

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Fitorremediación con la especie vetiver  
(Chrysopogon zizanioides) para mejorar la calidad  
ambiental del agua del canal de riego CIMIRM en el  
distrito de Hualhuas, región Junín, 2021**

Danny Huaman Tito

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

**ASESOR**

Mg. Edwin N. Gabriel Campos

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso un agradecimiento especial a cada uno de los docentes que me ayudaron en la formación en este fascinante mundo de la ingeniería ambiental. Al Mg. Edwin N. Gabriel Campos, su asesoría fue trascendental e importante.

## **DEDICATORIA**

Dedico la presente tesis a quien en vida fue Celedonia Cabrera Mallma. Su apoyo incondicional fue fundamental en mi vida.

A Erika Diaz, mi compañera. Todo es gracias a ti.

A mis hijos Thani, Camila, Sergio. Ustedes son mi motor y motivo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>ASESOR</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>III</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDO</b> .....	<b>V</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XI</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XII</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XIII</b>
<b>CAPÍTULO I</b> .....	<b>1</b>
<b>PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema .....	1
1.1.1. Planteamiento del problema .....	1
1.2. Objetivos .....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Justificación e importancia .....	3
1.3.1. Justificación de la investigación .....	3
1.3.2. Importancia de la investigación .....	4
1.4. Hipótesis y descripción de las variables .....	5
1.4.1. Hipótesis general .....	5
1.4.2. Hipótesis específicas.....	5
1.4.3. Variables.....	6
<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>8</b>
2.1 Antecedentes del problema .....	8

2.1.1 Antecedentes internacionales .....	8
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	14
2.2.1 Contaminación del agua .....	19
2.2.2 Causas y consecuencias de la contaminación del agua .....	20
2.2.3 Fitorremediación.....	20
2.2.4 Especie vetiver .....	23
2.2.5 Definición de términos básicos .....	26
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>29</b>
<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>29</b>
3.1. Método y alcance de la investigación .....	29
3.2 Diseño de la investigación .....	29
3.2.1 Caracterización de la zona de estudio.....	29
3.2.2 Desarrollo de la investigación .....	31
3.3 Población y muestra.....	40
3.3.1 Población .....	40
3.3.2 Muestra .....	40
3.4 Técnicas e instrumentos en la recolección de datos .....	40
3.4.1 Técnicas recolección de datos.....	40
3.4.2 Instrumentos y equipos .....	41
<b>CAPÍTULO IV .....</b>	<b>42</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>42</b>
4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información .....	42
4.1.1 Estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> )..	42
4.1.2 Estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> )..	46

4.1.3 Eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver para mejorar la calidad ambiental el agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021 .....	48
4.1.4 Calidad ambiental del agua por fitorremediación de la especie vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> ) del canal de riego CIRMIR del distrito de Hualhuas, región Junín 2021 .....	50
4.2 Prueba de hipótesis .....	52
4.3 Discusión de resultados .....	55
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>57</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>60</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>66</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Matriz de operacionalidad de las variables.....	7
<b>Tabla 2.</b> Resultados microbiológicos.....	42
<b>Tabla 3.</b> Resultados de metales totales .....	43
<b>Tabla 4.</b> Resultados de parámetros fisicoquímicos .....	45
<b>Tabla 5.</b> Resultados de metales totales .....	47
<b>Tabla 6.</b> Comparación de resultados análisis.....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante. Tomado de “Medio ambiente y contaminación”, por Encinas, 2011 (29). .....	20
<b>Figura 2.</b> Tratamiento con Vetiver hidropónico (arriba) y humedal estacional con un área de 1.5 ha (abajo). Tomado de “aplicaciones del sistema vetiver”, por Truong, 2009(34) .....	26
<b>Figura 3.</b> Vista del lugar del tratamiento. ....	30
<b>Figura 4.</b> Ubicación del lugar y el distrito de Hualhuas. ....	31
<b>Figura 5.</b> Obtención de los esquejes vetiver. ....	32
<b>Figura 6.</b> Aclimatación al medio acuático. ....	34
<b>Figura 7.</b> Proceso de implementación de estanque, llenado e inicio de tratamiento. ..	35
<b>Figura 8.</b> Planta vetiver a los 8 días. ....	36
<b>Figura 9.</b> Planta vetiver a los 14 días. ....	36
<b>Figura 10.</b> Planta vetiver a los 24 días. ....	37
<b>Figura 11.</b> Planta vetiver a los 30 días. ....	38
<b>Figura 12.</b> Planta vetiver a los 45 días, final de tratamiento.39 <b>Figura 13.</b> Comparación de resultados microbiológicos. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM. ....	43
<b>Figura 14.</b> Comparación del ZINC en agua de canal con ECA. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM.....	44
<b>Figura 15.</b> Comparación DQO con ECA Cat. N° 3. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM. ....	46
<b>Figura 16.</b> Comparación de compuestos antes y después del tratamiento. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01. ....	48
<b>Figura 17.</b> Porcentaje de remediación. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01. ....	49
<b>Figura 18.</b> Planta vetiver a los 45 días de tratamiento. ....	50
<b>Figura 19.</b> Vista de las raíces a los 45 días de tratamiento. ....	51
<b>Figura 20.</b> Disminución de compuestos. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01. ....	52
<b>Figura 21.</b> Comparación de resultados antes y después del tratamiento y ECA. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, IE-271021-02, IE-160921-01, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.....	53
<b>Figura 22.</b> Porcentaje de remediación de compuestos inorgánicos. Tomado de SLAB, Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01. ....	54

<b>Figura 23.</b> Canal CIMIRN Hualhuas. ....	77
<b>Figura 24.</b> Toma de muestra del canal de riego CIMIRN. ....	78
<b>Figura 25.</b> Esqueje de vetiver ( <i>Chrysopogon zizanioides</i> ). ....	79
<b>Figura 26.</b> Esquejes de vetiver sumergidos en agua con estiércol a los 5 días. ....	80
<b>Figura 27.</b> Esquejes sumergidos a los 10 días. ....	81
<b>Figura 28.</b> Hijuelos de vetiver. ....	82
<b>Figura 29.</b> Preparación de la tierra con abono. ....	83
<b>Figura 30.</b> Bandejas de Tecnopor. ....	84
<b>Figura 31.</b> Trasplantado de esquejes. ....	85
<b>Figura 32.</b> Plantas de vetiver sumergidas en agua con estiércol para su aclimatación en agua. ....	86
<b>Figura 33.</b> Vista del lugar de tratamiento. ....	87
<b>Figura 34.</b> Estanque para el tratamiento de 2.69 m x 1.70 m x .61 m. ....	88
<b>Figura 35.</b> Planta vetiver lista para el tratamiento. ....	89
<b>Figura 36.</b> Agua del canal CIMIRN para el tratamiento. ....	89
<b>Figura 37.</b> Estanque de tratamiento con 2000 l y 70 plantas vetiver, 7.6 kg. ....	90
<b>Figura 38.</b> Tratamiento a los 8 días. ....	91
<b>Figura 39.</b> Tratamiento a los 14 días. ....	91
<b>Figura 40.</b> Tratamiento a los 24 días. ....	92
<b>Figura 41.</b> Tratamiento por fitorremediación a los 30 días. ....	93
<b>Figura 42.</b> Planta vetiver a los 45 días. ....	94
<b>Figura 43.</b> Bandejas flotantes con la planta vetiver a los 45 días. ....	94
<b>Figura 44.</b> Vista de las raíces a los 45 días. ....	95
<b>Figura 45.</b> Vista de los esquejes y raíces del manojo de vetiver a los 45 días. ....	96

## RESUMEN

La investigación utilizó las propiedades fitorremediadoras de la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), mediante el tratamiento en un estanque con agua de riego del canal CIMIRN en el distrito de Hualhuas, región Junín. Tuvo como objetivo mejorar la calidad ambiental del agua de riego, con la finalidad de resolver el problema de la contaminación y así mejorar sus propiedades inorgánicas. Se desarrolló en tres etapas. La primera fue la obtención, multiplicación y adaptación de la planta. En esta, los esquejes se sumergieron en agua con estiércol hasta la aparición de nuevas raíces para luego ser trasplantadas en bolsas de propileno hasta la aparición de nuevos hijuelos; esta etapa demoró 78 días. La segunda fue la adaptación de la planta al medio acuático. Se realizó después de que las raíces crecieran 30 cm aproximadamente y se sumergieron 7 manojos de 10 plantas en agua con estiércol por un periodo de 15 días. Finalmente, se desarrolló la etapa de la implementación del estanque y el proceso de fitorremediación. En esta etapa, el tratamiento se realizó mediante balsas hidropónicas vetiver, en un estanque con 2500 litros de agua de riego del canal CIMIRN, una biomasa de 7.5 kg de vetiver, 3 kg por 1000 litros y un periodo de tratamiento de 45 días. Los resultados evidenciaron la reducción de metales pesados. El berilio se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l y el zinc de 4.52 mg/l a 0.218 mg/l. En conclusión, se cumplió con el objetivo de mejorar la calidad ambiental del agua de riego.

Palabras clave: fitorremediación, sistema vetiver, calidad ambiental, agua de riego.

## ABSTRACT

The research used the phytoremediative properties of the vetiver species (*Chrysopogon zizanioides*), by treating a pond with irrigation water from the CIMIRN canal in the Hualhuas district, Junín Region. Its objective was to improve the environmental quality of irrigation water, in order to solve the problem of contamination and thus improve its inorganic properties. They were developed in three stages; i) Obtaining, multiplication and adaptation of the plant: the cuttings were submerged in water with manure until the appearance of new roots, and then they were transplanted in propylene bags until the appearance of new shoots, this stage lasted 78 days. ii) Adaptation of the plant to the aquatic environment: It was carried out after the roots grew approximately 30 cm and 7 bunches of 10 plants were submerged in water with manure for a period of 15 days. iii) Implementation of the pond and phytoremediation process: The treatment was carried out, using vetiver hydroponic ponds, in a pond with 2,500 liters of irrigation water from the CIMIRN canal, a biomass of 7.5 kg of vetiver, 3 kg per 1,000 liters, and a treatment period of 45 days. The results showed the reduction of heavy metals, Beryllium was reduced from 0.0100 mg/L to 0.0003 mg/L, copper 0.7100 mg/L to 0.0340 mg/L, Manganese from 0.1400 mg/L to 0.0084 mg/L, and zinc from 4.52 mg/L to 0.218 mg/L, in conclusion, the objective of improving the environmental quality of irrigation water was met.

Keywords: phytoremediation, vetiver system, environmental quality, irrigation water.

## INTRODUCCIÓN

El canal de riego CIMIRN capta las aguas del río Mantaro en el sector de Siclachaca a 500 metros del puente Stuart. El agua de riego del canal, a lo largo de los 79 km de recorrido, es cloaca de los distintos contaminantes como basura, desechos orgánicos, residuos de pesticidas, residuos ganaderos, sin mencionar a las construcciones contiguas al canal que las utilizan como fuente receptora de los desagües de sus domicilios. Estas fuentes puntuales de contaminación hacen que el agua de este canal de riego no sea útil. La contaminación de las aguas del canal CIMIRN afectan considerablemente la calidad de los cultivos.

Las causales descritas propiciaron la elaboración del presente trabajo de investigación. Para ello, se han utilizado las propiedades fitorremediadoras de la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), para así mejorar la calidad ambiental del agua de riego del canal CIMIRN y, por ende, reducir los contaminantes presentes en el agua. La investigación se encuentra estructurada en 4 capítulos.

El capítulo I describe la realidad problemática del canal CIMIRN, el objetivo de la realización del trabajo de investigación, la justificación, la hipótesis y las variables.

El capítulo II describe el marco teórico, los antecedentes nacionales e internacionales de trabajos sobre fitorremediación, que sirvieron como fuente valiosa para la realización del tratamiento. Además, en este capítulo, se incluyen las bases teóricas con conceptos importantes de la tecnología de fitorremediación.

En el capítulo III, se desarrolló la metodología. En este, se especifica el diseño de la investigación, donde se detalla el desarrollo de la investigación, la población y la muestra.

En el capítulo IV, se describen los resultados del tratamiento y la discusión de los resultados del tratamiento con la especie vetiver. Al final, se plantean las conclusiones y recomendaciones a las que ha llegado el investigador en este estudio.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

### 1.1. Planteamiento y formulación del problema

#### 1.1.1. Planteamiento del problema

La contaminación del agua es un problema que se acrecienta por distintas causas. En la región Junín, el crecimiento poblacional es un factor en constante aumento. Según la Unesco, “la contaminación ambiental del agua se ha convertido en uno de los grandes problemas de la sociedad, ello como consecuencia de una serie de hechos, tales como el crecimiento y expansión de las ciudades, que viene generando importantes cambios de uso de la tierra y nuevas dinámicas territoriales.”(1)

El río Mantaro que alimenta el canal CIMIRN nace del lago Junín, Chinchaycocha, a 4081 m s. n. m., en el departamento de Cerro de Pasco y Junín. Este recorre 724 Km por los departamentos de Junín, Ayacucho y Huancavelica. En su trayecto, sus aguas son utilizadas para el riego de la superficie agrícola del valle del Mantaro.(2)

El canal de irrigación de la margen izquierda del río Mantaro – CIMIRM fue construido el año 1942 para el regadío de 13,000 ha de tierras de cultivo. Este capta las aguas del río Mantaro en el sector llamado Siclachaca a 500 metros del puente Stuart. El CIMIRM, a lo largo de los 79 Km de recorrido, es la cloaca de los distintos contaminantes como basura, desechos orgánicos, residuos de pesticidas, residuos ganaderos, sin mencionar a las construcciones contiguas al canal que la utilizan como fuente receptora de los desagües de sus domicilios. Estas fuentes puntuales de contaminación hacen que el agua de este canal no sea útil. La contaminación de las aguas del canal CIMIRM afecta considerablemente la calidad de los cultivos. Ribbeck lo evidencia en su investigación afirmando que “la población circundante al canal continúa arrojando desechos al canal debido principalmente por un deficiente sistema de recolección de desechos, además de los alcantarillados, aguas residuales no tratadas, viviendas en terrenos frágiles y con altos índices de hacinamiento” (3)

La problemática de la contaminación ambiental del agua del canal CIMIRN y otros cuerpos de agua en nuestra región fueron el punto de partida en la búsqueda de alternativas económicas y ambientalmente amigables, para la

mejora de las propiedades del agua de riego. Se optó por el proceso de fitorremediación, la cual utiliza las propiedades de las plantas, sus microorganismos o enzimas asociadas, así como la aplicación de técnicas agronómicas para degradar, retener o reducir a niveles inofensivos y los contaminantes ambientales a través de procesos que logran recuperar la matriz o estabilizar al contaminante. Dentro de las técnicas de restauración de suelos afectados por la contaminación, la fitorremediación ha adquirido importancia por ser un procedimiento pasivo, estéticamente agradable y útil para remediar simultáneamente una gran variedad de contaminantes.(4)

Se utilizará la planta vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), la cual se ha identificado como la especie con mayores capacidades fitorremediadoras de suelos y aguas dentro de las 400 especies estudiadas mundialmente. Sus raíces de hasta 5 m, su crecimiento acelerado, además de su adaptabilidad a todo tipo de climas y suelos, fueron fundamentales para la aplicación de la planta en esta investigación. Su adaptación al clima del valle del Mantaro será un tema de importancia, estas propiedades descritas anteriormente la convierten en la estrella de la fitorremediación. (5)

#### **1.1.1.1. Problema general**

- ¿Mejorará la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRN del distrito de Hualhuas, aplicando procesos de fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)?

#### **1.1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)
- ¿Cuál es el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)?
- ¿Cuál es la eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver para mejorar la calidad ambiental el agua del canal de riego CIMIRM de distrito de Hualhuas, región Junín, 2021?



## **1.2. Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo general**

- Mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIRMIR del distrito de Hualhuas, aplicando procesos de fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Analizar el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIRMIR, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)
- Analizar el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIRMIR, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)
- Analizar la eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver para mejorar la calidad ambiental el agua del canal de riego CIRMIR del distrito de Hualhuas, región Junín 2021

## **1.3. Justificación e importancia**

### **1.3.1. Justificación de la investigación**

La presencia de elementos fitotóxicos en el agua de riego resulta en una agricultura deficiente. Esto genera la necesidad de aplicar tecnologías de remediación. La especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) posee cualidades de absorción de nutrientes, metales pesados y tiene un alto rango de pH. Estos contaminantes se acumulan en la raíz dejando la parte aérea libre de toxicidad.

#### **1.3.1.1. Justificación teórica**

La fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) es una herramienta tecnológica para recuperar aguas y suelos contaminados. Asimismo, constituye una alternativa económica en la descontaminación de las aguas en el valle del Mantaro. Esta aportará significativamente en la experiencia de dicha especie, debido a su adaptabilidad al clima templado a una altitud de 3 280 m s. n. m., aun cuando su hábitat natural es a alturas menores a los 2 500 m s. n. m. Por ello, esta es una investigación pionera con la especie en la región.

### **1.3.1.2. Justificación metodológica**

El experimento se realizó mediante la aplicación de la fitorremediación con la planta vetiver, mediante balsas hidropónicas vetiver en un estanque con agua de riego. Para ello, se aprovechó *in situ* la cercanía al canal de riego CIMIRN. Esto es de vital importancia, dado que es un experimento fácil de implementar y ambientalmente amigable, puesto que solo se necesita un espacio para el estanque e implementar las balsas hidropónicas vetiver. Estas crearán pequeños ecosistemas. Es una investigación pionera en la región que dará experiencias en métodos similares para el tratamiento de fitorremediación de diversos cuerpos de agua y suelo.

### **1.3.1.3. Justificación práctica**

La presente investigación se justifica en la práctica, ya que presenta aspectos favorables para su fortalecimiento y aspectos desfavorables para su corrección. Los resultados propondrán mejoras en la aplicación de las tecnologías de fitorremediación para el tratamiento de los distintos tipos de aguas: residuales, de consumo humano, de riego, etc.

## **1.3.2. Importancia de la investigación**

La importancia de la investigación nace de la necesidad de mejorar la calidad ambiental de los distintos cuerpos de agua de nuestra región, los cuales son utilizadas como botaderos de diversos contaminantes, lo que merma sus propiedades naturales para el uso como aguas de regadío. La descontaminación del agua de riego también es importante para aumentar la calidad de vida de la población y, por consiguiente, desarrollar una agricultura orgánica y sostenible, libre de agentes dañinos para la salud. Esto es relevante, puesto que el canal CIMIRN, en sus 40.5 km de recorrido hasta el lugar de estudio, es cloaca de todo tipo de desechos de las poblaciones aledañas.

## 1.4. Hipótesis y descripción de las variables

### 1.4.1. Hipótesis general

El presente estudio plantea la siguiente hipótesis de investigación (Hi):

- Hi: la fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) logra mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.

Para poder contrastar la hipótesis de investigación con los resultados, se plantea una hipótesis nula (H0):

- Ho: la fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) no logra mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

En el estudio, se han planteado hipótesis específicas de acuerdo a cada objetivo específico. La primera hipótesis específica (H1) y su respectiva hipótesis nula (H0) es la siguiente:

- H1: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.
- H0: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), no supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.

La segunda hipótesis específica (H2) y su respectiva hipótesis nula (H0) es la siguiente:

- H2: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), no supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.
- Ho: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.

La tercera hipótesis específica (H3) y su respectiva hipótesis nula (H0) es:

- H3: la fitorremediación con la especie vetiver mejora la calidad ambiental en el agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.
- Ho: Hi: la fitorremediación con la especie vetiver no mejora la calidad ambiental en el agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.

#### **1.4.3. Variables**

Se cuenta con dos variables:

**Variable independiente (V.I.):** fitorremediación con la especie vetiver. La fitorremediación con el pasto vetiver posee características fisiológicas y morfológicas que son particularmente apropiadas para la protección ambiental, especialmente, para la prevención y tratamiento de suelos y aguas contaminadas. (6)

**Variable dependiente (V.D.):** la calidad ambiental del agua. “La medida que establece el nivel de concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en agua”. (7)

**Tabla 1. Matriz de operacionalidad de las variables**

<b>MATRIZ DE OPERACIONALIDAD DE LAS VARIABLES</b>				
<b>FITORREMEDIACIÓN CON LA ESPECIE VETIVER (CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES) PARA MEJORAR LA CALIDAD AMBIENTAL DEL AGUA DEL CANAL DE RIEGO CIMIRM EN EL DISTRITO DE HUALHUAS, REGIÓN JUNÍN 2021</b>				
<b>Variables</b>	<b>Definición conceptual</b>	<b>Definición operacional</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>
<b>Variable independiente</b> <b>X1:</b> fitorremediación con la especie vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> )	Aprovecha la capacidad de ciertas especies vegetales para absorber, acumular, metabolizar, evaporar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, el aire, el agua o los sedimentos tales como: metales pesados, metales radiactivos, compuestos orgánicos y derivados del petróleo. Estas tecnologías de plantas ofrecen muchas ventajas sobre los métodos fisicoquímicos que se utilizan hoy en día, como una amplia aplicabilidad y un bajo costo.(8)	Se evaluará el porcentaje de retención de contaminantes de la especie vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> )	Características del vetiver ( <i>Chrysopogon Zizanioides</i> )	Tiempo de retención, caudal del canal
<b>Variable dependiente</b> <b>X2:</b> la calidad ambiental del agua de riego	Son los medios para establecer concentraciones o niveles de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, el agua o el suelo, en estado de cuerpo receptor, sin riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente.(7)	Se analizarán las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del agua del canal de riego CIMIRN	Propiedades físico - químicas  Propiedades microbiológicas  Propiedades inorgánicas	Aceites, Grasas, PH, conductividad, cloruros, sulfatos, nitratos, nitritos, Alcalinidad, demanda química de oxígeno  Coliformes fecales o termo tolerables, Escherichia Coli, Huevos de helminto  Metales totales

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Antecedentes del problema

##### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Guimaraes et al. (9) realizaron su trabajo de investigación sobre el procesamiento de minerales de oro explotados en Paracatu, MG, lo cual genera relaves que son un desafío para la revegetación, principalmente, por el alto contenido de arsénico y salinidad. Apuntando a la revegetación del área de disposición de estos relaves, el objetivo de este estudio fue evaluar los efectos de las dosis de fósforo en plantas de vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) y en el sustrato de siembra, que consistió en relaves del procesamiento del mineral denominado B1. La metodología que se utilizó fue experimental y se exploró en Paracatu, con restricción de agua. El vetiver se cultivó durante cuatro meses en el sustrato en dosis de 0, 140, 280, 560 y 1,280 mg km<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. El principal resultado fue que las dosis crecientes de fósforo mejoran las características químicas del sustrato. Sin embargo, la dosis más alta (1,280 mg kg<sup>-1</sup> P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) resultó en una mayor toxicidad del arsénico para las plantas. En las condiciones evaluadas, las dosis de 560 mg kg<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> es la más adecuada para la fertilización del vetiver y, por tanto, también para la revegetación del sustrato. Este estudio llegó a la conclusión de que el vetiver sobrevive con poca disponibilidad de agua en los relaves.

Mudhiriza et al. (10) investigaron entre febrero y mayo de 2013 en un invernadero en Harare, Zimbabwe. El objetivo principal del tratamiento de aguas residuales fue permitir efluentes humanos e industriales que se eliminarán sin peligro segura. Mediante la evaluación del potencial del pasto vetiver, (*Chrysopogon Zizanioides*), buscaban eliminar cargas de N, P, Zn, Mn y Ni en las aguas residuales de clasificación primaria, en condiciones hidropónicas. La metodología consistió en utilizar el efluente de aguas residuales sin tratar de "Firle Works (FST-Works)" y esquejes de vetiver propagados en el medio ambiente en Harare, África. Así, utilizaron un invernadero para evitar la dilución del efluente por la lluvia entrante, pero, a la vez, permitir el libre movimiento del aire del ambiente para reducir las diferencias de temperatura y humedad entre el interior y el exterior. La conclusión de este estudio confirmó que, en la biorremediación de efluentes de aguas residuales, el uso del pasto vetiver en condiciones hidropónicas es un método de tratamiento complementario factible. Este puede reducir las

cantidades de sólidos disueltos totales como N, Zn y Mn dentro de 21 días a niveles que son aceptables para descarga directa en arroyos según las normas de descarga de aguas residuales en Zimbabwe.

Santana (11), en su investigación, se planteó el objetivo de evaluar la efectividad del pasto o especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) ex situ en la remoción de los contaminantes orgánicos del agua del río Muerto de Cantón, Manta. Usó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos en su estudio. Para ello utilizó 30, 12 y 2 plántulas de vetiver en condiciones hidropónicas y un testigo en un volumen de 20 litros de agua de río; cada uno se repite tres veces. Cada ocho días se monitorean los siguientes parámetros: oxígeno disuelto, pH y salinidad, así como nitrógeno, fósforo, turbidez y remoción de DBO. Este experimento duró cuatro semanas. Como resultado, se confirmó mediante diagnóstico que el agua de Río Muerto se caracteriza por tener altas concentraciones de DQO de sustancias orgánicas e inorgánicas (1.975 mg/l), lo que resulta en un bajo nivel de oxígeno disuelto en 0,51 mg/l.

Machado (12), en su estudio, tuvo como objetivo evaluar el efecto de la raíz del pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) (L.) Robert) en la resistencia a la penetración (Rp) del suelo en los márgenes del bajo río San Francisco. Se plantaron plántulas de pasto vetiver en los márgenes de la ribera para aumentar la resistencia del suelo al proceso de erosión. Las evaluaciones de la Rp se realizaron a profundidades del suelo de 0-0,20, 0,20-0,40 y 0,40-0,60 m cerca de las plantas y dentro de las filas. Los datos de la Rp se obtuvieron utilizando un penetrómetro automático. También se recopilaron datos gravimétricos de humedad, así como datos del tamaño de las partículas por densimetría y datos de densidad de raíces, por el método del monolito. Los resultados de los estudios de la Rp, humedad y densidad de raíces se sometieron al análisis de varianza ( $p < 0.05$ ) y luego se compararon los promedios mediante la prueba de Tukey utilizando el software SISVAR. Las muestras próximas al pasto vetiver mostraron una Rp promedio de 1,793.94 kPa y un contenido de humedad promedio de 11,78%, que difiere, estadísticamente, de los puntos muestreados dentro de las filas. La Rp y la humedad del suelo no difirieron estadísticamente en la profundidad evaluada. El pasto vetiver produjo una cobertura adecuada del suelo, lo que llevó a una mayor retención de agua y, por lo tanto, a una menor resistencia a la penetración.

De la cruz (13) se planteó como objetivo principal evaluar el efecto de los ácidos orgánicos sobre la biodisponibilidad de plomo, talio y vanadio en el pasto vetiver, en suelos expuestos a lixiviados de residuos sólidos municipales de rellenos sanitarios públicos de la empresa promotora Ambiental S.A.B de C.V. El método utilizado fue propagar la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) a partir de esquejes que fueron aclimatados antes de ser colocados en las unidades experimentales, las cuales contenían el suelo proveniente del relleno sanitario. Estos esquejes se expusieron 40 días a lixiviados, a los cuales se le añadieron soluciones de ácidos orgánicos (ácidos cítricos y ácido tartárico en 10 Mm y 15 Mn). Se caracterizó el suelo, se midió el pH y la materia orgánica con base en la NOM-021-SEMARNAT2000

Aguilera y Domínguez (1982). El análisis de metales presentes en muestras de raíces, hojas y suelo se realizó mediante espectrometría de emisión óptica de plasma acoplado inductivamente (ICP-OES). Como resultado, se observó un aumento del pH del suelo y de la materia orgánica durante el tratamiento con la adición de soluciones de ácidos orgánicos. El tratamiento con 10 Mn de ácido cítrico movilizó la mayor parte del plomo, talio y vanadio del suelo. De igual forma, T2 con 10 Mn de ácido cítrico acumuló los mayores porcentajes de plomo, talio y vanadio en vetiver; el talio se encuentra en mayor cantidad en las hojas de la planta.

Nascimento (14) utiliza la alta tasa de crecimiento como uno de los criterios para la selección de especies en los programas de fitoextracción de metales. Este estudio se llevó a cabo para determinar las características de crecimiento del girasol (*Helianthus annuus* L.), ricino (*Ricinus Communis* L.) maíz (*Zea mays* L) y vetiver [*Vetiveria Zizanioides* (L) Nash]. Estos fueron cultivados en un suelo contaminado con plomo (Pb), con y sin corrección de pH, para mejorar la agronomía y las prácticas relacionadas con los programas de fitorremediación. La metodología del experimento fue diseñada como un bloque al azar con cuatro repeticiones; los tratamientos se organizaron en una parcela dividida, con la parcela principal representada por la especie (girasol, ricino y vetiver), con o sin corrección de pH y fertilización del suelo, y la parcela dividida que representa los períodos de cosecha (60, 90 y 120 días después de la siembra). Después del análisis de varianza y análisis de comparación de medias de los datos mediante la prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ), se observó un efecto en la corrección del pH del suelo para el vetiver en todas las variables



de crecimiento evaluadas, excepto el índice de área foliar a los 120 días después de la siembra (DAP). Ricino y plantas de girasol en suelo con condiciones de alta acidez, sin corrección de pH (pH <4.0), se vieron afectados por los niveles de Pb en el suelo. Las plantas de maíz se beneficiaron de la corrección del pH del suelo y tuvieron mejores resultados para las variables de altura, diámetro y área foliar de la planta a 60 y 90 DAP, así como el índice del área foliar a 60 DAP. No hubo aumento de estas variables entre los periodos de cosecha evaluados. En cuanto al potencial de fitoextracción, el maíz y el vetiver tenían la traslocación más alta de Pb a los brotes de la planta a 90 DAP y, por lo tanto, se consideraron las especies más aptas para la fitorremediación del área de estudio. En general, “el encalado fue fundamental para mejorar la producción de biomasa de especies para todas las especies estudiadas en suelos con alta disponibilidad de PB en solución”. (15)

Resende et al. (15) tuvieron como objetivo de investigación evaluar el desarrollo silvícola y la supervivencia de la especie en diferentes modelos de siembra de plántulas para la recuperación del área de relleno sanitario de Inconfidentes al Sur de Minas Gerais en Brasil. Esta es un área geográfica deficiente en vegetación, lo que proporciona un panorama visual sobre los impactos ambientales y, a la vez, sobre las diferentes especies de plantas que pueden ser ideales para su uso en la recalificación de botaderos. El experimento se instaló en un diseño estadístico completamente aleatorizado con cuatro modelos de plantación que involucran plántulas de 11 especies de árboles nativos y la gramínea (*Chrysopogon Zizanioides*) (M1- Leguminosas; M2 – Leguminosas + *Chrysopogon zizanioides*; M# - nativa y M4 – *Eremanthus erythropappus* y *Nectandra lancéola*) y tres repeticiones. Las parcelas de 3x5 m de cada tratamiento consistieron en 15 plántulas de árboles. A ello, se agregó ocho plántulas del pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) a cada modelo de plantación M2. La altura de la planta, el diámetro del tallo a nivel del suelo, el área del dosel y la supervivencia se evaluaron durante un período de 20 meses en intervalos de 30 días. Los datos sobre crecimiento y supervivencia silvícola entre tratamientos y entre especies se sometieron a análisis de varianza y las medias se compararon mediante la prueba de Scott Knott al 5% de probabilidad. Del análisis de los resultados de la recuperación del área del Bote de Inconfidentes, desactivado al sur de Minas Gerais en Brasil, se concluye que el modelo de plantación M2

y las especies *Bauhinia forficata*, *Erythrina falcata*, *Senna multifuga*, *Schizolobium parahyba* y *Schinus terebinthifolius* son los más adecuados para la recuperación de la zona.

Teixeria et al. (16) señala que el vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) se ha utilizado ampliamente para controlar la erosión, especialmente, en áreas degradadas donde se ha eliminado el horizonte superficial del suelo. El manejo del suelo puede influir en la eficiencia de la absorción de nutrientes y el crecimiento de las plantas. Este trabajo tuvo como objetivo evaluar la producción de materia seca de vetiver en respuesta a la aplicación de cal y fósforo. El experimento se llevó a cabo en un invernadero utilizando muestras de horizontes subsuperficiales de una Haplic cambisol, un Yellow Latosol y un Yellow Ultisol. El experimento se instaló en un diseño de bloques al azar con tres repeticiones, en un esquema factorial 2 x 5, con dos dosis de cal (0 t ha<sup>-1</sup> y una dosis para aumentar la saturación de bases al 60%) y con cinco dosis de fósforo (0,05, 100, 2002, 500 mg dm<sup>-3</sup> de P), lo que da un total de 30 unidades experimentales por suelo. Después de la incubación, se aplicaron dosis de fósforo y luego se plantó vetiver. A los 168 días después de la siembra, se colectaron las plantas, separando el brote y las raíces. El encalado y la fertilización con fosfato aumentaron la producción de macollos y materia seca en el vetiver. El encalado aumentó la eficiencia de la fertilización con fosfato y, como resultado, favoreció el establecimiento del vetiver.

Caporale, a.g. et al. (17) señalan que la tecnología de fitorremediación está surgiendo como un método prometedor y respetuoso con el medio ambiente para la limpieza a gran escala de agua y suelo contaminados con arsénico (As). En este estudio, se investigó el efecto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA – *Glomus* spp.) sobre el crecimiento del pasto vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), así como su absorción de As de sistemas hidropónicos y de suelos contaminados. Se encontró un efecto mejorador de la inoculación de HMA en el crecimiento de las plantas, principalmente, al estimular el desarrollo de su sistema radicular. Además, las plantas inoculadas con HMA también absorbieron más As de ambos sistemas contaminados, en comparación con las plantas no inoculadas, aunque las diferencias no siempre fueron estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ). Sin embargo, se observó una absorción de As más eficiente por el pasto vetiver.

Gomes, s.m.d.s. et al (18) plantean que las plantas responden a las adversidades ambientales, lo que se convierte en un indicador de evaluación de la calidad ambiental. En este aspecto, también los contenidos de clorofila, los carotenoides, se utilizan como un indicador confiable para asociar la calidad ambiental y la contaminación, principalmente, en lo que respecta a la toxicidad de los metales pesados en las plantas superiores. El objetivo de estos investigadores fue evaluar el contenido de clorofila a, b, y clorofila y carotenoides totales en plantas de vetiver [*Vetiveria zizanioides (L) Nash*], maíz (*Zea mays L.*). BRS del noreste, cultivados en suelo contaminado con plomo, con y sin corrección de pH del suelo, fueron utilizados como indicadores de estrés metálico por parte del suelo. Desde el punto de vista bioquímico, la corrección de los valores de pH del suelo provocó clorofila a, b y total estadísticamente superior para las especies de vetiver y ricino en los periodos analizados. Una excepción es el análisis realizado 60 días después del trasplante, donde solo la especie vetiver se benefició de la corrección del pH del suelo sobre el contenido de clorofila b y total. Por otro lado, las plantas sin corrección del pH del suelo mostraron una disminución de todos los niveles de clorofila. Además, el mayor incremento en la síntesis del carotenoides indicó que, bajo estrés, las plantas han desarrollado rutas alternativas de disipación de energía con el fin de evitar problemas de fotoinhibición y fotooxidación.

Maroneze, m.m. et al a (19), en su trabajo de investigación, tuvieron como objetivo evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides L. Nash*) en la remoción de nitrógeno y fósforo de las aguas residuales sanitarias en un sistema de tratamiento de humedal construido. La unidad experimental tenía doce módulos de tratamiento, cada uno lleno de capas de sustrato superpuestas desde el fondo hasta la superficie. Para ello, se utilizó 0.15 m de grava # 3, 0.10 m de grava # 1, 0.20 m de arena lavada y 0.05 m de grava #1. Dentro de los módulos, las aguas residuales se mantuvieron a 0.05 m o 0.25 m debajo de la superficie del sustrato, lo que resultó en tiempos de retención hidráulica de 3.4 días o 1.9 días, respectivamente. El afluente se recogió de la entrada del estanque facultativo de una estación de tratamiento de aguas servidas y se aplicó a la superficie de cada módulo, de forma automatizada, a una tasa de aplicación superficial de 51 l.m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>. Las aguas residuales se filtraron verticalmente a través del sistema, en un flujo subsuperficial hacia abajo, hasta que fueron capturadas en una tubería de

drenaje en la parte inferior del módulo. Las concentraciones de fósforo total y nitrógeno amoniacal en las aguas residuales se determinaron antes y después de pasar por el tratamiento. Se midieron las tasas de evapotranspiración y, a partir de ellas, se calcularon las eficiencias en la remoción de la carga contaminante. Los resultados se sometieron a las pruebas F y Turkey con un 5% de probabilidad. El tratamiento con presencia de la planta y nivel de alcantarillado a 0.05 m de la superficie mostró mayor eficiencia en la remoción de nutrientes con 90.5% para el fósforo total y 93.9% para el nitrógeno amoniacal.

### **2.1.2 Antecedentes nacionales**

Lordan Gómez (20) realizó un trabajo de investigación para evaluar la efectividad de humedales verticales artificiales utilizando *macrófitas* (*Cyperus naltornifolius*) y (*Chrysopogon Zizanioides*) para el tratamiento de aguas residuales, instalado en la Academia de Agricultura Estatal del CEMTRAR - La Molina. En este estudio se evaluaron diferentes parámetros de aguas residuales para ver el comportamiento y potencial fitoquímico de las dos plantas. Se evaluaron dos humedales artificiales verticales (*Cyperus naltornifolius*) y (*Chrysopogon Zizanioides*). Los humedales están ubicados en la planta piloto de tratamiento de aguas residuales de la UNALM y fueron evaluados de enero a noviembre de 2016. En cuanto a la vegetación, las especies de paraguaito y vetiver mostraron una buena adaptación durante todo el período de estudio. Durante este período se realizaron siegas de mantenimiento, con lo cual se pudo estimar el rendimiento de biomasa de materia seca de ambas plantas y se obtuvo un valor de 31,3 ton ha/año para (*Cyperus alternifolius*) y 31,1 ton ha/año para (*Chrysopogon zizanioides*). Los humedales no presentan olores desagradables, inundaciones ni presencia de mediadores en su superficie. Estadísticamente, se encontró que no hubo diferencia significativa en la remoción de materia orgánica y sólidos entre las dos plantas.

Cordova Agreda - Huaman García (21) se plantearon como objetivo determinar la eficiencia del humedal artificial con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) para la remoción de las aguas residuales domésticas en el distrito de la Habana- Moyobamba. Con la investigación, se pretendió aprovechar la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) mediante la implementación de un humedal artificial para reducir la contaminación de las aguas residuales generadas en la localidad de la Habana. Esto fue

relevante, dado que estas no tienen un adecuado tratamiento; además, esta especie tiene un gran volumen de raíces, su crecimiento es rápido y, para su producción, no se requieren muchas exigencias. El estudio llegó a la conclusión de que el humedal artificial superficial de flujo vertical con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) es eficiente en la remoción de las concentraciones de contaminantes de los parámetros analizados. Esto se evidencia en las bajas concentraciones que se obtuvieron en el efluente, en comparación con los límites máximos permisibles (LMP) que se encuentran dentro del rango establecido. De esta manera, queda demostrada la efectividad del humedal artificial en esta investigación.

Muñoz Tello, Vásquez m. (22) estudiaron, en su tesis, la efectividad del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas: *Juncus sp.* (junco), *Phragmites australis* (carrizo), *Typha domingensis* (totora), *Chrysopogon zizanioides* (vetiver), *Cyperus papyrus* (papiro). En su investigación, emplearon la técnica de la revisión bibliográfica donde recopilan datos de fuentes secundarias como libros, tesis, revistas, artículos científicos, entre otros, empleando “resúmenes selectivos”. Después de revisar todos los artículos seleccionados, recopilaron, de cada estudio, los porcentajes de remoción de los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos totales en suspensión y coliformes termotolerantes. Mostraron los siguientes rangos globales de remoción: *Juncus sp.* 74.13% a 81.67%, *Phragmites australis* 67% a 89.5%, *Typha domingensis* 93.57% a 96.77% , *Chrysopogon zizanioides* 88.09% a 91% y *Cyperus papyrus* 50.8%. Por lo tanto, se concluye que la especie más eficiente para la remoción de contaminantes de aguas residuales domésticas es la *Typha domingensis*.

Castro García (23) realizó un estudio para determinar el efecto del quelato (EDTA) en la remediación de suelos de plomo (Pb) en *Urtica urea* en la provincia de La Oroya. Para lograr este objetivo, aplicó 5 dosis de EDTA para tratar el suelo contaminado con plomo. Los tratamientos incluyeron: T1 (testigo), T2 (0.05), T3 (0.10), T4 (0.15), T5 (0.20) y T6 (0.25) g/kg- primero. El investigador creó un plan completamente al azar con tres repeticiones; Se sembraron semillas de *Urtica urea* en 18 macetas bajo condiciones controladas durante 60 días. Las plantas de *Urtica urea* mostraron concentraciones más altas de Pb en la parte de la raíz (259 287 mg Pb.kg<sup>-1</sup>) que en la parte aérea (151 617 mg Pb.kg<sup>-1</sup>), lo que subraya el efecto de las diferentes dosis de EDTA y mostró que es un estabilizador. Verduras. El

coeficiente de variación (FT) tuvo el mayor valor de 0,81 en la dosis T5 (0,20 g EDTA). kg 1), lo que sugiere que es un estabilizador de plantas efectivo. El factor de bioacumulación oscila entre 0,097 y 0,222; muestra mala translocación de plomo desde la base a la parte superior. El autor encontró que había una correlación significativa entre la dosis de EDTA y el contenido de plomo en la raíz, por lo que aplicó una regresión al cuadrado entre la dosis de EDTA y el contenido de Pb en la parte terrestre. Contenido de Pb en raíces y factor de bioacumulación - Dosis de EDTA i l; Contenido máximo de plomo 0,15 g kg/l para raíces, gases y materia orgánica. Los resultados obtenidos ayudan a determinar si una especie está acumulando contaminantes en sus diversos sistemas. En este estudio, las plantas de *Urtica urea* estabilizaron la contaminación en sus raíces (bioacumulación) y no la convirtieron en aglomeración en el aire.

Purihuamán y Rojas (24) realizaron el estudio del tratamiento de las aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) implementando humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo – Chota. Según los autores, estos humedales artificiales con la especie (*Chrysopogon zizanioides*) vetiver disminuirán el nivel de contaminación de las aguas residuales domésticas de la comunidad. El diseño de la investigación fue preexperimental por la relación de sus variables y diseños de preprueba – posprueba. La muestra de investigación son 50 litros de aguas residuales generadas en la comuna. Las conclusiones del estudio muestran que los humedales artificiales son ecológica y económicamente eficientes porque los costos de construcción, operación y mantenimiento son mínimos ya que no requieren infraestructura costosa ni personal especializado. Tampoco conduce a costos de consumo de energía; Además, también mejora la estética del lugar donde se ubica.

Dávila y Pérez (25) realizaron una investigación que tuvo como objetivo evaluar la efectividad de la remoción de contaminantes por especies de carrizo (*Typha sp*) y vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) de las aguas residuales municipales (RA) en el distrito de Saposo. La variable dependiente incluyó los siguientes parámetros: aceite y grasa (AyG), demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (TSS), pH y temperatura. Estos parámetros fueron evaluados a la entrada y salida del humedal artificial, en dos periodos, y 51 días después de la instalación del humedal. La

comparación de parámetros se realizó según D.S. 0032010MINAM. A los días, los parámetros de Aceite y Grasa (A y G) aumentaron para la especie carrizo, mientras que para el vetiver se mantuvo sin cambios. A los 51 días, ambas especies fitorremediadoras redujeron las concentraciones de aceite y grasa (AR) de las aguas residuales; además, se eliminó la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales municipales. Las especies de carrizo con un 78% y un 89 % fueron las que eliminaron la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ) con especies de vetiver. Para eliminar la demanda química de oxígeno (DQO) de las aguas residuales municipales, la eficiencia alcanzada fue del 78 % para las especies de carrizo y del 90 % para las especies de vetiver. Por otro lado, la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (TSS) de aguas residuales municipales con especies de carrizo fue del 89% y con especies de vetiver fue del 9 %. La tasa de remoción de aceite y grasa del agua remanente para las especies de carrizo fue del 81%, mientras que, en la especie de vetiver, la tasa de remoción fue del 76%. De igual forma, en la especie junco, el valor de la temperatura fue de 29 °C, mientras que el pH del agua residual fue de 7.0 a los 51 días, mientras que, para la especie vetiver, la temperatura del agua es de 29°C y el pH es de 6.8.

Callirgos (26), en su trabajo de investigación, evaluó la capacidad de fitorremediación de las especies de *Chrysopogon Zizanioides* al combinar las enmiendas a la explotación y evaluación de residuos de una alternativa económica, simple y natural. El objetivo era restaurar la infección por las células con los residuos de ácidos a través del uso de la hierba del vetiver. Para ello, desinfectó el suelo y las aguas subterráneas con la presencia de metales pesados, productos de las actividades de explotación, lo que garantiza la recuperación de la tierra para el futuro. La evaluación se realizó en el período de 90 días, en los meses de enero a mayo de 2012, en el Centro de Investigación en Recursos Genéticos y Biotecnología Vegetal CIRGEHV del laboratorio del departamento de Biología de la Universidad Nacional La Molina en Lima –Perú. Sobre las bajas condiciones de invernadero, se han realizado cinco tratamientos, incluidas las modificaciones biológicas e inorgánicas: fertilizantes orgánicos, fertilizantes orgánicos, tierra natural, lodo bentonítico e hidrogel. Asimismo, se ha mezclado con la relajación de la extracción, agregando el vetiver para evaluar su capacidad de capacitación. Como parte de los objetivos relacionados con este estudio, se evaluó el efecto

cuando toda la hierba del vetiver se hace en la tierra preparada con modificaciones orgánicas e inorgánicas, la transformación del pH y la electricidad de la conductividad en el suelo. Además, se incluye el desarrollo de vegetales y concentraciones de cromo, cobre, cadmio, hierro, plomo total en el suelo, sustancia seca, calidad de la hoja y salud. Al final de la evaluación, se determinó que la aplicación de lodos bentoníticos e hidrogel como enmienda favorece la mayor bioacumulación de Cr en hojas (0.0626mg en T3, 0.0616mg en T4 y 0.0846 mg en T5), Cu en hojas (0.0626 mg en T3 y 0.0846 mg en T5) y Fe en hojas (17.0648 mg en T4 y 22.6708 mg en T5).

Rojas y Suyon (27), Basan su argumento en la contaminación por presencia de arsénico (As) en el agua de los pozos que alimentan a la comunidad de Cruz del Médano en la región de Morrope - Lambayeque, lo que afecta tanto a la población como al medio ambiente. Por lo tanto, su objetivo fue evaluar la efectividad del tratamiento vegetal con jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) en la reducción de las concentraciones de arsénico en las aguas de Cruz del Médano. En este estudio, el método se basa en el muestreo de agua que contiene arsénico de un pozo y la recolección de especies de jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*). Además, se determinaron y compararon los parámetros fisicoquímicos antes y después de aplicar el proceso de tratamiento vegetal con jacinto de agua para determinar su efectividad. El resultado fue la primera muestra para 0,047 mg/L de arsénico (As) a pH 7,25 y temperatura de 26,6 °C. Durante la primera semana de compostaje se realizó el tratamiento de la planta con jacinto de agua. Análisis, 0,031 mg/l de arsénico (As) se obtuvo a una temperatura de 21,40 °C y pH 7,19. Como resultado, se observó una disminución significativa en el contenido de arsénico (As) durante la segunda semana de tratamiento vegetativo a 0,019 mg/l a 23 °C y pH 7,10. De esta forma, se puede comparar y demostrar a partir de los datos obtenidos antes y después del análisis que el jacinto de agua reduce el arsénico (As) de 0,047 mg/l a un resultado final de 0,019 a medida que se almacena más semanalmente. De esta forma se observó una reducción del 60% en el medio donde se mantuvieron los parámetros de temperatura y pH requeridos para el cultivo.

Huaraca y Lujan (28) señalan que, durante años, la calidad de agua ha sido perturbada por diferentes contaminantes procedentes de las actividades antropogénicas. Si bien existen diversos tratamientos desarrollados en la actualidad, se debería buscar métodos con un enfoque innovador y



sostenible. La fitorremediación resultaría ser un método potencial para proporcionar una alternativa a las tecnologías que ahora se emplean para el tratamiento de aguas. Debido a ello, se plantean como objetivo analizar los aspectos más relevantes de la fitorremediación para la eliminación de aguas contaminadas con metales pesados. Para ello, buscaron información de diversos autores que recogieron los beneficios y limitaciones de esta tecnología, así como sus bajos costos frente a otras tecnologías. También lograron hallar información en estudios recientes respecto a combinación de tecnologías, modificación genética y el aprovechamiento de la biomasa vegetal de las macrófitas y acerca de los factores que determinan la eficiencia de esta técnica. Finalmente, demostraron que la fitorremediación es una tecnología muy sustentable para la eliminación de metales pesados de medios acuáticos de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y jacinto de agua (*eichhornia crassipes*); es decir, son alternativas serías de solución. No obstante, aún existen vacíos por investigar y así completar esta falta de información.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Contaminación del agua**

Se dice que el agua está contaminada cuando tiene compuestos dañinos que modifican sus propiedades. Esto la hace dañina para su uso, según Medina.

Las fuentes de contaminación del agua pueden ser naturales (también llamadas geoquímicas: el suelo) o antropogénicas (hechas por el hombre). Normalmente, en este medio, las fuentes naturales están muy dispersas y no provocan concentraciones elevadas, salvo en algunos lugares muy concretos. Sin embargo, la contaminación antropogénica se concentra en áreas específicas como las industrias, las ciudades, etc. Además, los contaminantes son mucho más peligrosos que los emitidos por las fuentes naturales. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica: industriales (dependiendo del tipo de industria que emita contaminantes o no), los vertidos urbanos (principalmente contaminantes orgánicos), marinos (muy importantes en la contaminación por hidrocarburos) la agricultura y la ganadería (provocan contaminación por pesticidas, fertilizantes y restos orgánicos de animales y plantas. Todas estas fuentes de contaminación modifican ciertas propiedades del agua, ya sean físicas,

químicas o biológicas. Estas propiedades son alteradas por el contaminante (figura 01). De hecho, son los parámetros medidos en el agua para determinar su calidad. (29)

FÍSICAS:	QUÍMICAS	BIOLÓGICAS
Color Olor y sabor Conductividad Temperatura Materiales en suspensión Radiactividad Espumas	pH O <sub>2</sub> disuelto (OD) DBO <sub>5</sub> , DQO, COT Nitrógeno total Fósforo total Aniones: Cl <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , S <sup>2-</sup> , CN <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> Cationes: Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> Metales pesados Compuestos orgánicos	Bacterias coliformes Virus Microorganismos Animales Plantas

**Figura 1.** Parámetros del agua que pueden ser alterados por un contaminante. Tomado de “Medio ambiente y contaminación”, por Encinas, 2011 (29).

### 2.2.2 Causas y consecuencias de la contaminación del agua

El agua es muy necesaria para la supervivencia humana. Cada persona necesita aproximadamente de 20 a 50 litros de agua potable limpia (30). También, es necesaria para cultivar y procesar alimentos. Debido a esta necesidad para diversos procesos, genera un sinnúmero de causas y consecuencias, las cuales son descritas por Ríos en su libro “Contaminación del agua, qué es, consecuencias y soluciones”.

La contaminación del agua se genera por diferentes tipos de vertidos: aguas de procesos industriales, aguas fecales y aguas blancas. El primero es un vertido del proceso productivo, por lo que su carga contaminante va a depender de la actividad industrial. El segundo es generado en los aseos y asimilables a aguas residuales domésticas. Al último, se le suele llamar aguas crudas por su carácter previo a la potabilización. (31)

### 2.2.3 Fitorremediación

La remediación, mediante el uso plantas, es una tecnología que utiliza diferentes tipos de especies vegetales para descomponer, extraer, contener o inmovilizar contaminantes del suelo y del agua. Esta tecnología ha llamado la atención, puesto que se utiliza en los sitios de desechos peligrosos.(32)

Las aplicaciones de tratamiento de plantas se pueden clasificar según el destino del contaminante: degradación por extracción, localización o una combinación de ambos. Las aplicaciones de la fitorremediación se pueden clasificar según los mecanismos implicados. Dichos mecanismos incluyen la extracción de contaminantes del suelo o de las aguas subterráneas, las concentraciones de contaminantes en los tejidos de las plantas y la degradación de los contaminantes por diversos procesos bióticos y abióticos. Asimismo, incluyen la evaporación y transpiración de contaminantes volátiles de las plantas al aire, la inmovilización de contaminantes en la rizósfera, el control hidráulico de los niveles de agua contaminada (pluma de control) y el control del drenaje, erosión, e infiltración por cubierta vegetativa. (32)

#### **2.2.3.1 Fitoextracción**

La fitoextracción es la absorción de contaminantes por las raíces de las plantas y traslocación dentro de las plantas. Los contaminantes son generalmente removidos por la cosecha de la planta. Esta tecnología de concentración deja una masa mucho más pequeña para hacer dispuesta que las técnicas de excavación u otro medio. Esta tecnología es aplicada frecuentemente a suelos contaminados con metales.(32)

#### **2.2.3.2 Rizofiltración**

La rizofiltración es la absorción o precipitación sobre las plantas y sus raíces. También, se puede definir como la absorción dentro de las raíces de contaminantes que están en solución alrededor de la zona radicular, debido a procesos bióticos o abióticos. La absorción de la planta, concentración y translocación pueden ocurrir dependiendo del contaminante. Los exudados de las raíces de las plantas pueden causar la precipitación de algunos metales. La rizofiltración resulta primero de la contención del contaminante. Así, los contaminantes son inmovilizados o acumulados sobre o dentro de la planta; luego, los contaminantes son removidos por remoción física de la planta. (32)

#### **2.2.3.3 Fitoestabilización**

La fitoestabilización es definida como (i) la inmovilización de un contaminante en el suelo a través de la absorción y acumulación

por las raíces, absorción sobre las raíces o precipitación dentro de la zona radicular de la planta y (ii) el uso de plantas y raíces para prevenir la migración de contaminantes vía la erosión del viento y del agua lixiviación y dispersión del suelo. La fitoestabilización se presenta a través de la microbiología y química de la zona radicular y alteración del medio ambiente suelo o contaminante químico el pH del suelo puede ser cambiado por los exudados de las raíces de las plantas o a través de la producción de CO<sub>2</sub>. La fitoestabilización puede cambiar la solución, solubilidad y movilidad del metal o impactar la disociación de compuestos orgánicos. La planta en el suelo afectado puede convertir metales de estado de oxidación insolubles o solubles. La fitoestabilización puede ocurrir a través de la absorción, precipitación, complejación o reducción de valencia del metal. (32)

#### **2.2.3.4 Rizodegradación**

La rizodegradación es la descomposición de un contaminante orgánico en el suelo a través de la actividad microbiana favorecido por la presencia de la zona radicular. Es también conocida como degradación asistida por la planta, biorremediación asistida por la planta, biodegradación apoyada por la planta y biodegradación favorecida por la rizósfera.(32)

#### **2.2.3.5 Fitodegradación**

La fitodegradación, también conocida como metabolismo vegetal, es la descomposición de los contaminantes absorbidos por las plantas como resultado del metabolismo vegetal. También se define como la descomposición de contaminantes fuera de las plantas por compuestos como las enzimas producidas por las plantas.(32)

El mecanismo principal es la absorción y el metabolismo de la planta. Además, la degradación puede tener lugar fuera de la planta debido a la liberación de compuestos modificados. Se considera degradación cualquier degradación causada por microorganismos adheridos o afectados por las raíces de la planta.(32)

#### **2.2.3.6 Fitovolatilización**

La fitovolatilización es la absorción y transpiración de un contaminante por parte de las plantas con la liberación de ese contaminante. También es una forma de contaminación atmosférica de las plantas que se modifica a través de la absorción de contaminantes, el metabolismo de las plantas y la transpiración de las plantas. La fitodegradación es el proceso de fitorremediación que puede ocurrir junto con la fitovolatilización. (32)

#### **2.2.4 Especie vetiver**

Anteriormente conocida como vetiver, la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) es una gramínea perenne que crece en grandes matas. Es estéril y no invasiva. Por lo tanto, no se convierte en mala hierba; es una excelente planta alimenticia, que crea condiciones favorables para la formación de especies endémicas. El sistema de hojas o foliar del pasto vetiver puede crecer hasta 1.5 m de altura. Sus tallos son altos, las hojas son altas, delgadas y rígidas a diferencia de la mayoría de las gramíneas. Las raíces del vetiver crecen generalmente de manera vertical y obtienen una profundidad de hasta 4 m con una resistencia a la tensión promedio de 75 pascales, que es igual a 75 kg x cm<sup>2</sup>. Esto lo convierte en un excelente estabilizador de bordes y terrazas, lo que incrementa la resistencia al corte del suelo hasta en un 40%. (33)

##### **2.2.4.1 Características morfológicas**

La planta de vetiver no tiene estolones y rizomas funcionales. Su sistema de raíces pequeñas y compactas crece muy rápido. En algunas aplicaciones, puede alcanzar entre 3 y 4 m de profundidad en el primer año. Este profundo sistema de raíces hace que la planta sea extremadamente tolerante ante las sequías y difícil de arrancar por corrientes fuertes. En el tratamiento y en la etapa de adaptabilidad, las hojas de algunas plantas, en el periodo de heladas, suelen tornarse moradas o púrpuras debido a las altas temperaturas. Por el contrario, cuando entran en la época de latencia, tienen tallos firmes y erguidos que pueden soportar flujos de agua relativamente profundos; tienen muy buena resistencia a las plagas, enfermedades y al fuego. La planta de vetiver forma una densa barrera cuando es cultivada a

cortas distancias. Esto le permite actuar como un filtro muy efectivo de los sedimentos y como un dispersor de agua de escorrentía.(34)

#### **2.2.4.2 Características ecológicas**

Aunque el pasto vetiver tolera algunas de las duras condiciones climáticas y del suelo mencionados anteriormente, como pasto tropical, es muy intolerante a la sombra. Esto reduce su crecimiento y, en casos extremos, incluso puede matar al vetiver a largo plazo. Por lo tanto, el vetiver crece mejor en espacios abiertos y libres de malezas. Así, el control de malezas es esencial en la etapa de establecimiento en suelos inestables y erosionados. Primero, el pasto vetiver reduce la erosión y luego estabiliza el suelo a través de la conservación de la humedad. Asimismo, los nutrientes mejoran el medio ambiente y se puede establecer otras especies espontáneas. Por esta razón, el vetiver se considera un cultivo alimentario en tierras degradadas. (34)

#### **2.2.4.3 Tolerancia de la planta de vetiver al frío**

Aunque el vetiver es una planta tropical que puede sobrevivir y crecer en condiciones de frío extremo, bajo condiciones de escarcha o helada, su parte aérea muere o entra en latencia y se torna color púrpura; sin embargo, sus puntos de crecimiento subterráneo sobreviven. En Australia, el vetiver no se vio afectada por una intensa helada a menos 14 °C y sobrevivió por un corto periodo a menos de 22 °C en el norte de China; en Georgia, Estados Unidos, el vetiver sobrevivió a una temperatura del suelo de menos 10 °C, pero no resistió a menos 15 °C.

Estudios recientes muestran que el desarrollo óptimo de raíces se presenta a temperaturas del suelo de 25 °C; sin embargo, las raíces continúan creciendo hasta temperaturas de 13 °C. Aunque un crecimiento muy pequeño ocurre a temperatura del suelo en el rango entre 15 °C del día y 13 °C de noche, el crecimiento de la raíz continúa a una velocidad de 12.6 cm/día, lo que indica que el pasto vetiver no entra en latencia a esta temperatura y por extrapolación. El tiempo estimado de hibernación ocurre a los 5 °C.(34)

#### **2.2.4.4 Sistema vetiver**

El sistema de pasto vetiver es un medio simple, práctico, económico, de mantenimiento bajo y altamente efectivo para la conservación del suelo y agua, en el control de sedimentos, estabilización, rehabilitación de tierras y la fitorremediación. Como medida biológica, es también ambientalmente amigable. Cuando se planta en hileras individuales, forma una barrera muy eficaz para atenuar y dispersar las aguas de escorrentía, lo que reduce la erosión, conserva la humedad y atrapa sedimentos y agroquímicos en el sitio.

Aunque cualquier barrera puede hacer esto, el pasto vetiver, debido a sus características morfológicas y fisiológicas únicas mencionadas abajo, puede superar a otros sistemas probados. Además, el sistema de raíces extremadamente profundo, masivo y denso amarra el suelo y, al mismo tiempo, impide que sea separado por corrientes de agua de alta velocidad. El sistema de raíces muy profunda y de rápido crecimiento lo hacen tolerable a la sequía y muy apto para la estabilización de pendientes.(34)

#### **2.2.4.5 Tratamiento de aguas residuales con el sistema vetiver**

Por las características morfológicas y fisiológicas de la planta vetiver, su utilización en el tratamiento de aguas residuales es muy recurrente.

En aplicaciones a pequeña escala, se tiene la planta de tratamiento de aguas residuales que se construyó en la década de 1970, en Toogoolawah, un pequeño pueblo en la zona subtropical de Australia. La planta contó con un sumidero primario (lago Imhoff) seguido de tres tanques de drenaje. Las aguas residuales de los estanques fueron diseñadas para drenar en un área pantanosa y luego rebosar en un arroyo local. El edificio de la planta tuvo un diseño muy simple, pero efectivo. Los cambios en la ley introducidos por la Agencia de Protección Ambiental han dado como resultado que la planta de tratamiento no cumpla con los requisitos y, por lo tanto, requiera una revisión. Para ello, se consideraron varias opciones como filtros de arena, filtros de roca y plantas de tratamiento para la eliminación de nutrientes. Estas

opciones son costosas y requieren altos costos operativos continuos. Luego, el panel consideró un sistema de tratamiento de vetiver que podría absorber la mayor parte del agua, así como los nutrientes, compuestos orgánicos y metales pesados del sistema de drenaje. (35)



**Figura 2.** Tratamiento con *Vetiver* hidropónico (arriba) y humedal estacional con un área de 1.5 ha (abajo). Tomado de “aplicaciones del sistema vetiver”, por Truong, 2009 (34).

## 2.2.5 Definición de términos básicos

### Fitorremediación

Aprovecha la capacidad de ciertas especies vegetales para absorber, acumular, metabolizar, evaporar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos tales como metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y derivados del petróleo.

Estas tecnologías de plantas ofrecen muchas ventajas sobre los métodos fisicoquímicos que se utilizan hoy en día, como una amplia aplicabilidad y un bajo costo. (5)

### Calidad ambiental

Son los medios para establecer concentraciones o niveles de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos presentes en el



aire, el agua o el suelo, en estado de cuerpo receptor, sin riesgo significativo para la salud humana o el medio ambiente. (7)

### **Contaminación**

Puede definirse como un cambio indeseable en las propiedades físicas, químicas y biológicas del aire, el agua y el suelo, afectando la vida humana, la vida de otros organismos relacionados, útiles para la vida vegetal y animal, el progreso industrial, las condiciones de vida. aspectos de la vida y la cultura.(36)

### **Tecnología del sistema vetiver TSV**

Tiene un gran potencial. TSV es una solución natural, ecológica, sencilla, práctica y económica. Lo mejor de todo es que los subproductos de la hoja de vetiver tienen una amplia gama de usos, que incluyen artesanías, forraje, techado, basura y combustible, solo por nombrar algunos. Su eficiencia, simplicidad y bajo costo hacen de TSV un aliado valioso en muchos países tropicales y subtropicales donde se requiere tratamiento de agua de grado municipal, industrial e industrial, así como tratamiento y remediación de suelos y desechos mineros. (6)

### **Agua contaminada**

Es el agua, cuyos usos previstos se han comprometido como resultado del deterioro de su calidad original, producto de la incorporación de elementos contaminantes.(37)

### **Absorción**

Es un proceso fisicoquímico en el que uno o más productos químicos en fase líquida o gaseosa entran en fase de absorción a través de su superficie y se difunden en su estructura. Puede ser inorgánico u orgánico.(38)

### **Biodisponibilidad**

El término biodisponibilidad es una medida de la velocidad y el tiempo que una sustancia activa se absorbe en el sistema circulatorio del cuerpo, en resumen, el tiempo que tarda en absorberse y circular por todo el cuerpo. (39)

### **Metales pesados**

Los metales pesados son elementos en su forma elemental con una densidad superior a 5 y formados por 38 elementos. Sin embargo, el término generalmente se refiere a 12 metales utilizados y fabricados por la industria. Estos son Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn. Los metales pesados se encuentran principalmente en algunos sitios absorbentes del suelo, donde se encuentran fuertemente retenidos en coloides orgánicos o inorgánicos.(39)

### **Fitoestabilización**

Implica la inmovilización de la contaminación por absorción y acumulación por las raíces, absorción en las raíces o depósito en la rizosfera de las plantas.(39)

## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

Según Sabino, el procedimiento científico no es verdaderamente una ciencia, sino una herramienta dirigida a validar y a hacer más eficiente la investigación científica. Paralelamente, es la actividad que alimenta un singular tipo de entendimiento. Por tal razón, para la ciencia, no es viable aprender la metodología como disciplina si no se tiene una comprensión mínima sobre ciertos inconvenientes relativos al entendimiento general y a la ciencia en especial. (40)

Esta es una investigación aplicada. Murillo la denomina “investigación práctica o experimental”, la cual se caracteriza porque tiene como objetivo la aplicación o aprovechamiento de los conocimientos adquiridos, mientras que esos otros conocimientos se recopilan después de la implementación y se sistematizan a partir de la investigación. El uso del conocimiento y los resultados de la investigación conducen a la comprensión de los hechos de manera coherente, organizada y sistemática.(41)

El nivel explicativo de la investigación se encarga de encontrar las razones de los acontecimientos mediante el establecimiento de las relaciones causa y efecto. En este sentido, los estudios explicativos pueden centrarse tanto en determinar la causa (investigación posfactica) como la influencia (investigación empírica), a través de la comprobación de hipótesis. Sus resultados y conclusiones forman el nivel más profundo de conocimiento. (42)

### **3.2 Diseño de la investigación**

Siguiendo los conceptos mencionados anteriormente, se afirma que el diseño del estudio es experimental. Las ideas naturalmente comienzan a trascender viejas interpretaciones del mundo que se basan en meras revelaciones, dogmas u opiniones. Gran parte del conocimiento adquirido durante los últimos tres siglos se ha atribuido al uso de experimentos, un diseño mediante el cual se ha desarrollado importantes contribuciones tecnológicas y prácticas.(40)

#### **3.2.1 Caracterización de la zona de estudio**

Para un mejor alcance de la investigación, se localizó el área de estudio en el distrito de Hualhuas, región Junín a 3280 m s. n. m. Las coordenadas son 11°14'00.13" Sur, 75° 14'50.51" Oeste. El agua muestreada fue del canal de regadío CIMIRN, el cual tiene un caudal de aproximadamente de 9

m<sup>3</sup>/segundo (PSI-MINAGRI) en las épocas de abastecimiento a la zona, lo que ocurre con una frecuencia de 10 a 15 días.

El agua del canal CIMIRN es captada del río Mantaro en el sector llamado Siclachaca a 500 metros del puente Stuart. El tratamiento se realizó en un terreno agrícola contiguo al canal de riego CIMIRN.



**Figura 3.** Vista del lugar del tratamiento.



**Figura 4.** Ubicación del lugar y el distrito de Hualhuas.

### 3.2.2 Desarrollo de la investigación

El modelo de utilización del tratamiento con la planta vetiver para fitorremediación de agua de riego y suelos se implementó y se guió del manual de aplicaciones y experiencias de uso de la planta vetiver (34) a través de tres etapas, los que se describen a continuación.

#### 3.2.2.1 Obtención, multiplicación y adaptación de la planta vetiver sumergido de plantas en agua con estiércol

En la actualidad, la planta vetiver no se desarrolla ni es comercializada en la ciudad de Huancayo. Por tal motivo, las plantas se obtuvieron en la ciudad de Lima, de la empresa ALKE E.I.R.L. con RUC. 22332755014 representada por MSc. Alois Kennerknecht. Se adquirieron 100 esquejes de vetiver, de las cuales 30 se plantaron en la zona para futuros estudios.

Los esquejes de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se sumergieron en agua con estiércol, con la finalidad de que aparezcan nuevas raíces, para poder trasplantarlas. Esta etapa demoró alrededor de 11 días.

En este periodo, en comparación con lo que indica el manual “Aplicaciones Del Sistema Vetiver Manual Técnico De Referencia” (34), se observó que la parte de las hojas de los esquejes se secaron y aparecieron nuevos hijuelos. Hubo resultados similares al del manual de aplicaciones y experiencias de uso de la planta vetiver (34).



**Figura 5.** Obtención de los esquejes vetiver.

### **3.2.2.2 Trasplantedo de esquejes vetiver en bolsas de propileno**

A los 11 días de estar sumergido el vetiver en agua con estiércol, se observó la aparición de los hijuelos y nuevas raíces, por lo que se procedió a trasplantarlos en bolsas de polietileno, buscando que los esquejes rebroten. Para ello, se utilizó mitad de tierra negra y guano de corral. Estos hijuelos estuvieron hasta que la raíz tuvo aproximadamente 30 cm de raíz y 6 o 7 hijuelos. Esta etapa demoró 78 días. La adaptación de la planta al clima fue lenta y, en algunos casos, no hubo rebrote. Las heladas y el sol fuerte fueron un factor

para que el crecimiento sea largo debido a las características especiales del vetiver, las cuales tienen un óptimo crecimiento con temperaturas de 25° C en el suelo. En Hualhuas, la temperatura fue oscilante. Durante el día, se llegó a experimentar un calor sofocante con temperaturas promedio de 23 °C. En la noche, la temperatura fue de 7 °C y a una temperatura promedio del suelo de 13 °C, lo que condicionó el óptimo crecimiento de la planta.

### **3.2.2.3 Aclimatación de la planta al medio acuático**

Para ello, se utilizó 70 plantas de vetiver con raíces de 30 cm aproximadamente, agrupadas en 7 manojos de 10 plantas. Se realizó el proceso de aclimatación al medio acuático, sumergiéndola en agua con estiércol de cuy. En esta etapa, la planta vetiver estuvo sumergida hasta que las raíces crezcan hasta que tengan 40 cm aproximadamente; esta etapa duró 15 días. El objetivo de esta etapa es que las raíces se puedan desarrollar en el medio acuático. El crecimiento de estas es un factor positivo de aclimatación.



**Figura 6.** *Aclimatación al medio acuático.*

#### **3.2.2.4 Implementación del estanque y proceso de fitorremediación en agua con la planta vetiver**

Una vez que las plantas alcanzaron unos 40 cm de raíz, se inició con el proceso de fitorremediación. Se utilizó una piscina estructural *bestway* de 300 cm x 201cm x 66 cm. El agua de riego fue llenada manualmente hasta obtener una altura de 42 cm; para el tratamiento, se dispuso de 2500 litros de agua. Los manojos de la planta vetiver se suspendieron en bandejas flotantes de Tecnopor; de esta manera, se inició con el tratamiento.





**Figura 7.** Proceso de implementación de estanque, llenado e inicio de tratamiento.

En la figura N° 07, se puede observar la piscina utilizada como estanque con 2500 litros de agua del canal CIMIRN y las plantas de vetiver en bandejas de Tecnopor. Además, se observa el estado del agua del canal, los residuos domésticos y la contaminación visible.



**Figura 8.** *Planta vetiver a los 8 días.*

En la figura N° 08, se observa la planta vetiver a los 8 días de haber realizado el tratamiento; algunas hojas tendieron a secarse.



**Figura 9.** *Planta vetiver a los 14 días.*

En la figura N° 09, se observa la planta vetiver. Las hojas siguen con la tendencia a secarse, pero los hijuelos empiezan a crecer y a ganar notoriedad.



**Figura 10.** *Planta vetiver a los 24 días.*

En la figura 10, se observa la planta vetiver a los 24 días. El porcentaje de hojas secas estuvo en su punto más alto (70%), aunque ya los rebrotes y la aparición de hijuelos se hicieron más visibles.



*Figura 11. Planta vetiver a los 30 días.*

A los 30 días de tratamiento, se pudo observar que el rebrote de las plantas fue más visible, así como la aparición de las raíces. Fue la etapa en que se pudo observar más verdor y crecimiento de las plantas.



**Figura 12.** *Planta vetiver a los 45 días, final de tratamiento.*

En la figura N° 12, se puede observar la planta vetiver a los 45 días y último día del tratamiento. Luego del crecimiento, las raíces se llenaron de musgo y las hojas crecieron significativamente, lo que evidenció la adaptación y la asimilación de los nutrientes del estanque.

Se tomaron muestras del agua del estanque para realizar los análisis finales y tener los resultados del tratamiento por fitorremediación con la planta vetiver.

Sobre la disposición final del vegetal, se optó por seguir con el experimento en un pequeño estanque cerca del terreno de cultivo.

Sobre la base de los estudios del doctor Paúl Truong, director técnico de la red internacional del vetiver, se ha demostrado que el pasto puede acumular en sus raíces y hojas altas cantidades de metales como zinc, manganeso, cobre y berilio. El hecho de que la mayoría de los metales pesados se acumulen en las raíces y solo un porcentaje pequeño en las hojas hace que el pasto vetiver sea muy apropiado para la fitoestabilización de suelos contaminados con metales pesados (6). Por consiguiente, el pasto vetiver se puede utilizar en largos periodos de tratamiento. El objetivo es que se propague el vetiver en la zona de Hualhuas.

### **3.3 Población y muestra**

#### **3.3.1 Población**

La población estuvo constituida por el caudal del agua del canal CIMIRN, el cual recorre el distrito de Hualhuas departamento de Junín, con un caudal de aproximadamente de 9 m<sup>3</sup>/segundo (PSI-MINAGRI). La distribución del agua en las épocas de abastecimiento a la zona es 10 a 15 días de frecuencia.

#### **3.3.2 Muestra**

La muestra de esta investigación la constituyen los 2500 litros de agua de riego del estanque tomada del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas.

### **3.4 Técnicas e instrumentos en la recolección de datos**

#### **3.4.1 Técnicas recolección de datos**

Para esta técnica, se identificó el punto de monitoreo para la cantidad de efluente y afluente. Se realizaron tres muestreos de agua: una del agua del canal y dos del estanque con el agua de riego a tratar. El instrumento utilizado es la ficha de observación. Después del periodo de experimentación, en el estanque donde se puso la especie vetiver, las muestras de agua del canal de riego fueron analizadas en sus propiedades físico, químicas, inorgánicas y microbiológicas. En el proceso, se obvió el análisis de parámetros orgánicos y plaguicidas, ya que no hay riesgo de contacto con dichos contaminantes. Los análisis se realizaron en el laboratorio acreditado de sistema de servicios y análisis químicos S.A.C. SLAB de la ciudad de Lima.

- a. **La observación:** se realizó mediante las fichas de observación a los 8, 14, 24, 30 y 45 días. Se registró la ubicación del punto de monitoreo, es decir, el estanque con agua de riego. El volumen del estanque fue de 2500 litros.

- b. **Técnicas estadísticas:** los resultados de los parámetros obtenidos del laboratorio SLAB se procesaron en el *software* Excel con el fin de calcular y graficar los parámetros.

### **3.4.2 Instrumentos y equipos**

#### **3.4.2.1 Instrumentos**

Mediante el GPS, se ubicaron las coordenadas y altura sobre el nivel de mar del lugar del estudio. La cámara fotográfica fue utilizada para poder evidenciar cada una de las etapas del tratamiento. Se utilizó un multiparámetro apera PC 60, PH-T para la medición de la temperatura del agua, PH, y las indumentarias guantes, chaleco, lentes, en la toma de muestras y manipulación del agua del canal.

#### **3.4.2.2 Materiales**

- Recipientes de plástico de PET
- Frascos de plásticos
- Cooler yeti 20 litros
- Hielo sustituto
- Etiquetas
- Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

#### **3.4.2.3 Análisis de laboratorio**

- Espectrómetro de absorción atómica

#### **3.4.2.4 Equipo**

- Espectroscopía de Plasma ICP-OES 4300dv (SLAB)

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

**4.1 Resultados del tratamiento y análisis de la información**

**4.1.1 Estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*)**

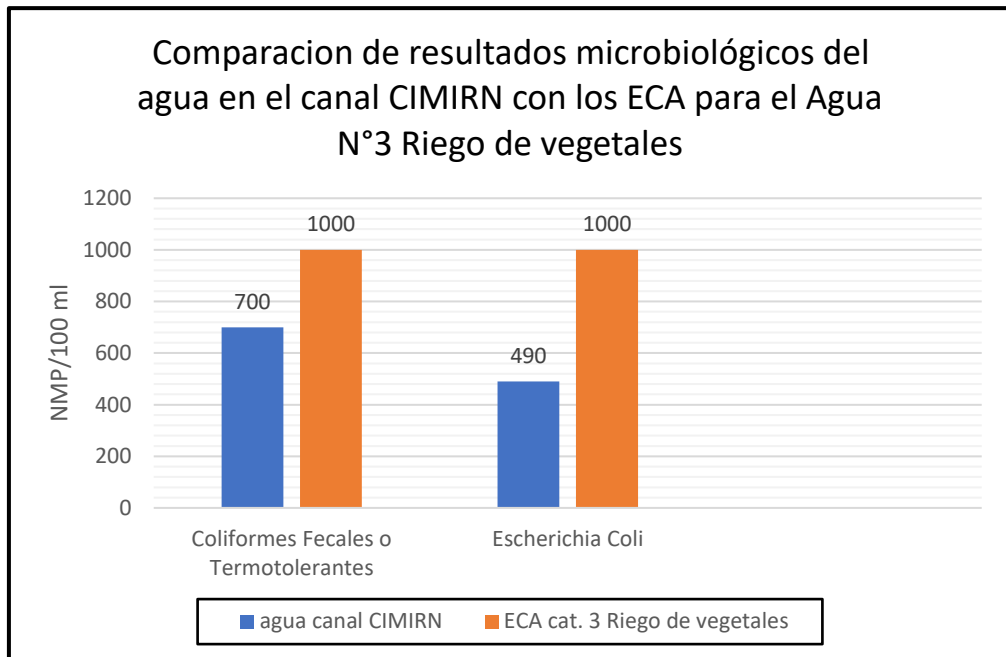
Antes de realizar el experimento de fitorremediación con la especie vetiver, se procedió a muestrear el agua de riego del canal de riego CIMIRN y enviarlo al laboratorio Sistema de servicios y análisis químicos S.A.C. SLAB. A partir del análisis, se obtuvieron los siguientes resultados:

*Tabla 2. Resultados microbiológicos*

<b>RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Coliformes fecales o termotolerantes	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part9222D, 23rd ED	700.0
Escherichia Coli	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part9221F.2, 23rd ED	490.0
Huevos de helmintos	Huevos/L	LAB-LAB-27	<1.0

*Nota: Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01.*





**Figura 13.** Comparación de resultados microbiológicos. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM.

La figura 13 muestra los resultados del análisis de los parámetros microbiológicos del agua, antes del tratamiento. Los coliformes fecales o termotolerantes 700 NMP/100 ml no superan los LMP del ECA para agua categoría N°3 riego de vegetales y bebida de animales, 1000 NMP/100 ml. En el caso de la Escherichia Coli 400 NMP/100 ml, no supera el ECA 1000 NMP/100 ml y los huevos de helmintos están dentro de LMP.

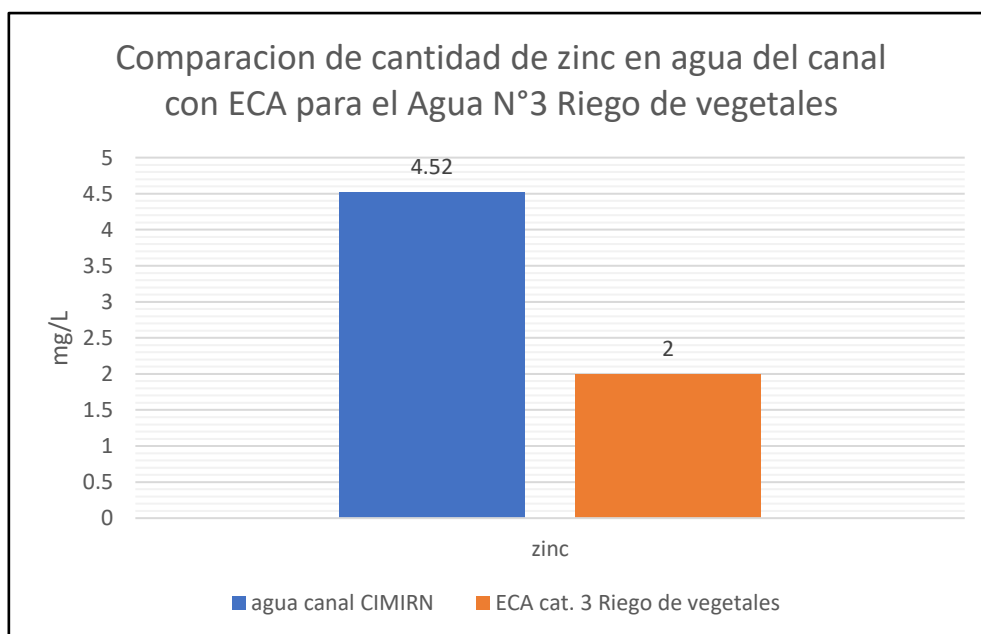
**Tabla 3.** Resultados de metales totales

RESULTADO DE METALES TOTALES			
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Aluminio	mg/l	EPA METHOD	<0.005
Arsénico	mg/l	200.7(Determination	<0.002
Boro	mg/l	of metals and trace	<0.002
Barrio	mg/l	elements in water	<0.0002
Berilio	mg/l	and wastes by	0.01
Cadmio	mg/l	inductively coupled	<0.0001
Cobalto	mg/l	plasma-atomic	<0.002
Cromo	mg/l	emission	<0.0003

Cobre	mg/l	spectrometry)/	0.71
Hierro	mg/l	SMEWW – APHA -	<0.001
Mercurio	mg/l	AWWA – WEF Part	<0.001
Litio	mg/l	3112B, 23 <sup>rd</sup> ED	<0.0003
Magnesio	mg/l		14.09
Maganeso	mg/l		0.14
Níquel	mg/l		<0.0003
Plomo	mg/l		<0.002
Selenio	mg/l		<0.001
Zinc	mg/l		4.52

*Nota: Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01.*

La tabla 3 muestra los resultados de metales pesados del agua de riego del canal CIMIRN. Se observa que el compuesto que sobrepasa los LMP es el zinc 4.52 mg/l frente a los 2 mg/l del ECA para agua categoría N°3 riego de vegetales y bebida de animales.



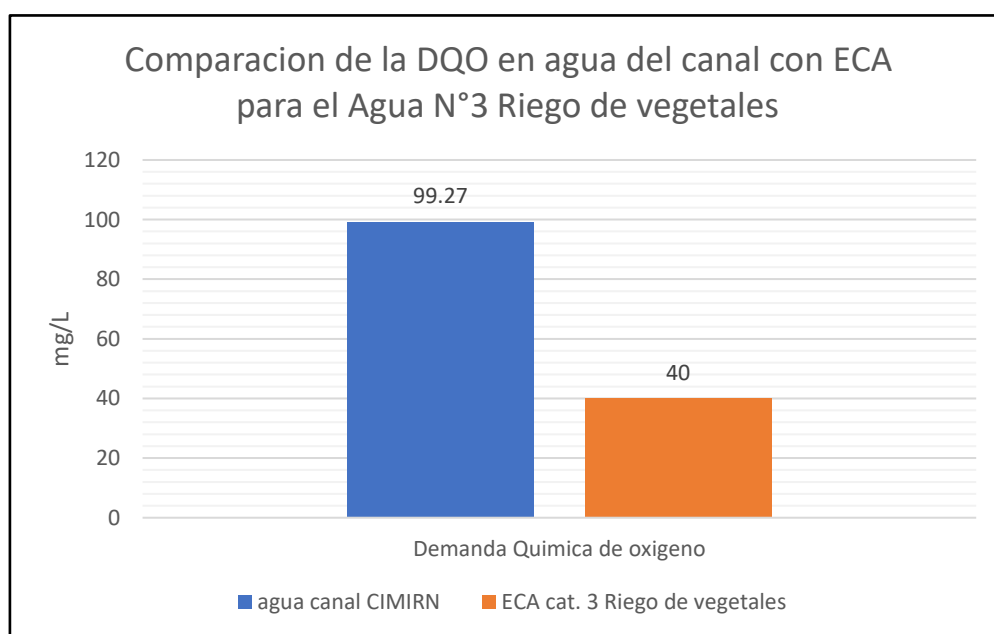
**Figura 14.** Comparación del ZINC en agua de canal con ECA. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM.

**Tabla 4. Resultados de parámetros fisicoquímicos**

<b>RESULTADOS DE PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Aceites y grasas	mg/l	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed.	<0.48
Ph	Unid. pH	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 4500- H+B,23 rd Ed.2017	7.24
Conductividad	Us/cm	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 2510B, 23 rd Ed. 2017	104.20
Cloruros, Cl-	mg/l	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1993	30.99
Sufatos, SO <sub>4</sub> (2)-	mg/l	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	274.25
Nitratos	mg/l	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	2.54
Nitritos	mg/l	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	0.32
Alcalinidad Bicarbonatos	mgCaCO <sub>3</sub> /l	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed.	140.94
Demanda química del oxígeno	MgO <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed.	99.27

*Nota: Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01.*

La tabla 4 muestra los resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados al agua del canal CIMIRN. Se observa que el PH (7.24 PH) tiene un valor normal. En el caso de la demanda química de oxígeno DQO (99.27 mg O<sub>2</sub>/L), supera los LMP Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales, lo cual evidencia una alta contaminación del agua de riego, lo que muestra la baja calidad ambiental del agua de riego, no solo por las descargas residuales domésticas, si no de los residuos industriales desechados sin previo tratamiento hacia el río Mantaro.



**Figura 15.** Comparación DQO con ECA Cat. N° 3. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, DECRETO SUPREMO N°-004-2017-MINAM.

#### 4.1.2 Estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*).

Después del tratamiento, los resultados microbiológicos no se tomaron en cuenta, ya que la cantidad de estos compuestos estaba por debajo de los límites máximos permisibles del ECA categoría 3 Riego de vegetales y bebida de animales.

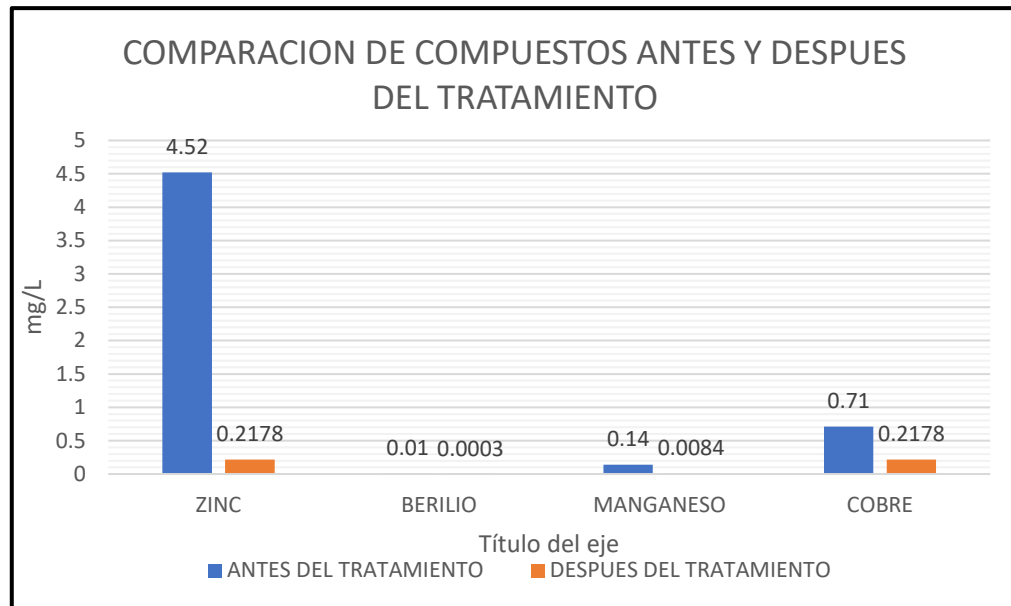
Según los resultados de los análisis de los parámetros inorgánicos, los metales pesados del agua de riego en estanque, extraídos del canal CIMIRM, se redujeron después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Así, el metal berilio se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de

0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l. El zinc, que fue el compuesto que sobrepasaba los LMP Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales inicialmente con 4.52 mg/l, se redujo a 0.218 mg/l en un periodo de tratamiento de 45 días y una biomasa de 7500 gramos de vetiver en 2500 litros de agua de riego.

**Tabla 5. Resultados de metales totales**

<b>RESULTADO DE METALES TOTALES</b>			
<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>	<b>RESULTADOS</b>
Aluminio, Al	mg/l		1.2566
Arsénico, As	mg/l		<0.002
Boro, B	mg/l		<0.002
Barrio, Ba	mg/l		<0.0002
Berilio, Be	mg/l	EPA METHOD	<0.0003
Cadmio, Cd	mg/l	200.7(Determination	<0.0001
Cobalto, Co	mg/l	of metals and trace	<0.002
Cromo, Cr	mg/l	elements in water and	<0.0003
Cobre, Cu	mg/l	wastes by inductively	0.0340
Hierro, Fe	mg/l	coupled plasma-	<0.001
Mercurio, Hg	mg/l	atomic emission	<0.001
Litio, Li	mg/l	spectrometry)/	<0.0003
Magnesio, Mg	mg/l	SMEWW – APHA -	17.5824
Maganeso, Mn	mg/l	AWWA – WEF Part	0.0084
Níquel, Ni	mg/l	3112B, 23 <sup>rd</sup> ED	<0.0003
Plomo, Pb	mg/l		<0.002
Selenio, Se	mg/l		<0.001
Zinc, Zn	mg/l		0.2178

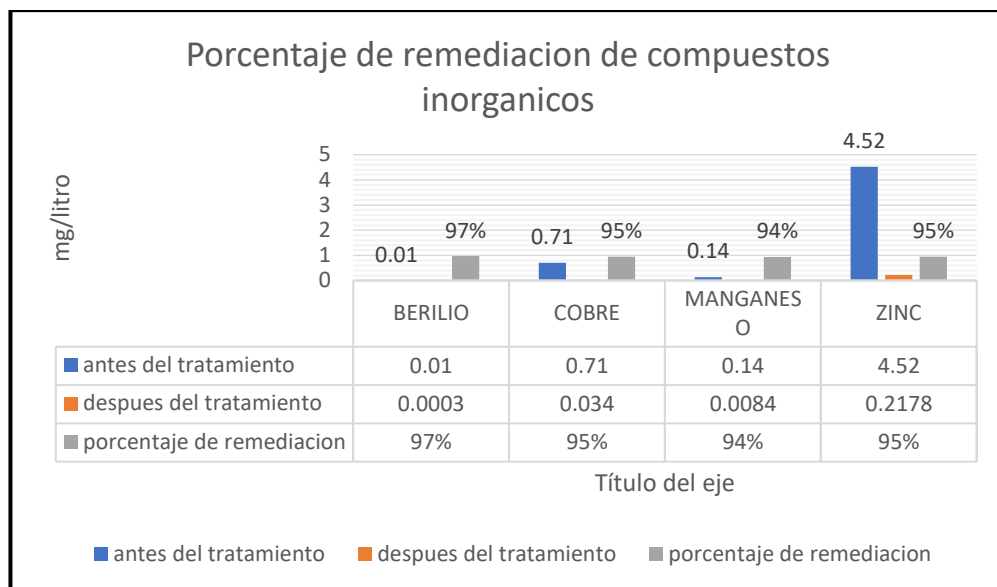
*Nota: Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02.*



**Figura 16.** Comparación de compuestos antes y después del tratamiento. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01.

#### 4.1.3 Eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver para mejorar la calidad ambiental el agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021

Según los resultados obtenidos del análisis de los parámetros inorgánicos (metales pesados), hay una eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). De esta manera, para el caso del berilio, se encuentra un 97%, el cobre 95%, el manganeso 94%, el zinc 95%, en un periodo de tratamiento de 45 días y una biomasa de 7500 gramos de vetiver en 2500 litros de agua de riego.



**Figura 17.** Porcentaje de remediación. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01.

**Tabla 6.** Comparación de resultados análisis

Parámetro	Unid	Resultados muestra del estanque antes del tratamiento	Resultados muestra estanque después del tratamiento	LMP Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales	Porcentaje de la eficiencia de la fitorremediación
Aluminio	mg/L	0.0050	1.2566	5.0000	*
Arsénico	mg/L	0.0020	0.0020	0.7000	*
Boro	mg/L	0.0020	0.0020	1.0000	*
Bario	mg/L	0.0002	0.0002	0.7000	*
Berilio	mg/L	0.0100	0.0003	0.1000	97%
Cadmio	mg/L	0.0001	0.0001	0.0100	*
Cobalto	mg/L	0.0020	0.0020	0.0500	*
Cromo	mg/L	0.0003	0.0003	0.1000	*
Cobre	mg/L	0.7100	0.0340	0.2000	95%
Hierro	mg/L	0.0010	0.0010	5.0000	*
Mercurio	mg/L	0.0010	0.0010	0.0010	*
Litio	mg/L	0.0003	0.0003	2.5000	*
Manganeso	mg/L	0.1400	0.0084	0.2000	94%
Níquel	mg/L	0.0003	0.0003	0.2000	*
Plomo	mg/L	0.0020	0.0020	0.0500	*
Selenio	mg/L	0.0010	0.0010	0.0200	*
Zinc	mg/L	4.5200	0.2178	2.0000	95%

Nota: SLAB Informe de ensayo, IE-270821-01, IE-271021-02, IE-160921-01, DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM.

#### 4.1.4 Calidad ambiental del agua por fitorremediación de la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) del canal de riego CIRMIR del distrito de Hualhuas, región Junín 2021

El tratamiento por fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), en un estanque con 2500 litros de agua de riego del canal CIMIRN, y una biomasa de 7.5 kg de vetiver, 3 kg por 1000 litros, y un periodo de tratamiento de 45 días, redujeron la cantidad de metales. En el caso del berilio, este se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l y el zinc de 4.52 mg/l a 0.218 mg/l. Estos resultados evidencian una mejora de las propiedades inorgánicas del agua de riego. El pH 7.4 tuvo una variación hacia pH alcalino de 9.5, debido al proceso de eliminación de CO<sub>2</sub> en el proceso de fotosíntesis.



**Figura 18.** Planta vetiver a los 45 días de tratamiento.

En la figura N°18, se puede observar a la planta vetiver a los 45 días del tratamiento. Las hojas se tornaron moradas debido a las altas temperaturas de la época y a la proliferación de las algas. Lo positivo es que la planta reaccionó



favorablemente al clima templado del valle a 3280 m s. n. m., lo que constituye un antecedente exitoso para su utilización en la región.



**Figura 19.** Vista de las raíces a los 45 días de tratamiento.

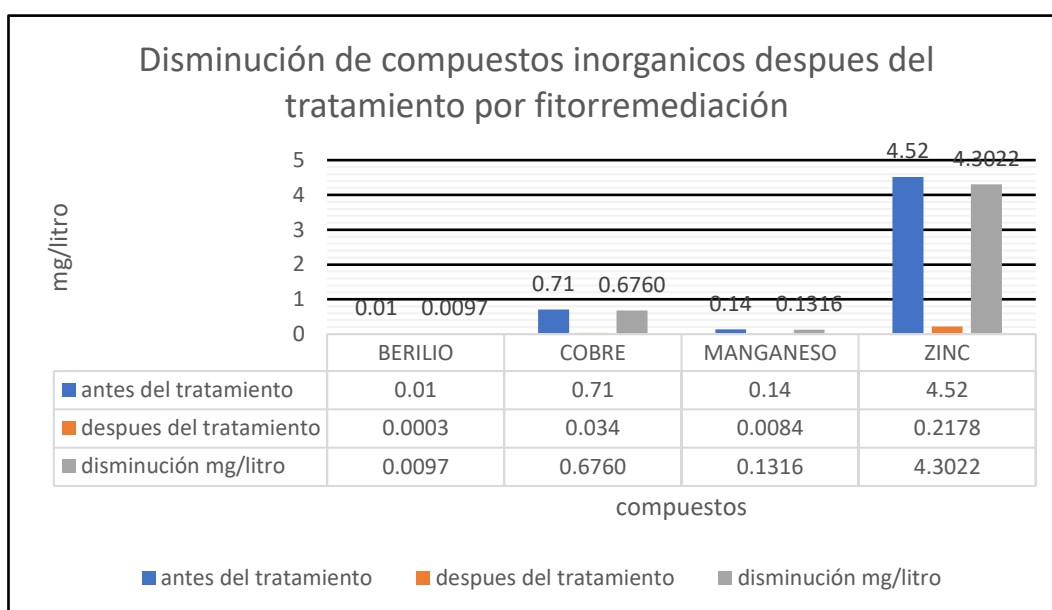
En la figura N° 19, se puede observar que las raíces de la planta vetiver se expandieron positivamente, aunque la eutrofización propició el crecimiento de las algas debido al periodo largo del tratamiento y al agua estancada.

## 4.2 Prueba de hipótesis

Contraste de la hipótesis general (Hi) con los resultados:

Los resultados de la investigación evidencian la mejora de la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRN. Según los datos mostrados en la figura 20, el berilio se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l y el zinc de 4.52 mg/l a 0.218 mg/l. Esto mejoró las propiedades inorgánicas del agua de riego. El pH inicial fue de 7.4 y hubo una variación hacia pH alcalino de 9.5 debido al proceso de eliminación de CO<sub>2</sub> en la fotosíntesis. Se acepta la hipótesis de investigación (Hi).

- Hi: la fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) logra mejorar la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.



**Figura 20.** Disminución de compuestos. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01.

### Prueba de hipótesis específica (H1):

En el informe SLAB Informe de ensayo IE-270821-01, en la figura N°13 y N° 14 se han evidenciado los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos. En estos, se observa que los compuestos superan los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales. Respecto al Zinc, en el análisis inorgánico, es de 4.52 mg/l frente a 2.00 mg/l del ECA y, en los parámetros fisicoquímicos, la demanda química de

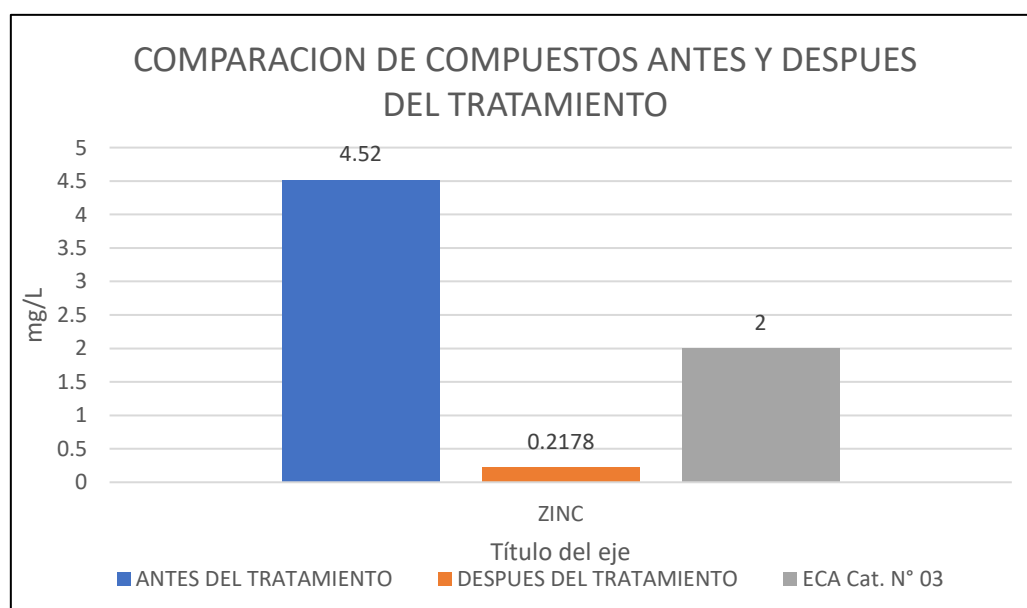
oxígeno DQO es mayor con 99.27 mgO<sub>2</sub>/l frente a 60 mgO<sub>2</sub>/l del ECA. Se acepta la hipótesis específica (H1).

- H1: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.

### Prueba de hipótesis específica (H2):

Según los resultados de los análisis de los parámetros inorgánicos, los metales pesados del agua de riego en estanque, extraído del canal CIMIRM, se redujeron después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). El metal berilio se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l. El zinc, que fue el compuesto que superaba los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales y que contaba, inicialmente, con 4.52 mg/l, se redujo a 0.218 mg/l. Por consiguiente, se acepta la hipótesis específica (H2).

- H2: el estado del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*), no supera los ECA para el agua categoría N° 03 Riego de vegetales y bebida de animales.

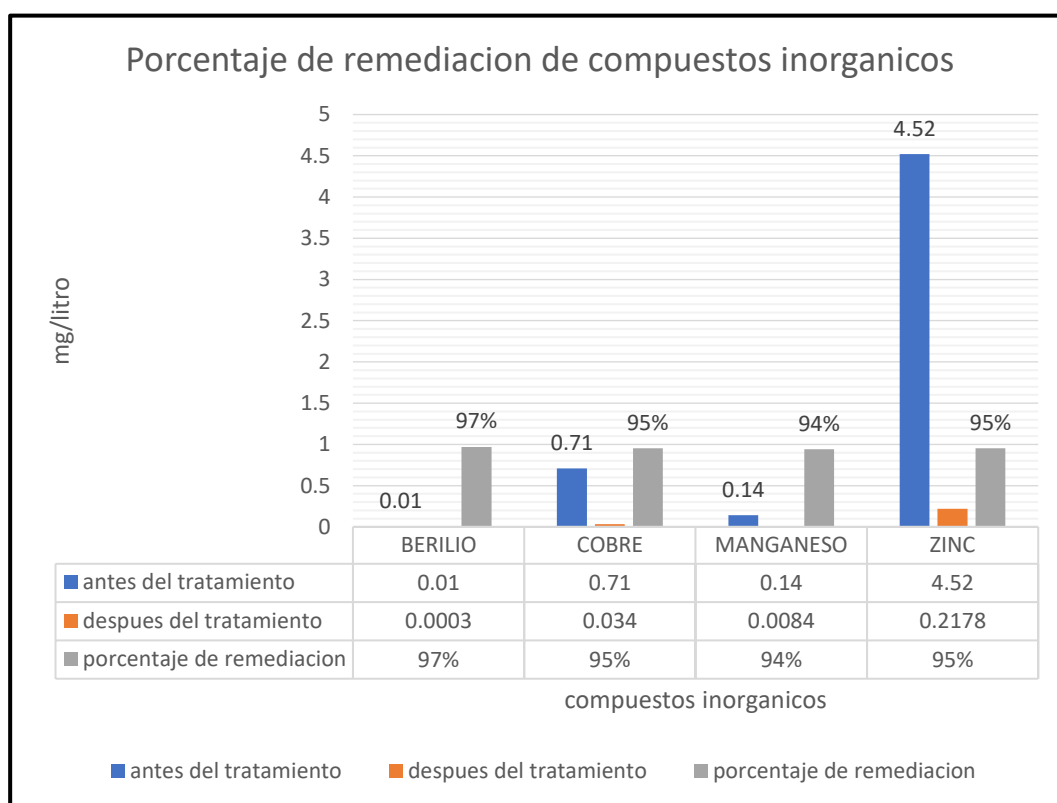


**Figura 21.** Comparación de resultados antes y después del tratamiento y ECA. Tomado de SLAB Informe de ensayo, IE-

### Prueba de hipótesis específica (H3)

Los resultados obtenidos del análisis de los parámetros inorgánicos, mostrados en la figura 22, evidencian que hay una eficiencia positiva de la fitorremediación: berilio 97%, cobre 95%, manganeso 94% y zinc 95%. Estos resultados mejoran la calidad ambiental del agua; por consiguiente, se acepta la hipótesis específica (H3).

- H3: la fitorremediación con la especie vetiver mejora la calidad ambiental del agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021.



**Figura 22.** Porcentaje de remediación de compuestos inorgánicos. Tomado de SLAB, Informe de ensayo, IE-271021-02, IE-270821-01.

### 4.3 Discusión de resultados

Según los resultados de los análisis del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), se puede afirmar que hay eficiencia en los análisis de parámetros inorgánicos (metales pesados). En el caso del berilio, ocurre en un 97%, cobre 95%, manganeso 94%, zinc 95%, en un periodo de tratamiento de 45 días y una biomasa de 7500 gramos por 2500 litros. Estos resultados se asemejan a los del proyecto “Aumento y disponibilidad de la eficiencia en el uso del agua de riego a través de la adaptación del Sistema Vetiver para potenciar la agricultura sustentable en la Región de Arica y Parinacota”, que se desarrolló en Chile.

Respecto al proceso de fitorremediación en agua, ensayos realizados en contenedores con agua proveniente de Lluta y Camarones, con adición de metales pesados, mostraron una eficiencia de remediación de 98% para el plomo en diez días de permanencia y de 75% para el manganeso en quince días. Ambos ensayos se realizaron con una biomasa vegetal equivalente a 8,7 kg por cada 1.000 litros de agua.(5)

Los resultados del tratamiento por fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), en un estanque con 2500 litros de agua de riego del canal CIMIRN, y una biomasa de 7.5 kg de vetiver, 3 kg por 1000 litros, y un periodo de tratamiento de 45 días, evidencian que se redujo la cantidad de metales. En el caso del berilio, este se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/l con un porcentaje de remediación del 97%. Respecto al cobre, este se redujo de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l con un porcentaje de remediación del 95%. En el caso del manganeso, de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l con un porcentaje de remediación del 94%, en el caso del zinc, de 4.52 mg/l a 0.218 mg/l con un porcentaje de remediación del 95%. Así, en comparación con el trabajo titulado “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río muerto, Cantón Manta”,(11) realizado en Ecuador, se tuvo resultados similares respecto al comportamiento del vetiver, debido a que, en ambos casos, “los esquejes del pasto vetiver utilizados en el experimento removieron contaminantes y aumentaron el oxígeno disuelto en todas las unidades experimentales desde la primera semana reflejando su adaptabilidad y desarrollo al pasar de los días”(11).

A partir de los resultados obtenidos mediante el tratamiento de fitorremediación con la especie vetiver y en concordancia con las bases teóricas, la especie vetiver realizó el proceso de fitorremediación mediante “la Fitoextracción mediante la

absorción de contaminantes por las raíces de las plantas y translocación dentro de las plantas.”(6) El principal inconveniente fue la adaptación de la especie vetiver al clima del distrito de Hualhuas, el cual es templado con heladas en el mes de julio y agosto y a una altitud 3280 m s. n. m., mientras que el hábitat natural del vetiver es a alturas menores a 2500 m s. n. m. Esta etapa es la más larga de 75 días calendarios y esta investigación es la primera que utiliza la especie vetiver en la zona de Hualhuas.

Estos factores alargaron el tiempo de adaptación normal de la planta y dificultaron el normal desarrollo de esta, ya que inicialmente se secaron los esquejes, para que a partir de ahí con la poda puedan aparecer nuevos hijuelos.

El tratamiento por fitorremediación es una alternativa económica en el tratamiento de aguas servidas para su reutilización y descontaminación de suelos por metales pesados. Esta aportará significativamente en la realidad problemática de la contaminación del agua.

La contaminación del agua del canal de riego CIMIRN y, por consiguiente, la contaminación de los suelos agrícolas del distrito de Hualhuas son una realidad problemática que hay que solucionar. La fitorremediación es una alternativa eficiente y económica. Por ello, a partir de esta investigación, se puede afirmar que la utilización de la planta vetiver es una realidad.

Para que el tratamiento sea más práctico se debió implementar un humedal artificial con una entrada y salida del agua de riego, para poder realizar experimentos en periodos cortos. En esta investigación, se utilizó un estanque tipo piscina y, por la diferencia de niveles, el llenado del agua se hizo de manera manual por medio de baldes, lo que dificultó su implementación.

Una de las grandes limitaciones en la realización de esta investigación, más específicamente en el análisis de las muestras, fue la falta de atención de los laboratorios de análisis de las universidades privadas y públicas. Estas suspendieron sus actividades por la pandemia del coronavirus, lo cual limitó y encareció los servicios de análisis del agua de riego del tratamiento.

## CONCLUSIONES

- El estado del agua de riego del estanque extraído del canal CIMIRM, antes del tratamiento por fitorremediación con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), los resultados obtenidos del análisis de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos del Anexo N° 02, Informe de ensayo N° IE-270821-01, los compuestos que superan los ECA para agua Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales son; en el análisis de metales totales el zinc (4.52 mg/l) y en análisis de los parámetros fisicoquímicos, la demanda química de oxígeno DQO (99.27 mgO<sub>2</sub>/l).
- Respecto a los parámetros inorgánicos (metales pesados) del agua de riego en estanque extraído del canal CIMIRM, después del tratamiento con la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), los resultados son los siguientes: en el caso de berilio, este se redujo de 0.0100 mg/l a 0.0003 mg/L, el cobre de 0.7100 mg/l a 0.0340 mg/l, el manganeso de 0.1400 mg/l a 0.0084 mg/l. En el caso del zinc, que fue el compuesto que sobrepasaba los LMP del ECA Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales y que contaba inicialmente con 4.52 mg/l, se redujo a 0.218 mg/l.
- La eficiencia de la fitorremediación con la especie vetiver para mejorar la calidad ambiental el agua del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas, región Junín 2021, se evidencia en los porcentajes de fitorremediación obtenidos. En el berilio, fue del 97%, cobre 95%, manganeso 94% y zinc 95% en un periodo de tratamiento de 45 días y una biomasa de 7500 gramos de vetiver por 2500 litros. En el caso de los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos, los cambios no fueron sustanciales y los porcentajes de contaminación se encuentran dentro de los rangos de los LMP Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales.
- La mejora de la calidad ambiental del agua por fitorremediación de la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) del canal de riego CIMIRM del distrito de Hualhuas se evidencia en los resultados de los análisis iniciales mostrados en la tabla N° 1 y la tabla N° 2. En estas, se observa un porcentaje de zinc de 4.52 mg/l. Respecto a los parámetros fisicoquímicos, la demanda química de oxígeno DQO (99.27 mgO<sub>2</sub>/L)

supera los LMP Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales, el zinc de 2.0 mg/l, DQO de 40 mgO<sub>2</sub>/l, en comparación con los resultados finales de los parámetros fisicoquímicos, inorgánicos y microbiológicos mostrados en la tabla N° 3, en los cuales se observa un porcentaje de 97% para el berilio, 95% para el cobre, 94% para el manganeso y un 95% para el zinc. Estos porcentajes evidencian que la especie vetiver logró bioacumular metales pesados, lo que redujo su concentración en el agua tratada y, por ende, mejoró la calidad ambiental del agua de riego.



## RECOMENDACIONES

- Se recomienda el sembrío de esta planta y un proceso de aclimatación en el valle del Mantaro, ya que, por el tiempo en el que se desarrolló el proyecto, sus atributos morfológicos no estuvieron al 100%.
- Se recomienda la utilización de plantas de la especie vetiver con los tallos bien desarrollados para reducir su porcentaje de mortandad.
- Se recomienda alargar el periodo de aclimatación de la planta al medio acuático para que los periodos de tratamiento sean menores y su porcentaje de remoción de la planta se más alta.
- Se recomienda la utilización de la especie vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en proyectos de fitorremediación de suelos, específicamente, en el tratamiento de contaminación con metales pesados, dado que su umbral de toxicidad frente a los metales pesado y metaloides es alto.
- Se recomienda la utilización de la planta vetiver en proyectos de estabilización de taludes, puesto que, según lo observado, las raíces tienden a crecer un promedio de 12 cm los primeros meses y llegan hasta 4 metros en mejores condiciones climáticas.
- Se recomienda la utilización de la planta vetiver en el tratamiento de aguas residuales de la zona, ya que son comprobadas sus propiedades fitorremediadoras.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GABRIEL, Edwin. Dinámicas territoriales por los cambios de la cobertura y uso de la tierra en la cuenca baja del río Chilca de la región Lima [en línea]. Tesis de maestría. Pontificia Universidad Católica del Perú, 2019. [Fecha de consulta: 5 de marzo 2022]. Disponible [https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14637/GABRIEL\\_CAMPOS\\_EDWIN\\_NATIVIDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/14637/GABRIEL_CAMPOS_EDWIN_NATIVIDAD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
2. EL MANTARO REVIVE. Fortalecimiento de las capacidades locales para la descontaminación y recuperación de la cuenca del Mantaro, mediante la implementación de gestión ambiental para, 2007.
3. RIBBECK, Rodolfo. Gestión ambiental del canal de riego Cimirm y calidad de salud en los distritos de El Tambo, Huancayo y Chilca [en línea]. Tesis de maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016. [Fecha de consulta: 15 de mayo 2022] Disponible en: <https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4140/Ribbeck%20Hurtado.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
4. FRICK, C M, R E FARRELL y J J GERMIDA. *For Cleaning Oil-Contaminated Sites Prepared by: Technical Seminar on Chemical Spills*, 1999, 105-124.
5. LARA PULGAR, Sergio y Rodrigo NAVARRO SILVA. *Sistema Vetiver para Descontaminación de Agua*, 2017.
6. TRUONG, Paul y Luu THAI DANH. *El sistema vetiver para mejorar la calidad del agua*. 2015.
7. GÓMEZ, Hugo, Genaro MATUTE, César ORTIZ y Roxana BARRANTES. Instrumentos básicos para la fiscalización ambiental. *Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental* [en línea]. 2015. [Fecha de consulta: 25 de mayo de 2022] Disponible en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=13978](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978)
8. KELLEY, Colleen, Katy K. GAITHER, Alexis BACA-SPRY y Brandon J. CRUICKSHANK. Incorporation of Phytoremediation Strategies into the Introductory Chemistry Laboratory. *The Chemical Educator* [en línea]. 2000, 5(3). [Fecha de consulta: 21 de agosto de 2022]. Disponible en: [doi:10.1007/s00897000383a](https://doi.org/10.1007/s00897000383a)
9. GUIMARÃES, Lorena, Luiz E. DIAS, Igor R. DE ASSIS y Amanda L. CORDEIRO. Cultivation of vetiver in saline tailings contaminated with arsenic under phosphorus doses. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [en línea]. 2016, 20(10), 891-896. Disponible en: [doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p891-896](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v20n10p891-896)

10. MUDHIRIZA, T., F. MAPANDA, B. M. MVUMI y M. WUTA. Removal of nutrient and heavy metal loads from sewage effluent using vetiver grass, *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty. *Water SA* [en línea]. 2015, 41(4), 457-463. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022] Disponible en: doi:10.4314/wsa.v41i4.04
11. VALERIA SANTANA SUÁREZ JESSIE DANIELA SANTOS TELLO, Ximena. Eficiencia del Pasto Vetiver (*Chrysopogon Zizanioides*) ex . situ en la remocion de contaminantes organicos, caso de estudio río Muerto, Cantón Manta [en línea]. Tesis (título de ingeniería en medio ambiente). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, 2016. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/281/1/TMA82.pdf>
12. MACHADO, Lorena, Francisco Sandro Rodrigues HOLANDA, Alceu PEDROTTI, Olavo José Marques FERREIRA, Renisson Neponuceno de Araújo FILHO y Marks Melo MOURA. Effect of vetiver roots on soil resistance to penetration in a typic fluvic neossol in the sãO francisco riverbank. *Revista Caatinga* [en línea]. 2018, 31(4), 935-943. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.1590/1983-21252018V31N416RC
13. DE LA CRUZ LÓPEZ, César Augusto, Sebastián Alberto RAMOS ARCOS y Sugey LÓPEZ MARTÍNEZ. Efecto de la adición de ácidos orgánicos sobre la bioacumulación de Plomo, Talio y Vanadio en *Chrysopogon zizanioides* creciendo sobre suelos contaminados de un relleno sanitario. *Nova Scientia* [en línea]. 2018, 10(21), 403-422. [Fecha de consulta: 11 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.21640/ns.v10i21.1582
14. NASCIMENTO, Silvânia Maria de Souza Gomes, Adailson Pereira de SOUZA, Vera Lúcia Antunes de LIMA, Clístenes Williams Araújo DO NASCIMENTO y Joab Josemar Vitor Ribeiro DO NASCIMENTO. Phytoextractor potential of cultivated species in industrial area contaminated by lead. *Revista Brasileira de Ciencia do Solo* [en línea]. 2016, 40, 1-14. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.1590/18069657rbc20140805
15. DE RESENDE, Luana Auxiliadora, Lilian Vilela Andrade PINTO, Eder Clementino DOS SANTOS y Sueila SILVA. Crescimento e sobrevivência de espécies arbóreas em diferentes modelos de plantio na recuperação de área degradada por disposição de resíduos sólidos urbanos. *Revista Arvore* [en línea]. 2015, 39(1), 147-157. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.1590/0100-67622015000100014
16. TEIXEIRA, Paulo C., Ivanilde L. de MESQUITA, Sheron T. de MACEDO, Wenceslau G. TEIXEIRA y Wanderlei A. A. de LIMA. Resposta de vetiver à

- aplicação de calcário e fósforo em três classes de solo. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* [en línea]. 2015, 19(2), 99-105. [Fecha de consulta: 14 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.1590/1807-1929/agriambi.v19n2p99-105
17. CAPORALE, A. G., D. SARKAR, R. DATTA, P. PUNAMIYA y A. VIOLANTE. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus* spp.) on growth and arsenic uptake of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides* L.) from contaminated soil and water systems. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* [en línea]. 2014, 14(4), 955-972. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.4067/s0718-95162014005000075
  18. GOMES, Silvânia M.de S., Vera Lucia A. DE LIMA, Adailson P. DE SOUZA, Joab J.V.R. DO NASCIMXENTO y Everaldo S. DO NASCIMENTO. Cloroplast pigments as indicators of lead stress. *Engenharia Agrícola* [en línea]. 2014, 34(5), 877-884. [Fecha de consulta: 17 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.1590/S0100-69162014000500007
  19. MARONEZE, Mariana Manzoni, Leila Queiroz ZEPKA, Juliana Guerra VIEIRA, Maria Isabel QUEIROZ y Eduardo JACOB-LOPES. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. *Revista Ambiente e Agua* [en línea]. 2014, 9(3), 445-458. [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2022]. Disponible en: doi:10.4136/1980-993X
  20. GÓMEZ, Yelhsin. Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas [en línea]. Tesis (título de ingeniero agrícola). Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2875/P10-G654-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  21. CÓRDOVA AGREDA, Danny Deyby y Telésforo HUAMÁN GARCÍA. Humedal artificial con *Chrysopogon zizanioides* para la remoción de aguas residuales domésticas en el Distrito de Habana [en línea]. Tesis (título de ingeniero sanitario). Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto, 2019. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022]. Disponible en:  
<https://repositorio.unsm.edu.pe/bitstream/handle/11458/3950/ING.%20SANITARIA%20-%20Danny%20Deyby%20C%3%b3rdova%20Agreda%20%26%20Tel%20c3%a9sforo%20Huam%20c3%a1n%20Garc%20c3%ada.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
  22. MUÑOZ TELLO, Keyla Madaly y Milagros VASQUEZ PEREZ. Estudio de la

- eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas con humedales artificiales de cinco especies de macrófitas [en línea]. Tesis (título de ingeniero ambiental). Universidad Privada del Norte, 2020. [Fecha de consulta: 13 de agosto de 2022] Disponible en: <http://hdl.handle.net/11537/23943>
23. CASTRO GARCÍA, Evelin. Efecto del quelato (EDTA) en la fitorremediación de un suelo contaminado por plomo, con *Urtica urens* en La Oroya, 2018 [en línea]. Tesis (título de ingeniero ambiental). Universidad Continental, 2020. [Fecha de consulta: 19 de agosto de 2022] Disponible en: [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8167/3/IV\\_FIN\\_10\\_7\\_TE\\_Castro\\_Garc%c3%ada\\_2020.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/8167/3/IV_FIN_10_7_TE_Castro_Garc%c3%ada_2020.pdf)
24. PURIHUAMÁN LEONARDO, Celso Nazario y María Ysabel ROJAS DÍAZ. Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en humedales de flujo subsuperficial. *Tzhoecoen* [en línea]. 2018, 10(1), 13-24. [Fecha de consulta: 25 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.26495/rtzh1810.125751
25. DÁVILA, Elva Bustamante y Wendy Tatiana PÉREZ RUIZ. Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando las especies junco typha sp y vetiver *chrysopogon zizanioides* en el distrito de Saposa [en línea]. Tesis (título de ingeniero ambiental). Universidad Peruana Unión, 2019. [Fecha de consulta: 25 de julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2763>
26. CALLIRGOS, Rodriguez Cristina. Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros [en línea]. Tesis (título de ingeniero ambiental). Universidad Nacional Agraria La Molina, 2019. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/1907>
27. ROJAS, Pamela y Elizabeth SUYON. Eficiencia de fitorremediación con Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) para disminuir concentraciones de arsénico en aguas del centro poblado Cruz del Médano - Mórrope - 2019 [en línea]. *Universidad de Lambayeque*. 2019, 2-52. Tesis (título de ingeniero ambiental). Universidad de Lambayeque, 2020. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.udl.edu.pe/bitstream/UDL/314/1/TESIS%20ROJAS%20Y%20SUYON.pdf>
28. HUARACA HUAMAN, Andrea y Carlos Raúl LUJAN ESPINOZA. Revisión sistemática: fitorremediación empleando plantas hiperacumuladoras acuáticas para la eliminación de metales pesados en aguas contaminadas [en línea]. Tesis

- (título de ingeniero ambiental). Universidad César Vallejo, 2020. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/61517/Huaraca\\_HA-Lujan\\_ECR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/61517/Huaraca_HA-Lujan_ECR-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
29. ENCINAS MALAGÓN, María Dolores. *Medio Ambiente Y Contamianción. Principios Básicos* [en línea]. 2011. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: <https://bit.ly/2QDqF6R%0Ahttp://hdl.handle.net/10810/16784>
  30. NEWMAN, Alan. Safe Drinking Water. *Environmental Science and Technology* [en línea]. 1993, 27(12), 2295-2297. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: doi:10.1021/es00048a604
  31. RÍOS, Emilio. *Contaminación del agua: Qué es, causas, consecuencias y soluciones.* [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 23 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.ecosiglos.com/2017/08/contaminacion-del-agua-causas-consecuencias-y-soluciones.html%0Ahttps://cumbrepuebloscop20.org/medio-ambiente/contaminacion/agua/>
  32. EPA, U S. *Introduction to Phytoremediation* [en línea]. 2019. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022] Disponible en: doi:10.4018/978-1-5225-9016-3.ch001
  33. *¿Qué es el vetiver? – Vetiver Costa Rica* [en línea]. [Fecha de consulta: 23 de julio de 2022]. Disponible en: <https://www.vetivercostarica.com/2010/06/02/que-es-el-vetiver/>
  34. TRUONG, P., TAN VAN, T., & PINNERS, E. Aplicaciones Del Sistema Vetiver Manual Técnico De Referencia. *The Vetiver Network International* [en línea]. 2009, 368. Disponible en: [http://www.vetiver.org/TVN\\_manual\\_spanish\\_o.pdf](http://www.vetiver.org/TVN_manual_spanish_o.pdf)
  35. ORIHUELA, Julio. Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (Chrysopogon zizanioides). *Organizacion Panamericana De La Salud* [en línea]. 2007, 37. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022] Disponible en: [http://www.vetiver.org/TVN\\_manualvetiver\\_spanish-o.pdf](http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf)
  36. MIRSAL, Ibrahim A. *Ibrahim A. Mirsal Soil Pollution Origin, Monitoring & Remediation.* sin fecha.
  37. UNESCO. Glosario de términos fundamentales. [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Capitulo6\\_02.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Capitulo6_02.pdf) [en línea]. 1986, 103. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: [http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Capitulo6\\_02.pdf](http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/FIELD/Havana/pdf/Capitulo6_02.pdf)
  38. ALLOWAY, Brian J. *Sources of Heavy Metals and Metalloids in Soils* [en línea]. 2013. [Fecha de consulta: 21 de julio de 2022]. Disponible en: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4470-740>.

39. SABINO, Carlos. El Proceso de investigación [en línea]. 1996. [Fecha de consulta: 27 de julio de 2022]. Disponible en: [http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso\\_investigacion.pdf](http://paginas.ufm.edu/sabino/ingles/book/proceso_investigacion.pdf)
40. VARGAS CORDERO, Zoila Rosa. La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica. *Revista Educación* [en línea]. 2009, 33(1), 155. [Fecha de consulta: 13 de julio de 2022]. Disponible en: [doi:10.15517/revedu.v33i1.538](https://doi.org/10.15517/revedu.v33i1.538)
41. ARIAS ODON, Fidias Gerardo. *El proyecto de investigación. Introducción a la metodología científica 6ª Edición*. 2012.

## ANEXOS



**ANEXO N° 1**

**ECA para el agua Categoría 3 Agua de riego y bebida de animales**

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>D1: Riego de vegetales</b>	<b>D2: Bebida de animales</b>
<b>Agua para riego no restringido (c)</b>	<b>Agua para riego restringido</b>	<b>Bebida de animales</b>	
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>			
<b>Aceites y Grasas</b>	<b>mg/L</b>	<b>5</b>	<b>10</b>
<b>Bicarbonatos</b>	<b>mg/L</b>	<b>518</b>	<b>**</b>
<b>Cianuro Wad</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,1</b>	<b>0,1</b>
<b>Cloruros</b>	<b>mg/L</b>	<b>500</b>	<b>**</b>
<b>Color (b)</b>	<b>Color verdadero Escala Pt/Co</b>	<b>100 (a)</b>	<b>100 (a)</b>
<b>Conductividad</b>	<b>(µS/cm)</b>	<b>2 500</b>	<b>5 000</b>
<b>Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)</b>	<b>mg/L</b>	<b>15</b>	<b>15</b>
<b>Demanda Química de Oxígeno (DQO)</b>	<b>mg/L</b>	<b>40</b>	<b>40</b>
<b>Detergentes (SAAM)</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,2</b>	<b>0,5</b>
<b>Fenoles</b>	<b>mg/L</b>	<b>0,002</b>	<b>0,01</b>
<b>Fluoruros</b>	<b>mg/L</b>	<b>1</b>	<b>**</b>
<b>Nitratos (NO3--N) + Nitritos (NO2--N)</b>	<b>mg/L</b>	<b>100</b>	<b>100</b>
<b>Nitritos (NO2--N)</b>	<b>mg/L</b>	<b>10</b>	<b>10</b>
<b>Oxígeno Disuelto (valor mínimo)</b>	<b>mg/L</b>	<b>≥ 4</b>	<b>≥ 5</b>
<b>Potencial de Hidrógeno (pH)</b>	<b>Unidad de pH</b>	<b>6,5 – 8,5</b>	<b>6,5 – 8,4</b>
<b>Sulfatos</b>	<b>mg/L</b>	<b>1 000</b>	<b>1 000</b>

*Nota: Tomado del DECRETO SUPREMO N°004-2017-MINAM.*

## ANEXO N° 2

### Análisis del agua de riego antes del tratamiento



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

## INFORME DE ENSAYO IE-270821-01

1. DATOS DEL CLIENTE
  - 1.1 Cliente : CORPORACIÓN ALEPH S.R.L
  - 1.2 RUC : 20557508407
2. FECHAS
  - 2.1 Inicio : 28 de Agosto de 2021
  - 2.2 Fin : 04 de Septiembre de 2021
  - 2.3 Emisión de informe : 06 de Septiembre de 2021
3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO
  - 3.1 Temperatura : 19.6 °C
  - 3.2 Humedad Relativa : 50 %
4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA
  - 4.1 Ensayo solicitado : Ver punto 6
  - 4.2 Método utilizado : Ver punto 6
5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA
  - 5.1 Tipo de muestra : AGUA
  - 5.2 Descripción : AGUA SUPERFICIAL
  - 5.3 Código Interno : S-2259
  - 5.4 Muestreo : Muestreado por el cliente
  - 5.5 Observaciones : Ninguna
6. RESULTADOS

LABORATORIO DE ENSAYO E INVESTIGACIÓN  
TABLA N°1: RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA- AWWA-WEF Part9222 D, 23rd Ed	700.0
Escherichia Coli	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part9221 F.2, 23rd Ed.	490.0
Huevos de Helminfos	Huevos/L	LAB-LAB-27	<1.0

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
DIEGO ROMANO VERGARÁ BARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

**TABLA N°2: RESULTADOS DE METALES TOTALES**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Plata	mg/L	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	<0.005
Aluminio	mg/L		<0.005
Arsénico	mg/L		<0.002
Boro	mg/L		<0.002
Bario	mg/L		<0.0002
Berilio	mg/L		0.01
Bismuto	mg/L		<0.009
Calcio	mg/L		1029.24
Cadmio	mg/L		<0.0001
Cerio	mg/L		<0.02
Cobalto	mg/L		<0.002
Cromo	mg/L		<0.0003
Cobre	mg/L		0.71
Hierro	mg/L		<0.001
Mercurio	mg/L		<0.001
Potasio	mg/L		<0.04
Litio	mg/L		<0.0003
Magnesio	mg/L		14.09
Manganeso	mg/L		0.14
Molibdeno	mg/L		<0.0006
Sodio	mg/L		24.89
Niquel	mg/L		<0.0003
Fósforo	mg/L		10.66
Plomo	mg/L		<0.002
Antimonio	mg/L		<0.002
Selenio	mg/L		<0.001
Silicio	mg/L		<0.001
Estaño	mg/L		<0.001
Estroncio	mg/L		<0.0004
Torio	mg/L		<0.0003
Titanio	mg/L		<0.0007
Talio	mg/L		<0.0007
Uranio	mg/L	<0.005	
Vanadio	mg/L	<0.0002	
Zinc	mg/L	4.52	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

  
**Diego Romano Vergara D'Arrigo**  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

**Tabla N°3: RESULTADOS DE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Aceites y Grasas	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed.	<0.48
pH	Unid. pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+B, 23 rd Ed. 2017	7.24
Conductividad	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510B 23rd Ed. 2017	104.20
Cloruros, Cl <sup>-</sup>	mg/L	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1993	33.99
Sulfatos, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	274.25
Nitratos	mg/L	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	2.54
Nitritos	mg/L	EPA METHOD 300.0 REV.2.1, 1994	0.32
Alcalinidad Bicarbonatos	mgCaCO <sub>3</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2320 B, 23 rd Ed.	140.94
Demanda química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed.	99.27

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



“FIN DEL DOCUMENTO”

  
DIEGO ROMANO VERGARA D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## ANEXO N° 3

### Análisis del agua de riego después del tratamiento



SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS  
QUÍMICOS S.A.C. SLAB

## INFORME DE ENSAYO IE-271021-02

### 1. DATOS DEL CLIENTE

- 1.1 Cliente : CORPORACION ALEPH  
1.2 RUC/DNI : 20487208206

### 2. FECHAS

- 2.1 Inicio : 28 de Octubre de 2021  
2.2 Fin : 11 de Noviembre de 2021  
2.3 Emisión de informe : 12 de Noviembre de 2021

### 3. CONDICIONES AMBIENTALES DE ENSAYO

- 3.1 Temperatura : 20.3 °C  
3.2 Humedad Relativa : 50 %

### 4. ENSAYO SOLICITADO Y METODOLOGÍA UTILIZADA

- 4.1 Ensayo solicitado : Ver punto 6  
4.2 Método utilizado : Ver punto 6

### 5. DATOS DE LA MUESTRA ANALIZADA

- 5.1 Tipo de muestra : AGUA  
5.2 Descripción : AGUA SUPERFICIAL  
5.3 Código Interno : S-2755  
5.4 Muestreo : Muestreado por el cliente  
5.5 Observaciones : Ninguna

### 6. RESULTADOS

#### 6.1. Resultados Obtenidos

TABLA N°2: RESULTADOS DE METALES TOTALES

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Plata, Ag	mg/L	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	0.0643
Aluminio, Al	mg/L		1.2566
Arsénico, As	mg/L		<0.002
Boro, B	mg/L		<0.002
Bario, Ba	mg/L		<0.0002
Berilio, Be	mg/L	<0.0003	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC

DIEGO ROMANO VERGARAY D'ARRIGO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

INFORME DE ENSAYO IE-271021-02

Página 1 de 3

**TABLA N°2: RESULTADOS DE METALES TOTALES (Continuación)**

PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO DE ENSAYO	RESULTADOS
Bismuto, Bi	mg/L	EPA METHOD 200.7 (Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry)	<0.009
Calcio, Ca	mg/L		77.9113
Cadmio, Cd	mg/L		<0.0001
Cerio, Ce	mg/L		<0.02
Cobalto, Co	mg/L		<0.002
Cromo, Cr	mg/L		<0.0003
Cobre, Cu	mg/L		0.0340
Hierro, Fe	mg/L		<0.001
Mercurio, Hg	mg/L		<0.001
Potasio, K	mg/L		4.8994
Litio, Li	mg/L		<0.0003
Magnesio, Mg	mg/L		17.5824
Manganeso, Mn	mg/L		0.0084
Molibdeno, Mo	mg/L		<0.0006
Sodio, Na	mg/L		20.4529
Niquel, Ni	mg/L		<0.0003
Fósforo, P	mg/L		<0.01
Plomo, Pb	mg/L		<0.002
Antimonio, Sb	mg/L		<0.002
Selenio, Se	mg/L		<0.001
Silicio, Si	mg/L		3.0265
Estaño, Sn	mg/L		<0.001
Estroncio, Sr	mg/L		0.7538
Torio, Th	mg/L		0.0271
Titanio, Ti	mg/L		<0.0007
Talio, Tl	mg/L		<0.0007
Uranio, U	mg/L		<0.005
Vanadio, V	mg/L		<0.0002
Zinc, Zn	mg/L	0.2178	

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.

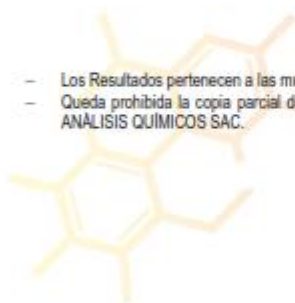
  
 DIEGO ROMÁN VERGARAY ESPINOZA  
 QUÍMICO  
 CQP. 1337

**ANEXO N°1: EQUIPO UTILIZADO**



**Figura N°1: Equipo ICP OES**

- Los Resultados pertenecen a las muestras entregadas al laboratorio.
- Queda prohibida la copia parcial de este informe sin el consentimiento por escrito de SISTEMA DE SERVICIOS Y ANÁLISIS QUÍMICOS SAC.



DIEGO ROMÁN VERGARAY D'AMICO  
QUÍMICO  
CQP. 1337

## Anexo 4

### Verificación operacional Espectrómetro ICP optima 4300dv

	<b>VERIFICACIÓN OPERACIONAL ESPECTRÓMETRO ICP OPTIMA 4300DV</b>	Código: MPICP4300/REP-01 Edición: 02/Revisión: 02 Fecha de Revisión: 01/11/20 Elaborado: RD <b>Nro. Reporte: 2111221RD</b>
---	---	--

<b>CONFIGURACIÓN EVALUADA:</b>		<b>ACCESORIOS / COMPONENTES, NO INCLUIDOS en la descripción del modelo pero utilizado en la prueba.</b>
<b>Modelo</b> ICP4300DV	<b>No. Serie</b> 077N0072701	<b>Código de Equipo</b> EL-LAB-100
<b>Equipo de Prueba</b> Medidor de presión de gas	<b>Número de Serie</b> N069T114	
<b>Estándares Utilizados</b>	<b>Número de Lote</b>	<b>Fecha de Expiración</b>
N069 1579 Multi element Standar	3-168MJX1	30-07-2022
N930 0221 Dilucion 1/100	54-134CRY1	30-08-2022
N058 2152 Calmix 3	2-182MJX1	30-12-2021
N930 2946 Vis Wavecal Mix	53-096CRT1	30-06-2022
<b>Suministrado por Cliente</b> Agua	<b>Observaciones</b>	<b>Iniciales de Cliente</b> A. V.





**VERIFICACIÓN OPERACIONAL  
ESPECTRÓMETRO  
ICP OPTIMA 4300DV**

Código: MPICP4300/REP-01  
Edición: 02/Revisión: 02  
Fecha de Revisión: 01/11/20  
Elaborado: RD  
**Nro. Reporte: 2111221RD**

**No. DE CERTIFICADO:** 2111221RD **FECHA DE EVALUACIÓN:** 22 de Noviembre del 2021

**1. RESOLUTION**

RES-ONLY-XL, la réplica más alta de la muestra RES (N069-1579) encontrada en pe\7300AT\temporary files\analysis.log

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696-Res	≤ 0.007	0.00523	Pasó
Ni 231.604-Res	≤ 0.008	0.00765	Pasó
Ni 341.476-Res	≤ 0.012	0.00903	Pasó
La 408.672-Res	≤ 0.020	0.01873	Pasó
Ba 455.403-Res	≤ 0.025	0.02321	Pasó

**2. PRECISION:**

Precision-XL, para la muestra RSD STD (N069-1579)

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696	≤ 1.0%	0.58	Pasó
Zn 213.856	≤ 1.0%	0.19	Pasó
Mn 257.610	≤ 1.0%	0.01	Pasó
La 379.478	≤ 1.0%	0.19	Pasó
Ba 455.403	≤ 1.0%	0.27	Pasó
Ba 493.408	≤ 1.0%	0.07	Pasó

**3. RADIAL DETECTION LIMIT**

DL-2-RL, para la muestra IDL (2% HNO3), guardar valor en muestra de Std Dev

ELEMENTO	ESPECIFICACIÓN	VALOR MEDIDO	PRUEBA
As 193.696	≤ 60 ug/L	26.37	Pasó
Zn 213.856	≤ 2 ug/L	1.023	Pasó
Mn 257.610	≤ 0.75 ug/L	0.651	Pasó
La 379.478	≤ 3 ug/L	0.852	Pasó
Ba 455.403	≤ 0.3 ug/L	0.234	Pasó
Ba 493.408	≤ 0.6 ug/L	0.54	Pasó



**VERIFICACIÓN OPERACIONAL  
ESPECTRÓMETRO  
ICP OPTIMA 4300DV**

Código: MPICP4300/REP-01  
Edición: 02/Revisión: 02  
Fecha de Revisión: 01/11/20  
Elaborado: RD  
**Nro. Reporte: 2111221RD**

No. DE CERTIFICADO: 2111221RD FECHA DE EVALUACIÓN: 22 de Noviembre del 2021

**4. CALIBRACIÓN DE LA LONGITUD DE ONDA**

**COEFICIENTES UV**

-0.27917	≤	1.50
-1.32274	≤	1.50
5.15499	≤	6.00

: RSD ≤ 2.00 = 0.53

**COEFICIENTES VIS**

0.16710	≤	2.00
-1.00746	≤	2.00
2.70786	≤	8.00

RSD ≤ 2.00 = 1.28

Intensidad de la lámpara de mercurio: 7105173.8  
Valor de Slit: 1898

Conclusión: Todas las pruebas pasaron satisfactoriamente.

Este documento deja CONSTANCIA que el Instrumento ICP **OPTIMA 4300DV** con número de serie: **077N0072701**

**Cumple**

Las especificaciones del fabricante indicadas en este documento.

HUROLAB S.A.C

  
ROLANDO DIAZ  
Especialista Técnico

REPRESENTANTE EMPRESA HUROLAB

**ANEXO N° 5**

**Toma de muestra del agua del canal CIMIRN**



*Figura 23. Canal CIMIRN Hualhuas.*



**Figura 24.** Toma de muestra del canal de riego CIMIRN.

## ANEXO N° 6

### Obtención y multiplicación del material a utilizar



**Figura 25.** Esqueje de vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).



**Figura 26.** Esquejes de vetiver sumergidos en agua con estiércol a los 5 días.



**Figura 27.** Esquejes sumergidos a los 10 días.



*Figura 28. Hijuelos de vetiver.*





**Figura 29.** Preparación de la tierra con abono.



*Figura 30. Bandejas de Tecnopor.*



*Figura 31. Trasplanto de esquejes.*

## ANEXO N°07

### Aclimatación de la planta al medio acuático (fitorremediación en agua)



**Figura 32.** Plantas de vetiver sumergidas en agua con estiércol para su aclimatación en agua.

## ANEXO N°08

### Implementación del estanque vetiver y proceso de fitorremediación en agua



*Figura 33. Vista del lugar de tratamiento.*



**Figura 34.** Estanque para el tratamiento de 2.69 m x 1.70 m x .61 m



**Figura 35.** *Planta vetiver lista para el tratamiento.*



**Figura 36.** *Agua del canal CIMIRN para el tratamiento.*



**Figura 37.** Estanque de tratamiento con 2000 l y 70 plantas vetiver, 7.6 kg.





*Figura 38. Tratamiento a los 8 días.*



*Figura 39. Tratamiento a los 14 días.*



*Figura 40. Tratamiento a los 24 días.*



**Figura 41.** Tratamiento por fitorremediación a los 30 días.



*Figura 42. Planta vetiver a los 45 días.*



*Figura 43. Bandejas flotantes con la planta vetiver a los 45 días.*



**Figura 44.** Vista de las raíces a los 45 días.



**Figura 45.** Vista de los esquejes y raíces del manjo de vetiver a los 45 días.