) presentando la siguiente tendencia $Fe > Mn > Zn > Cu > Cr > Pb$.

En la figura 16, figura 17 y figura 18, al analizar las comparaciones múltiples de aluminio antes y después del tratamiento en el grupo 1 hoja (1.90), raíz (2.24) y tallo (2.11), grupo 2 hoja (1.88), raíz (2.46) y tallo (2.25), grupo 3 hoja (1.79), raíz (2.90) y tallo

(2.38) se observa diferencias; después del tratamiento, las concentraciones de aluminio aumentaron significativamente tanto en hoja, raíz y tallo. Estos resultados se apoyan (Aurangzeb et al., 2016) *E. crassipes* demostró ser el potencial fitorremediante para el cuerpo hídrico alterado ya que su eficiencia fue mayor progresivamente para Cd (82.8%), Cu (78.6%), As (74%), Al (73%) y Pb (73%).

Los resultados en este estudio mostraron un mayor potencial fitorremediador con la siguiente tendencia $Cu > Mn > Al$. Estos resultados concuerdan con los reportados por (Demarco et al., 2019) *H. ranunculoides* también mostró potencial de aplicación en la rizofiltración de S, Mg, Fe, Cu, Zn, Pb, Ni, V, Cr, Al, Mn y Cd, ya que exhibió un alto potencial para captar niveles más altos en las raíces.

Se observa que existen diferencias altamente significativas entre las concentraciones de metales de Cu, Mn y Al en agua antes y después de los tratamientos. En los diferentes grupos después de aplicar el tratamiento las concentraciones de metales en agua.

4.3 Prueba de hipótesis.

Hipótesis general:

La especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* presenta capacidad fitorremediadora en aguas contaminadas por metales pesados (Cu, Mn y Al); de la quebrada Pacchantay.

Al final del estudio, se observa que la *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* presenta capacidad fitorremediadora en aguas contaminadas por metales pesados (Cu, Mn y Al); de la quebrada Pacchantay.

Hipótesis específica 1:

H₀: La concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Al, Mn) en el agua no es variable por el método espectroscopía de absorción atómica, del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay.

H₁: La concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Al, Mn) en el agua es variable por el método espectroscopía de absorción atómica, del tratamiento experimental en el laboratorio, de las aguas de la quebrada Pacchantay.

Tabla 20

Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples de Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua.

Medidas	Metales	Test diferencia de medias (antes-después)	Tukey		
			Tratamientos	Media	Grupos
Grupo 1	Cobre	F=2842459.5	Antes	23.140	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.312	b
	Manganeso	F=2405.4	Antes	0.876	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.272	b
	Aluminio	F=292490.5	Antes	12.740	a
		Pvalue=0.000***	Después	6.423	b
Grupo 2	Cobre	F=3319876.4	Antes	23.140	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.302	b
	Manganeso	F=2623.6	Antes	0.876	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.253	b
	Aluminio	F=373976.7	Antes	12.740	a
		Pvalue=0.000***	Después	5.632	b
Grupo 3	Cobre	F=3319856.1	Antes	23.140	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.253	b
	Manganeso	F=3012.1	Antes	0.876	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.210	b
	Aluminio	F=398725.4	Antes	12.740	a
		Pvalue=0.000***	Después	5.029	b
Grupo C	Cobre	F=3333849.4	Antes	23.140	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.084	b
	Manganeso	F=3145.6	Antes	0.876	a
		Pvalue=0.000***	Después	0.193	b
	Aluminio	F=602587.9	Antes	12.740	a
		Pvalue=0.000***	Después	3.643	b

Nota: Esta tabla representa el resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples de Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua.

En la tabla 20, que existen diferencias altamente significativas entre la cantidad de metales en agua antes y después de los tratamientos. Según la prueba de Tukey, en los diferentes grupos después de aplicar el tratamiento la cantidad de metales en agua se redujo significativamente.

Tabla 21

Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en todos los grupos (inicial y final en los demás grupos).

Metales	Test diferencia de medias	Tukey		
		Tratamientos	Media	Grupos
Cobre	F=2780305.4	Inicial	23.140	a
		Final-G1	0.312	b
		Final-G2	0.302	b
	Pvalue=0.000***	Final-G3	0.253	c
		Final-GC	0.084	d
Manganeso	F=2690.5	Inicial	0.876	a
		Final-G1	0.272	b
		Final-G2	0.253	b
	Pvalue=0.000***	Final-G3	0.210	c
		Final-GC	0.193	c
Aluminio	F=401903.3	Inicial	12.740	a
		Final-G1	6.423	b
		Final-G2	5.632	c
	Pvalue=0.000***	Final-G3	5.029	d
		Final-GC	3.643	e

Nota: Esta tabla representa el resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples de Concentración inicial y final de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua.

En la tabla 21, se observa diferencias altamente significativas entre la cantidad de metales (cobre, manganeso y aluminio) al inicio y final de tratamientos. Se observa una disminución significativa de los metales en los diferentes grupos.

Como el Pvalue es menor que 0.05, se rechaza H₀, existen suficientes evidencias estadísticas para afirmar que la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua es variable antes y después del tratamiento.

Hipótesis específica 2:

H₀: Los parámetros físicos (pH, conductividad y temperatura) del agua antes y después del tratamiento experimental en el laboratorio no es variable.

H₁: Los parámetros físicos (pH, conductividad y temperatura) del agua antes y después del tratamiento experimental en el laboratorio es variable.

Tabla 22

Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en los parámetros físicos antes y después en el agua.

Metales	Test diferencia de medias	Tukey		
		Tratamientos	Media	Grupos
TEMPERATURA	F=0.1521	Grupo 3	17.535	a
		Grupo C	17.531	a
	Pvalue=0.9281	Grupo 2	17.521	a
		Grupo 1	17.501	a
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	F=89981.243	Grupo 1	516.773	a
		Grupo 2	317.650	b
	Pvalue=0.000***	Grupo 3	234.136	c
		Grupo C	106.309	d
pH	F=61.429	Grupo C	7.014	a
		Grupo 1	5.075	b
	Pvalue=0.000***	Grupo 2	5.050	b
		Grupo 3	4.817	b

Nota: Esta tabla representa el resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en los parámetros físicos antes y después en el agua.

De la tabla 22, se observa que en la temperatura no existe diferencia significativa, estadísticamente, este parámetro tiene medidas similares. En la conductividad eléctrica si existe diferencia significativa ($Pvalue < 0.05$), siendo el grupo 1 el de mayor conductividad, mientras que el grupo C el de menor conductividad. En el pH, existe diferencia significativa entre el Grupo C y los otros grupos, el pH en el grupo C es estadísticamente superior a los demás.

Hipótesis específica 3:

H₀: La concentración de metales pesados en raíz y parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. al final del tratamiento experimental en el laboratorio es variable de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay.

H₁: La concentración de metales pesados en raíz y parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. al final del tratamiento experimental en el laboratorio es variable después de la fitorremediación de las aguas contaminadas de la quebrada Pacchantay, Tapairihua – Aymaraes - Apurímac 2022.

Tabla 23

Resumen de pruebas de diferencias de medias y prueba Tukey de comparaciones múltiples en todos los grupos (antes y después).

Medidas	Metales	Test diferencia de medias (Todos los grupos)	Tukey		
			Tratamientos	Media	Grupos
Hydro - A (Hoja)	Cobre	F=5358.837 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo 2	8.610	a
			Hydro - Grupo 3	7.547	b
			Hydro - Grupo C	6.860	c
			Hydro - Grupo 1	6.393	d
			Hydro - A	0.173	e
	Manganeso	F=318.821 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo 2	0.703	a
			Hydro - Grupo 3	0.653	a
			Hydro - Grupo 1	0.530	b
			Hydro - Grupo C	0.163	c
			Hydro - A	0.040	d
	Aluminio	F=2387.591 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo 2	2.213	a
			Hydro - Grupo 3	2.123	b
			Hydro - Grupo 1	1.910	c
			Hydro - Grupo C	1.867	c
			Hydro - A	0.073	d
Hydro - A (RAÍZ)	Cobre	F=10297.287 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo C	7.817	a
			Hydro - Grupo 1	7.757	a
			Hydro - Grupo 2	7.100	b
			Hydro - Grupo 3	6.803	c
			Hydro - A	0.227	d
	Manganeso	F=19.716	Hydro - Grupo 1	0.287	a
			Hydro - Grupo 2	0.240	ab

		Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo C	0.240	ab
			Hydro - Grupo 3	0.193	b
			Hydro - A	0.067	c
	Aluminio	F=3283.772 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo C	2.930	a
			Hydro - Grupo 1	2.453	b
			Hydro - Grupo 2	2.247	c
Hydro - Grupo 3			1.823	d	
			Hydro - A	0.150	e
Hydro - A (TALLO)	Cobre	F=4928.329 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo 3	7.837	a
			Hydro - Grupo 1	7.300	b
			Hydro - Grupo C	7.167	b
			Hydro - Grupo 2	6.530	c
			Hydro - A	0.207	d
	Manganeso	F=31.871 Pvalue=0.000***	Hydro - Grupo 3	0.273	a
			Hydro - Grupo 1	0.237	ab
			Hydro - Grupo C	0.227	ab
			Hydro - Grupo 2	0.203	b
			Hydro - A	0.067	c
	Aluminio	F=6937.328 Pvalue=0.000****	Hydro - Grupo 3	3.22	a
			Hydro - Grupo C	2.93666667	b
			Hydro - Grupo 2	2.84666667	c
			Hydro - Grupo 1	2.34	d
Hydro - A			0.12333333	e	

Nota: Autoría propia

Como el Pvalue es menor que 0.05, se rechaza H0, existen suficientes evidencias estadísticas para afirmar que la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíz y parte aérea (hojas y tallos) es variable antes y después del tratamiento.

CONCLUSIONES.

- Se determinó la capacidad fitorremediadora de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* en aguas contaminadas por metales pesados (Cu, Mn y Al) de la quebrada Pacchantay concluyendo que *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* después del tratamiento tiene mayor capacidad fitorremediadora para el metal pesado Cu (98.97%) > Mn (73.01%) > Al (59.40%).
- Se determinó la concentración de metales pesados (Cu, Mn y Al) en raíz y parte aérea (hojas y tallos) de *Hydrocotyle ranunculoides L. f.* al final del tratamiento experimental en el laboratorio, donde se observó concentraciones de metales pesados (Cu, Mn y Al) en la parte de hojas y tallos y mayores concentraciones de metales pesados (Cu, Mn y Al) en la raíz de la especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.*
- Se determinó la concentración inicial y final de los metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua por el método espectroscopía de absorción atómica, donde se observa que redujo significativamente las concentraciones de metales (Cu, Al, Mn) pesados después del tratamiento de fitorremediación con la especie *Hydrocotyle ranunculoides L. f.*
- Se determinaron los parámetros fisicoquímicos del agua, tales como pH, conductividad eléctrica y temperatura. Se concluyó que la temperatura del agua se mantuvo estable antes y después del proceso de fitorremediación. En cuanto a la conductividad eléctrica, se observaron diferencias en todos los grupos analizados. Por último, se encontró una diferencia significativa en el parámetro de pH antes y después de la fitorremediación.

RECOMENDACIONES.

- Para tratar aguas contaminadas con cobre, se propone la implementación de sistemas de humedales artificiales utilizando la especie *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. Esta especie ha demostrado ser efectiva en la eliminación de contaminantes de metales pesados en el agua y su uso en sistemas de humedales artificiales puede contribuir a la recuperación de ecosistemas afectados por la contaminación con cobre.
- Se propone realizar una evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. frente a la presencia de metales pesados (Cu, Mn y Al) en el agua, además del cobre. Esta evaluación permitirá conocer el potencial de la especie para eliminar otros metales pesados (Cu, Mn y Al) del agua y determinar su efectividad como herramienta de recuperación ambiental en ecosistemas contaminados con diferentes tipos de metales pesados (Cu, Mn y Al).
- Se recomienda seguir la misma metodología utilizada en este estudio y llevar a cabo pruebas adicionales con otras especies de plantas acuáticas. Esto permitirá ampliar el conocimiento sobre la capacidad de diferentes plantas para eliminar contaminantes del agua, lo cual es esencial para la selección de la especie más adecuada en función de las condiciones específicas de cada ecosistema contaminado.
- La carrera profesional de ingeniería ambiental y recursos naturales debería estar equipada con los instrumentos y equipos de análisis necesarios para llevar a cabo este tipo de investigaciones.

ASPECTOS ADMINISTRATIVOS

Recursos

Recursos humanos

- Tesista
- Asesor

Recursos tecnológicos

- Laptop
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- GPS
- Software

Cronograma de actividades.

Nombre del proyecto		CAPACIDAD FITORREMIADORA De <i>Hydrocotyle Ranunculoides L. f.</i> EN AGUAS CONTAMINADAS POR METALES PESADOS DE LA QUEBRADA PACCHANTAY, TAPAIRIHUA - AYMARAES - APURÍMAC, 2022.																															
N°	Actividades	Duración en meses y semanas																															
		Jul 2022				Agos 2022				Set 2022				Oct 2022				Nov 2022				Dic 2022				Ene 2023				Feb 2023			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
1	Revisión bibliográfica	█																															
2	Recopilación de información para la propuesta de investigación			█																													
3	Definición del título de investigación			█																													
4	Descripción de la realidad problemática					█																											
5	Elaboración del cuadro de operacionalización de variables							█																									
6	Formulación del problema de la investigación y objetivos									█																							
7	Búsqueda de los antecedentes de la investigación											█																					
8	Búsqueda de las Bases teóricas												█																				
9	Metodología de la investigación														█																		
10	Recolección de la especie <i>Mateccllo</i> del sector Bancapata														█																		

Presupuesto y financiamiento

Presupuesto

N°	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	TOTAL, S/
1. Equipos y bienes				
1.1.	Alquiler de GPS	1	50.00	50.00
2. Servicios				
2.1.	Análisis de laboratorio	44	90.90	4000.00
3. Insumos y materiales del laboratorio				
3.1.	Solución A y Solución B.	1 de cada 1	76.00	76.00
3.2.	Guantes de nitrilo	1 paquete	60.00	60.00
3.3.	Gotero	02	2.50	5.00
3.4.	Papel tisú	03	3.00	3.00
4. Materiales de campo				
4.1.	Frasco polietileno HD de1L	6	7.00	42.00
4.2.	Cooler de 50 litros	1	140.00	140.00
4.3.	Bolsita ziploc	1 paquete	30.00	30.00
4.4.	Galonera	01	25.00	25.00
4.5.	Papel Kraft	10	0.50	5.00
4.6.	Plumón de tinta indeleble.	1	3.00	3.00
4.7.	Regla	1	1.00	1.00
5. Materiales para la construcción del sistema hidropónico y fitorremediación.				
5.1.	Cubetas de vidrio para las muestras de agua	6	50.00	300.00
5.2.	Mini bomba de agua	3	50.00	150.00
5.3.	Manguerilla para pecera	12 m	3.00	36.00
5.4.	Piedra Difusora	6	6.00	36.00
5.5.	Interruptor	1	30.00	30.00
5.6.	Tapones de 3"PVC	8	4.00	32.00
5.7.	Tubo de 3"PVC	1	45.00	45.00
5.8.	Adaptador UPR ½ PVC	7	2.50	17.50
5.9.	Codos de ½ PVC S/R	9	2.50	22.50
5.10.	Unión C/R. ½ PVC	4	3.00	12.00
5.11.	Juego broca capacierra	1	22.00	22.00
5.12.	Tubo de ½ S/R	1	20.00	20.00
5.13.	Balde de 10 Litros	1	10.00	10.00
6.Salida a campo				
6.1.	Ayudante (salida de campo)	1	45.00	45.00
6.2.	Viáticos	2	15.00	30.00
6.3.	Pasajes rural y urbano	4	20.00	80.00
TOTAL				5,225.00

Nota: Autoría propia.

Financiamiento

La presente investigación recibió cofinanciamiento de la UTEA gracias al concurso de proyectos de investigación llevado a cabo en 2019, así como una contribución adicional de contrapartida.

BIBLIOGRAFÍA.

- Aguilar, S. O., & Navarro, A. B. (2018). *Evaluación de la calidad de agua para consumo humano de la comunidad de Llañucancha del distrito de Abancay, provincia de Abancay.*
- Aldana, A. E. (2014). Remoción de aluminio en aguas residuales industriales usando especies macrófitas: una aplicación para el pasto vetiver.
- Ambiente, A. A. (2011). Minería aurífera en Madre de Dios y contaminación con mercurio.
- ANA, A. N. (2017). *Monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del Río Pachachaca.*
- ANA, A. N. (2019). *Monitoreo participativo de la calidad del agua de la cuenca del Río Pachachaca.*
- Aurangzeb, N., Nisa, S., Bibi, Y., Javed, F., & Hussain, F. (2014). "Potencial de fitorremediación de hierbas acuáticas a partir de efluentes de fundición de acero" *Haripur - Pakistán. . Revista Brasileña de ingeniería química.*
- Ávila, J., & Genescá, J. (2013). *Más allá de la herrumbre 1. Fondo de cultura económica.*
- Barbado, J. L. (2005). *Hidroponía. Su empresa en cultivos en agua.* Editorial Albatros SACI.
- Beltrán, P. M., & Gómez Rodríguez, A. M. (2016). *Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión.* Revista Facultad de Ciencias Básicas.

- Bokhari, S. H., Ahmad, I., -Hassan, M. M.-U., & Mohammad, A. (2016). *Potencial de fitorremediación de Lemna Minor para metales pesados*, Islamabad, Pakistán. Revista internacional de fitorremediacion.
- Bravo, B. J. (2009). *Contaminantes emergentes en el agua*.
- Cano, S. E. (2012). Contaminación con mercurio por la actividad minera. *Biomédica*, 3.
- Castrillón, T. V., & Navarro, A. L. (2017). Evaluación de la Fitorremediación como Alternativa para el Tratamiento de Aguas Residuales.
- Castro, G. E. (2020). *Efecto del quelato (EDTA) en la fitorremediación de un suelo contaminado por plomo, con Urtica urens en La Oroya*, .
- Chávez, V. J. (2018). *Calidad del agua y desarrollo sostenible*. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública.
- Chugden, R. N., & Verastegui, O. R. (2020). *Evaluación de la eficiencia de las plantas acuáticas totora y carrizo en la absorción y remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito Namora – Cajamarca*.
- Corona, L. J. (2013). *Contaminación antropogénica en el lago de Maracaibo, Venezuela*. Biocenosis.
- De Souza, D. M., Da Silva, J., Ludwig, L., Petersen, b., Brehm, F., Espinosa Modolo, R., Moraes, C. (2023). *Estudio del potencial fitorremediador de especies de plantas nativas identificadas en un área contaminada por compuestos orgánicos volátiles: una revisión sistemática*. International Journal of Phytoremediation, 1-18.

- Delgadillo, Evelin, L. A., González Ramírez, C. A., Prieto García, F., Villagómez Ibarra, J. R., & Acevedo Sandoval, O. (2011). *Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación*. Tropical and subtropical agroecosystems.
- DIGESA. (2018). Fichas técnicas del grupo de uso grupo nº 3: riego de vegetales y bebida de animales.
- Domínguez, G. M. (2015). *La contaminación ambiental, un tema con compromiso social*. Producción limpia.
- Fanego, H. S., & Carabeo Pérez, V. (2017). Empleo de técnicas de alta precisión en la industria azucarera para el análisis de mieles finales. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA)*, 55.
- Ferré, H. N., Schuhmacher, M., Llobet, J., & Domingo, J. (2007). *Metales pesados y salud*. Mapfre Seguridad.
- Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. *Observatorio Medioambiental*, 11, 301-305. Recuperado el 23 de 06 de 2022, de Observatorio Mediambiental.: <https://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/view/OBMD0808110301A>
- Fréry, N., Maury, Brachet, R., Maillot, E., Deheeger, M., Mérona, B., & Boudou, A. (2001). Actividades de extracción de oro y contaminación por mercurio de las comunidades amerindias nativas en la Guayana Francesa: papel clave del pescado en la ingesta dietética. *Perspectivas de salud ambiental*.
- Garduño, T. F. (2011). *Modelo de producción de forraje verde mediante hidroponía*.

- Ginez, C. P. (2021). *Reducción de la contaminación de agua mediante aireación y cosecha de Lenteja en la Bahía interior del Lago Titicaca, Puno.*
- González, D., & Zapata, O. (2008). Mecanismos de tolerancia a elementos potencialmente tóxicos en plantas. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*(82), 53-61. Recuperado el 24 de Junio de 2022, de
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2009). *Metodología de la Investigación.* Álvaro Obregón: Mc Graw-Hill.
- Huamán, J., & Rumaja, A. (2017). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales *Nasturtium officinale* W. T. Aiton (Berro) E *Hydrocotyle ranunculoides* L. f. (Mateccllo) En relación a la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones. (*Tesis de Pregrado*). Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Cusco.
- Huamán, T. J., & Rumaja, S. A. (2017). *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de las especies vegetales Nasturtium officinale WT Aiton (Berro) e Hydrocotyle ranunculoides L. f.(Mateccllo) en relación con la contaminación con mercurio a diferentes concentraciones.*
- Irigo, A. P. (2010). *Estudio de viabilidad de un proyecto de producción de lechugas hidropónicas en el sudoeste de la provincia de Córdoba.*
- Jiménez, H. M., Grijalva Endara, A., & Ponce Solórzano, H. X. (2020). *Plasma acoplado inductivamente en espectroscopia de emisión óptica (ICP-OES).* Artículos de Revisión.

- Lapeña, M. R. (1989). *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Vol. 27. Marcombo.
- León, P. D., & Peñuela, M. G. (2011). Trascendencia del metilmercurio en el ambiente, la alimentación y la salud humana. *SciELO*, 110.
- Ley de aguas nacionales. (29 de abril de 2004). Ley de aguas nacionales. *Diario oficial de la federación*. México.
- López, L. M., & Escoto, G. F. (2007). *Metales Pesados y Biorremediación*.
- Marín, G. R. (2019). *Fisicoquímica y microbiología de los medios acuáticos: tratamiento y control de calidad de aguas*. Ediciones Díaz de Santos.
- Martinez Manchego, L. A. (2018). *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de fitorremediación*.
- Martínez, G. M. (2020). *Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA)*.
- Mazón, R. P. (2018). *Especiación del manganeso presente en material particulado en las proximidades de una planta de producción de ferroaleaciones de manganeso*.
- Medina, M. K., & Montano, C. Y. (2014). Determinación del factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Stapf, de áreas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alianza-Ancash 2013.

- Mendieta, C., & Taisigüe, K. (2014). Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación. (*Trabajo de Investigación*). Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, Managua. Obtenido de
- Mera, P. S. (2016). *Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrofitas acuáticas (Eichhornia crassipes y Lemna spp) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo.*
- Merino, R. P. (2011). *El agua, alimento vital para sus células.* Palibrio.
- MINAM. (2017). *Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.* Ministerio del Ambiente - MINAM.
- MINAM, M. d. (2017). *Estándares de calidad ambiental para agua: Categoría 3: Riego de vegetales y bebida.* Lima.
- MINSA. (2020). *Cerro de Pasco: ¿Capital minera de la muerte?* Lima: Parthenon.
- Mishra, V. K., & Tripathi, B. (2008). *Eliminación y acumulación simultáneas de metales pesados por los tres macrófitos acuáticos.* Tecnología de biorecursos.
- Molina, G. A., & Tigreros, G. J. (2005). Evolución preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del Municipio de Arauca. *Sede Orinoquía, 70.*

- Monsalve, O., & Gómez, L. M. (2020). Diseño de modelo para monitorear sensores de temperatura y humedad en neveras HACEB en tiempo real y prevenir fallas funcionales.
- Navarro, A. J., Aguilar, A. I., & López, M. J. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*, 12.
- Nordberg, G. (2017). *Metales: Propiedades químicas y toxicidad productos químicos*.
- Núñez, L. R., Meas Vong, Y., Ortega Borges, R., & Olgún, E. J. (2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*, 69.
- OMS. (2009). *Salud ambiental básica*. La Habana: Editorial Ciencias Médicas.
- OMS, O. M. (2017). *Las consecuencias de contaminación ambiental: 1,7 millones de defunciones infantiles anuales, según la Organización Mundial de la Salud*. Centro de prensa - Comunicados de prensa.
- Paisio, C. E., González, P. S., Talano,, M. A., & Agostini, E. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 117.
- Posada, M. I., & Arroyave, M. (Diciembre de 2006). EFECTOS DEL MERCURIO SOBRE ALGUNAS PLANTAS ACUÁTICAS TROPICALES. *Revista EIA*, 57-67.
Recuperado el 24 de Junio de 2022, de
- Raimann, X., Rodríguez O, L., Chávez, P., & Torrejón, C. (2014). Mercurio en pescados y su importancia en la salud. *Revista médica de Chile*, 1175.

- Reyes, T. E., Cerino Córdova, F., & Suárez Herrera, M. A. (2006). *Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa*. Ingenierías.
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Díaz Lagos, M., & González Jimenez, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 68.
- Rinaldi, D. S. (2015). Estudio de los contenidos de elementos inorgánicos de interés ambiental en suelos afectados por derrames de combustibles derivados del petróleo. *Tesis de Maestría Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires*, 41.
- Rosas, R. H. (2001). *Estudio de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Llobregat*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Minera i Recursos Naturals.
- Sanchez, V. R. (2019). *Niveles de Metales Pesados (Pb, Al y Sr) en época de avenida y estiaje en el Rio Osmore, region Moquegua*.
- Soto, C. C., & Jiménez, M. W. (2019). Potencial Fitorremediador de Especies Nativas en Suelos Contaminados por Metales Pesados en el Vertedero Quitasol-Imponeda Abancay. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 1.
- Tostado, M. E. (2014). Neurotoxicidad de los metales pesados: Plomo, Mercurio y Aluminio. . 30.

- Ugalde, B. N., & Balbastre, B. F. (2013). *Investigación cuantitativa e investigación cualitativa: buscando las ventajas de las diferentes metodologías de investigación*. Revista de Ciencias económicas.
- Universidad Nacional Agraria La Molina, U. (2003). Centro de investigación de hidroponía y nutrición mineral. *Red hidroponía*.
- Valencia, P. E., & Flórez, S. V. (2020). *Evaluación in vitro de eichhornia crassipes como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales en una planta de beneficio de minería de oro en Suárez–Cauca*.
- Valencia, P. E., & Flórez, S. V. (2020). *Evaluación in vitro de eichhornia crassipes como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales en una planta de beneficio de minería de oro en Suárez–Cauca*. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.
- Varela, O. J., Valencia Vargas, Y., & García Rivas, Y. A. (2020). *La responsabilidad del estado frente al daño ambiental causado por la minería ilegal al río Atrato en Colombia*. Colombia.
- Weinberg, J. (2010). Introducción a la contaminación por mercurio para las ONG. *Red Internacional de Eliminación de los Contaminantes*, 9.
- Zamora, M. O., Lozano Santa Cruz, R., Samayoa Ovideo , H. Y., Velázquez Castro, M., & Prado Pano, B. (2019). Adecuabilidd y comparaciónde técnicas espectroscópicas para el análisis de muestras de origen geológico. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 67.

Zarazúa, G., Ávila Pérez, P., Tejada, S., Valdivia Barrientos, M., Zepeda Gómez, C., & Macedo Miranda, G. (2013). *Evaluación de los metales pesados Cr, Mn, Fe, Cu, Zn Y Pb en sombrerillo de agua (Hydrocotyle ranunculoides) del curso alto del Río Lerma, México*. Mexico: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Gerencia de Ciencias Ambientales.

WEB GRAFÍA.

1. <https://www.parthenon.pe/actjur/editorial/cerro-de-pasco-capital-minera-de-la-muerte/>
2. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15226514.2022.2035673?scroll=top&needAccess=true&role=tab>
3. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-022-24380-z#citeas>
4. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780323857635000052>