

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“REMOCIÓN DE METALES (As, Cd, Fe, Mn)  
MEDIANTE UN HUMEDAL ARTIFICIAL FLOTANTE  
CON *EICHHORNIA CRASSIPES* Y *SCIRPUS*  
*CALIFORNICUS* EN AGUAS SUPERFICIALES DE  
LA QUEBRADA EL SINCHAO, HUALGAYOC,  
CAJAMARCA, 2023”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniero Ambiental**

**Autores:**

Cleiver Ruiz Tarrillo

Ana Jhoselyn Vargas Castañeda

**Asesor:**

Mg. Ing. Carlos Alberto Alva Huapaya

<https://orcid.org/0000-0002-0983-3151>

Cajamarca - Perú

2024

## JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	<b>GLADYS SANDI LICAPA REDOLFO</b>	<b>41379556</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>HANIEL JOSUE TORRES JOAQUIN</b>	<b>45772010</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>CARLOS ALBERTO ALVA HUAPAYA</b>	<b>06672420</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### Tesis Cleiver y Ana Corregida

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>visorsig.oefa.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>repositorio.upagu.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ana.gob.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Universidad Privada del Norte</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>1library.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.unfv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unsm.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.unasam.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>

## DEDICATORIA

A mi familia que ha velado siempre por mí, por su apoyo incondicional, aquellos que forjaron el adulto que soy ahora. gracias a ellos pude cumplir mis metas, día a día me motivaron a poder alcanzar mis más anhelados sueños. En memoria al talentoso Ing. Antonio Vargas Linares mi querido tío que de cariño te llamábamos Toño, cuyo ser me influyo a ser el profesional que soy ahora, sus sabios consejos y conocimientos marcaron en mi como una brújula que guía mi vida. lamentablemente, aunque tu presencia física ya no esté con nosotros tu gran legado perdurara conmigo, gracias por ser mi inspiración.

**Ana Vargas Castañeda**

Dedico esta tesis con todo mi amor y cariño a Dios, que me ha dado la vida y una familia maravillosa. En especial, a mis padres, que han sido mi fuente de amor, apoyo y motivación. Gracias, papá y mamá, por darme la oportunidad de estudiar y aprender, por creer en mí, incluso cuando yo no creía en mí mismo, por estar siempre a mi lado, en los buenos y en los malos momentos, su amor y su apoyo han sido fundamentales para que yo pudiera llegar hasta aquí. Los amo con todo mi corazón.

**Cleiver Ruiz Tarrillo**

## AGRADECIMIENTO

A Dios por estar a mi lado y darme las fuerzas para poder cumplir mis sueños, por siempre bendecirme acompañarme en los momentos buenos, malos y sobre todo en los peores. A Mis Padres que, aunque no pudieron darme todo lo que necesitaba con sus consejos y palabras todo fue suficiente. A Mis Hermanas por siempre creer en mí, por su paciencia, su amor y consejos. A Mis Tíos que más que tíos son como mis padres su amor fue mi gran fortaleza. A Mi Novio por su amor incondicional, te agradezco porque a pesar de mis frustraciones y mal carácter siempre estas apoyándome, muchas gracias por tu comprensión

**Ana Vargas Castañeda**

A mis Padres, gracias por todo lo que han hecho por mí, gracias por darme la vida, por cuidarme y educarme, por enseñarme el valor del trabajo, del esfuerzo y de la superación, gracias por estar siempre a mi lado, apoyándome en mis sueños y mis metas, su apoyo y aliento han sido fundamentales para mi éxito, no podría haber llegado tan lejos sin ustedes.

Esta tesis es un reconocimiento a su sacrificio y a su dedicación, los amo con todo mi corazón. A mi Hermana, gracias por estar siempre ahí para mí, por apoyarme y animarme.

Gracias por ser mi mejor amiga y compañera de aventuras, me siento agradecido por tu ayuda, ya que ha sido fundamental para este gran logro.

**Cleiver Ruiz Tarrillo**

## Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	10
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	12
1.1. Realidad problemática	12
1.2. Formulación del problema	29
1.3. Objetivos	30
1.4. Hipótesis	31
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	32
CAPÍTULO III: RESULTADOS	49
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	77
REFERENCIAS	85
ANEXOS	94

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> Estándares de calidad ambiental para agua de riego de vegetales .....	24
<b>Tabla 2</b> Taxonomía de la planta jacinto de agua.....	25
<b>Tabla 3</b> Selección de especies vegetales .....	45
<b>Tabla 4</b> Resultados de las características fisicoquímicas del agua .....	50
<b>Tabla 5</b> Datos requeridos para el diseño del humedal .....	60
<b>Tabla 6</b> Dimensionamiento del humedal flotante .....	61
<b>Tabla 7</b> Características fisicoquímicas del agua tratada con los humedales.....	65
<b>Tabla 8</b> Eficiencia de los humedales de tratamiento flotante.....	74

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> H.A. de flujo superficial.....	22
<b>Figura 2</b> Humedal de Flujo Subsuperficial, Verticales y Horizontales .....	22
<b>Figura 3</b> Ubicación de Cajamarca.....	34
<b>Figura 4</b> Ubicación del Distrito de Hualgayoc. ....	35
<b>Figura 5</b> Ubicación del humedal construido .....	40
<b>Figura 6</b> Ubicación geográfica de la toma de muestra en la quebrada Sinchao. ....	43
<b>Figura 7</b> Parámetro pH.....	51
<b>Figura 8</b> Parámetro de DBO5 .....	52
<b>Figura 9</b> Parámetro de DBO .....	52
<b>Figura 10</b> Parámetro de oxígeno disuelto .....	53
<b>Figura 11</b> Comparativa del parámetro conductividad.....	53
<b>Figura 12</b> Comparativa del parámetro sulfatos.....	54
<b>Figura 13</b> Comparativa del parámetro fluoruros.....	55
<b>Figura 14</b> Parámetros Cloruro.....	55
<b>Figura 15</b> Comparativa del parámetro arsénico.....	56
<b>Figura 16</b> Comparativa del parámetro cadmio .....	56
<b>Figura 17</b> Comparativa del parámetro hierro.....	57
<b>Figura 18</b> Comparativa del parámetro manganeso .....	58
<b>Figura 19</b> Planta general del humedal.....	61
<b>Figura 20</b> Sección de lecho filtrante .....	62
<b>Figura 21</b> Perfil humedal con punto de salida .....	62
<b>Figura 22</b> Planta de niveles de lecho filtrante.....	63
<b>Figura 23</b> Planta de humedal con de ingreso y salida con especies sembradas.....	63
<b>Figura 24</b> Parámetro de potencial hidrógeno después del tratamiento .....	67

<b>Figura 25</b> Parámetro de conductividad después del tratamiento .....	67
<b>Figura 26</b> Parámetro de DBO <sub>5</sub> después del tratamiento.....	68
<b>Figura 27</b> Parámetro de DQO después del tratamiento.....	68
<b>Figura 28</b> Parámetro de oxígeno disuelto después del tratamiento.....	69
<b>Figura 29</b> Parámetro de sulfatos después del tratamiento .....	69
<b>Figura 30</b> Parámetro de fluoruros después del tratamiento.....	70
<b>Figura 31</b> Parámetro de cloruros después del tratamiento .....	70
<b>Figura 32</b> Parámetro de arsénico después del tratamiento .....	71
<b>Figura 33</b> Parámetro de cadmio después del tratamiento.....	71
<b>Figura 34</b> Parámetro de hierro después del tratamiento.....	72
<b>Figura 35</b> Parámetro de manganeso después del tratamiento .....	73
<b>Figura 36</b> Remoción de contaminantes mediante el humedal de tratamiento flotante .....	76

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo evaluar la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante (HAF), incorporando las especies *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, Hualgayoc, Cajamarca. Se empleó una metodología cuantitativa, descriptiva y experimental, con una muestra representada por el volumen de agua contaminada (1000 litros). Se determinó la construcción óptima del humedal en base a las dimensiones de 1.07 metros de largo y ancho, con una profundidad de 0.80 metros. Los resultados mostraron una remoción de 100% para Cd, 99% para Fe, 98% para As, 69% para Mn considerando un tiempo de retención hidráulica de 7 días. Asimismo, se obtuvo también una remoción para Fluoruros del 96%, para Sulfatos, 90%, con una reducción de Conductividad en 62% y DBO5, 44%. Por ende, se concluye que el tratamiento a través del humedal artificial flotante demostró una remoción promedio del 82%, indicando su potencial como solución viable para la depuración de aguas contaminadas con metales pesados, en concordancia con los requisitos ambientales.

**PALABRAS CLAVES:** Humedal artificial flotante, remoción de metales, agua superficial.

## ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the removal of metals, arsenic (As), cadmium (Cd), iron (Fe) and manganese (Mn) using a floating artificial wetland (HAF), incorporating the species *Eichhornia crassipes* and *Scirpus californicus* in surface waters of the El Sinchao stream, Hualgayoc, Cajamarca. A quantitative, descriptive and experimental methodology was used, with a sample represented by the volume of contaminated water (1000 liters). The optimal construction of the wetland was determined based on the dimensions of 1.07 meters long and wide, with a depth of 0.80 meters. The results showed a removal of 100% for Cd, 99% for Fe, 98% for As, 69% for Mn considering a hydraulic retention time of 7 days. Likewise, a removal of 96% for Fluorides, 90% for Sulfates, with a reduction in Conductivity of 62% and BOD5, 44%, was also obtained. Therefore, it is concluded that the treatment through the floating artificial wetland demonstrated an average removal of 82%, indicating its potential as a viable solution for the purification of water contaminated with heavy metals, in accordance with environmental requirements.

**KEYWORDS:** Floating artificial wetland, metal removal, surface water.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

En la actualidad, a nivel mundial, el problema más catastrófico que enfrenta la humanidad últimamente se relaciona con la polución del agua a causa del incremento de tasa poblacional, la industrialización y la globalización, que está teniendo enormes impactos en el medio ambiente, incluyendo el desecamiento por relleno con escombros de los humedales naturales (Delvalle-Borrero et al., 2022). Los principales contaminantes del recurso hídrico están originados en operaciones de los humanos que vulnera el suelo para regiones civilizadas, en todo caso, en zonas rurales también existe contaminación.

Esto debido a aguas servidas que contienen residuos químicos, excretas humanas y animales, residuos industriales, petróleo, residuos de minería y los residuos propios de la agricultura, puesto que se usan fertilizantes, antibióticos e insecticidas. En muchos de los países desarrollados existen políticas regulatorias que sirven como medidas preventivas y de control de la polución del agua, sin embargo, en países subdesarrollados, aunque existen estas políticas, no se cumplen en su mayoría. Esta situación a la cual se enfrenta la población mundial es dramática, atentando contra el bienestar de las personas, así como a las especies vegetales y animales (Gómez-Duarte, 2018).

En cuanto al Perú, la contaminación hídrica conduce a la fragilidad de los ecosistemas acuáticos generando una gran destrucción a la biodiversidad (Cusiche y Miranda, 2019). Además, según Villena (2018) debido al sistema de los Andes y la dependencia económica de la actividad extractiva de minerales, existe un aumento en la rapidez de las dispersiones de los contaminantes químicos, especialmente metales, generando una situación que empieza a descontrolarse, debido a que se ha encontrado presencia de metales pesados en la sangre, evidenciando una grave problemática. Es por eso que según el Ministerio del Ambiente (2018)

se viene impulsando iniciativas para poder reducir la contaminación presente en ríos y así lograr regenerar la calidad de las aguas.

En cuanto al ámbito de estudio, Afan y Flores (2018) mencionan que en Cajamarca se ha encontrado proximidad de metales pesados estos son un peligro severo para la salud de la humanidad, destacando el plomo y arsénico en el agua de consumo humano y ausencia de control sanitario sobre la calidad hídrica, evidenciando un panorama de contaminación. Dentro de las importantes procedencias de la problemática están las actividades mineras (Palomino, 2019) que en consecuencias generan impactos ambientales y en la población.

En Cajamarca afirma existen otras causas como el desarrollo urbano, actividades como la ganadería y la agricultura, siendo estas acciones agropecuarias con mayor impacto en los ríos, así mismo, Pérez (2022) determina que las principales causales son: las tuberías de desagüe, criaderos de animales, residuos sólidos, eliminación de desmontes, la utilización de fertilizantes en actividades ganaderas e inclusive lavaderos de vehículos y ropa ya que se usan detergente.

Entre otros casos se encuentra la Provincia de Hualgayoc que se ha desarrollado la explotación de minería durante décadas dejando atrás pasivos mineros abandonados, siendo específicos en la zona del Sinchao, dónde se presencia de 17 pasivos mineros que generan un riesgo alto para la salud de la población debido a la contaminación del agua, la cual es aplicada en la ganadería y agricultura. En las quebradas de Sinchajo, se presencia de aguas ácidas no monitoreadas, metales pesados en sus parámetros y no tratadas, que alteran en su totalidad el ecosistema natural y con posibles estragos a la salud en la población generando de esa manera impactos negativos (Cleza & Guevara, 2020). Los principales contaminantes que se tienen son sulfatos, fluoruros, cloruros, arsénico, cadmio, hierro, manganeso, siendo parte de estos metales pesados, Cheng et al. (2002) indica que la presencia de estos metales pesados en el

agua, tanto en ríos y lagos como en depósitos subterráneos, representa un grave problema ambiental, ya que esta contaminación no solo afecta a los ecosistemas acuáticos, sino que también pone en riesgo la salud humana al contaminar el agua que consumimos, pues a diferencia de los contaminantes orgánicos que se descomponen naturalmente, los metales pesados no se degradan por procesos biológicos, es decir, que no se eliminan por sí solos y deben ser extraídos para descontaminar el agua, por ello, la fitorremediación surge como una herramienta eficaz para la limpieza de agua y suelo contaminados, esta técnica utiliza la capacidad de las plantas para absorber, eliminar, desintoxicar o estabilizar contaminantes persistentes como los metales pesados.

Lo más importante de la presente investigación radica en concretar una alternativa de solución frente a la alteración de los sistemas acuáticos de la quebrada El Sinchao en Cajamarca, siendo el sistema de humedal de flujo superficial un tratamiento de fácil mantenimiento, como una solución a la problemática, aprovechando la capacidad de eliminación de las plantas, y la mejora del estado y la calidad del agua (Delvalle-Borrero et al., 2022). Es por tal razón que a través del siguiente estudio se pretende generar una alternativa de biorremediación de agua a través de los humedales de flujo superficial para la mejora de parámetros o características del agua que es utilizado para la producción agrícola, permitiendo minimizar la problemática que afecta a los pobladores.

### **1.1.1. Antecedentes**

#### **Antecedentes Internacionales**

En el contexto internacional, se cita a Torrez (2021) Con su investigación de *"Implementación de humedales artificiales como un sistema para mejorar la calidad del agua en el municipio de Achocalla"* para optar el Título de Ingeniero Agrónomo en la Universidad de Mayor de San Andrés en la Ciudad de la Paz de Bolivia. Como principal objetivo fue

implementar humedales artificiales para que de esta forma se logre mejorar la calidad de agua en Achocalla dentro de la comunidad de Marquirivi, por lo que se optó por utilizar metodología aplicada con diseño experimental, teniendo como resultados las pruebas de laboratorio mostraron que calidad de agua de la zona es media, con gran contenido de calcio y magnesio, y con contenido de nutrientes a niveles normales, además de no mostrar contaminación por metal, posterior a su aplicación se puede mostrar un cambio en los valores, el calcio pasó de 106mg/L a 93mg/L, de la misma manera con el magnesio, pasando de 48mg/L a 35mg/L, a su vez cambió la resistencia del agua, de 31,01mg/L a 24,25 mg/L. Finalmente llegó a la conclusión mediante sus resultados de que el tratamiento de aguas aplicado, con la utilización de humedales tiene resultados notorios.

En tanto González y Hernández (2020) en su investigación desarrollo la "*Evaluación de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas por plantas ornamentales mediante humedales flotantes en el Cantón Militar de Apiay, Villavicencio (Meta)*", para optar el título de Ingeniero Ambiental Universidad Santo Tomás en Colombia. Planteó como objetivo analizar el empleo de plantas ornamentales para eliminación de cargas contaminantes, para realizar un tratamiento mediante un diseño experimental con una metodología aplicada, teniendo como resultado que la especie *Heliconia psittacorum* tiene mayor remoción, puesto que se tienen los siguientes valores: BDO5 resultó en 23,21%, asimismo SST tuvo un valor de 62,66%, mientras que el P-PO4 resultó en 88,77% y finalmente el NT tuvo un resultados de 32,20%, a comparación de la especie *Alpinia purpurata*, que tuvo como resultado de DBO5 en 36,14%, SST de 61,91% y P-PO4 en 46,35%. Concluyendo en que es una alternativa viable el empleo de plantas ornamentales en el tratamiento de ARDS, pudiendo trabajar a la par de las lagunas de estabilización.

Así también Quevedo (2021) publicó una investigación del "*Diseño y construcción de humedal artificial para la recuperación de aguas residuales en la población de Alcalá*" en la Revista Ciencia, Tecnología e Innovación Scielo de Bolivia. Tuvo como propósito diseñar y construir un humedal artificial para utilizar la fitorremediación como técnica para el reutilizar aguas residuales, la investigación presenta una metodología aplicada, teniendo como resultado que el uso de humedales como estrategia para el tratamiento de aguas residuales tiene grandes beneficios, puesto que presenta una alternativa económica ya que es construido por los mismos pobladores y a su vez puede hacerse llegar a otras comunidades para fomentar la disminución de contaminantes. Se concluye que el diseño del humedal constó de un flujo horizontal subsuperficial para el tratamiento biológicos de las aguas residuales utilizando *Eichhornia crassipes*, *Lemna sp*, *Scirpus californicus*, *Hoenoplectus lacustris* y *Hoenoplectus lacustris*. Las especificaciones técnicas para la construcción del humedal fueron una carga orgánica afluente menor a 150 DBO5 kg/ ha, una carga hidráulica menor a 5cm/d, el tiempo de retención hidráulica fue de 5 a 15 días, el área de diseño fue de 20 a 80 m<sup>2</sup>, y se tuvo una profundidad de 0,60 m a 1 m.

Por su parte, Granados (2018) realizó un "*Estudio De Factibilidad De La Implementación De Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales*" realizo un trabajo de Grado en Especialista de Gremia Ambiental de la Universidad Libre de Colombia. Tuvo como principal objetivo verificar la factibilidad de la utilización de humedales para complementar el tratamiento de aguas, se tuvo como resultado al realizar una comparación entre las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna Minor*, ambas tiene resultados óptimos para la remoción de DBO sin embargo, la primera especie tiene mejor remoción de DQO y a la vez absorción de hierro, cadmio, fósforo, arsénico y cobre, por otro lado, la segunda especie tiene buena remoción en cuanto a zinc, cromo y plomo se refiere. En cuanto al tratamiento mediante

el humedal artificial se obtuvo una eficiencia de remoción de 53,1% para DBO, 36,6 % para DQO y 75,7% para los SST.

Almache y Sinchiguano (2019) desarrolla la investigación de las “*Islas Flotantes Artificiales con PASTO GUINEA como alternativa para la remoción de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) en el agua procedente del río Cutuchi*”, tesis para obtener el Título de Ingeniero en Medio Ambiente en Ecuador. Siendo como principal objetivo evaluar el efecto de la aplicación de la variable independiente en aguas contaminados con TPH, teniendo en cuenta la utilización una metodología aplicada con un diseño experimental, se tuvo como resultado que la matriz flotante es apta para el desarrollo de la especie a tratar, puesto que se ha demostró el crecimiento de la misma, a su vez, se demostró que tiene una remoción de TPH de 84,04%, mostrando su gran eficiencia. Por lo que se concluye con fundamento de los análisis realizados en el laboratorio, es posible y tiene grandes resultados la utilización del pasto guinea para los tratamientos de aguas residuales ya que presentaron una eficiencia de remoción para TPH de 80.04 %, y para nitratos fue de 95.63%.

### **Antecedentes nacionales**

En nuestro país, se evidencia el estudio Mena (2022) con el título de “*Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas*” para obtener el grado de Doctor de Ciencias Ambientales en la UNMSM de la ciudad Lima en Perú. Que determinó el nivel de competencia al haber empleado un marco de humedal a escala piloto, dentro del tratamiento para los efluentes domiciliarios dentro del municipio de Nueva Esperanza. El método es de tipo aplicada y plan cuasi-experimental, obteniendo como resultados una eficiencia máxima en los parámetros químicos como en DBO del 72%, en DQO del 68% y en los Aceites y Grasas del 66% y una eficiencia máxima en la eliminación de Níquel del 94,73%; Plomo del 84,36% y el Cadmio del 78,48%. Finalmente concluyó que a través del

sistema de humedales se logra una reducción eficiente y significativa de los metales pesados y componentes químicos.

En la investigación de Mellado (2018) realizó la investigación "*Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas*" en la Universidad Nacional Federico Villarreal. Tuvo como objetivo establecer la efectividad entre diversas especies de macrófitas para el tratamiento de aguas domiciliarias residuales por humedales de arroyos subterráneos. El estudio fue prospectivo descriptivo con corte longitudinal, en la que obtuvo como resultados una eficiencia máxima en la remoción de la DBO de 87% para el junco, en la DQO de 72,85% para el carricillo, en los Fosfatos de 47,96% para carricillo y para los Aceites y grasas de 97,10 % para totora. Como conclusión, la aplicación de especies de macrófitas en desarrollo logra altas tasas de evacuación de parámetros fisicoquímicos.

En tanto Cubas y Mireles (2020) realizó la investigación "*Eficiencia del humedal artificial con totora en la depuración de efluentes de las lagunas de estabilización*", para obtener el título profesional de Ingeniero Ambiental en la Universidad de Lambayeque. tuvieron como principal objetivo establecer la aptitud de un falso humedal con la utilización de totora para la descontaminación de efluentes de las pozas de estabilización mediante métodos cuantitativos y diseños experimentales en la que tuvo como resultados una notable remoción de DQO, sólidos disueltos totales y Coliformes totales y fecales en un 71%, 73% y 100% respectivamente. Finalmente concluyeron que la humedad artificial presenta una evacuación exitosa de parámetros químicos.

Flores y Huamán (2018) crea un "*Sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la comunidad campesina de Ocopa*", para obtener el título profesional de Ingeniero Civil de la Universidad Nacional de Huancavelica. Teniendo

como objetivo principal realizar un diseño para el sistema de depuración de aguas residuales en un humedal artificial de tipo flujo superficial. La investigación es de tipo aplicada, diseño no experimental, obteniendo como resultados una reducción promedio del 35% en sólidos suspendidos totales (SST), en DBO 27,59%; en DQO 18,68%; en Aluminio 36,91%; en Nitrógeno total 37,72%; en Fósforo total 34,47%, en Grasas y aceites 32,67%; en PH 19,59% y 34,35% en Coliformes totales. Finalmente se concluye que el tratamiento diseñado para aplicar permite que los patógenos de las aguas residuales se reduzcan eficazmente.

La presente investigación realizada por Licapa et al. (2022) con el título "*Tiempo de Retención y Composición del Sustrato en Humedales Artificiales en la Remoción de Hierro y Cobre del Drenaje ácido de Mina*", publicado en la Revista LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology. Tuvo como objetivo en determinar la composición del sustrato y el cobre del drenaje ácido presente en mina en la influencia de retención de tiempo en humedales artificiales. El método es aplicado y experimental. Se construyó dos sistemas de humedales artificiales con 1.08 m de largo, 0.72 m de ancho y 1.00 m de profunda para el proceso. Para ello se hizo uso de grava con medida de 1 a 1,5 pulgadas de diámetro para dar un mejor soporte a las raíces de la totora (*Scirpus californicus*). El avenamiento ácido de mina se procesó por un periodo de 48 horas, de donde se tomaron muestras cada 12 horas así determinar la concentración de cobre y hierro mediante análisis de absorción atómica. Se mostraron los resultados del tratamiento del sustrato con una composición de estiércol de vaca 80%, de musgo 20% y aserrín (1:1) mostraron que se eliminaron de hierro un 97,66% y de cobre un 90,12% en un tiempo de retención de 48 horas. En conclusión, la remoción de cobre y hierro depende del tiempo (48 horas) y de la composición del sustrato (80% de estiércol y 20% de musgo y aserrín).

## **Antecedentes locales**

En relación con los antecedentes dentro del ámbito local, se evidencia la investigación de Nuñez et al. (2019) en el artículo de la Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo publicó la investigación "*Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en Cajamarca*". Tuvieron como propósito determinar la eficacia de *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas. El método es tipo aplicado, diseño experimental y de nivel explicativo en la cual tuvieron como resultados una remoción de Aceites y grasas del 76%, DBO del 95%, DQO del 92%, sólidos suspendidos totales (SST) del 95% y turbidez del 96%, además del 64% de remociones de Nitrógeno amoniacal. Finalmente concluyen que el sistema de fitorremediación logra niveles altos de eliminación de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

### **1.1.2. Marco Teórico**

De acuerdo a lo señalado anteriormente, se constituyen aportes importantes en el empleo de humedales de tratamiento flotante para mejorar la calidad de agua que tienen como finalidad el regadío de vegetales, que se convierten en la base para iniciar la investigación que se desarrolló; en este sentido, se trató de darle la dirección y el sustento práctico y teórico que necesita para caracterizar científicamente el problema en estudio, por lo que se describió cada variable de estudio con sus dimensiones e indicadores respectivos.

Los humedales son todos los ecosistemas cuyos terrenos están sujetos a inundaciones frecuentes o periódicas, tanto en ambientes de agua dulce como en ambientes con cierta salinidad. De esta manera, se destaca la capacidad natural innata y se han vuelto muy populares para fines de purificación de agua (Colares et al., 2020). Este sistema incluye el desarrollo del cultivo de plantas acuáticas enraizadas en gravas impermeables, cuya actividad genera una

compleja serie de reacciones físicas, químicas y biológicas que permiten filtrar paulatina y paulatinamente las aguas residuales que ingresan (Kingsford et al., 2021).

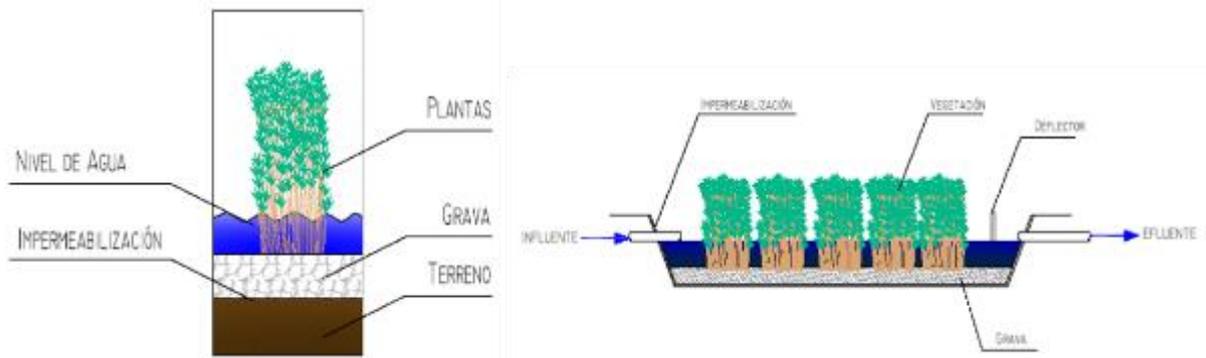
Es así que, para el presente estudio se ha tomado en consideración las siguientes dimensiones del Humedal. En primer lugar, se ha considerado los componentes, según Zhou et al., (2020) la función de un humedal consta de tres componentes además del agua, que sirve para tratar y representan un componente dominante mayor: el primero es el sustrato, este brinda un soporte adecuado para el crecimiento de microorganismos que serán los responsables de los cambios biológicos en los humedales (Kataki et al., 2021); el segundo componente es la vegetación, especies vegetales acuáticas, ya que suministran una superficie para la disposición de las capas bacterianas, ayudan en la filtración y absorben contaminantes del agua, entre otras funciones y mecanismos de eliminación (Taddeo y Dronova, 2018).

El último componente es la comunidad microbiológica, son conjuntos de microorganismos que se han adaptado a las características cambiantes del agua a tratar, y que pueden incrementarse rápidamente cuando la relación energía/contaminación del agua es óptima para ellos (Zhou et al., 2020). En segundo lugar, se menciona de la dimensión clasificación, según Soler et al. (2018), los humedales se categorizan en relación con la cantidad de agua expuesta a la atmósfera (humedal de flujo superficial) y la vegetación (humedal de flujo subsuperficial,)

El primero como se detalla en la Figura 1 son islas flotantes artificiales, también conocidas como esteras ecológicas flotantes, que se caracterizan por la superficie del agua en relación con el medio ambiente circula sobre el suelo en estanques o lagos estancos para mantener una distancia estratégica de la polución venosa, en presencia de vegetación en crecimiento, crecen principalmente por encima de la línea del agua, en cambio, las raíces de

las plantas se dilatan en la parte inferior, lo que proporciona un manejo eficaz durante la acomodación hidráulica.

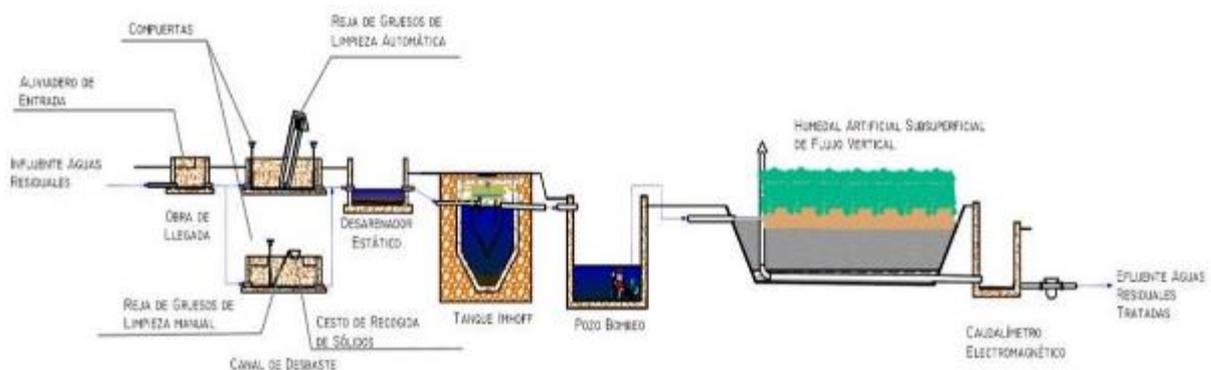
**Figura 1**  
*H.A. de flujo superficial.*



*Nota.* Adaptado de Salas (2018)

Como se detalla en la Figura 2 es un lecho de vegetación sumergida o también llamados falsos canales de humedales, que contienen un reservorio con medios adecuados de arena y/o grava, el cual sostiene la vegetación, se clasifican en: Flujo subsuperficial horizontal (FSSH), en los cuales se transporta el agua residual entrando en una dirección y continúa en la zona de tratamiento, y flujo subsuperficial vertical (FSSV), donde la entrada sucede a través de tuberías inferiores y superiores y no está conectada al medio poroso del componente (Salas, 2018).

**Figura 2**  
*Humedal de Flujo Subsuperficial, Verticales y Horizontales*



*Nota.* Adaptado de Salas (2018)

Como última dimensión del Humedal, mecanismo de eliminación, que viene hacer según Rajan et al. (2019) un sistema de humedales que es producto de la sinergia entre los resultados de la relación de los procesos biológicos, químicos y físicos y los componentes del sistema, y los humedales están diseñados para eliminar estos contaminantes, por lo que entender estos componentes es básico para asegurar que los humedales estén bien diseñados, asimismo el tamaño del humedal se puede ajustar para tratar de manera eficaz diversas sustancias, como DBO y DQO, entre otros.

Para eliminar minerales, contaminantes orgánicos y otros contaminantes, organismos y patógenos, a través de la aplicación de mecanismos biológicos, absorción con procesamiento de plantas y procesos físicos y químicos como sedimentación y adsorción (Wagner et al., 2020). En relación con la variable dependiente, según Ewaid et al. (2020) describe las propiedades químicas, físicas y biológicas presentes en el agua; depende principalmente de para qué lo vayas a usar.

Es así que para el presente estudio se ha tomado en consideración las siguientes dimensiones de la calidad del agua. En primer lugar, se ha considerado el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) que viene hacer según Huanca-Arohuanca et al. (2020) una herramienta de gestión ambiental creada para la medición del estado de la calidad del ambiente en el territorio nacional creado por el Ministerio del Ambiente, con la hoja de determinar los máximos valores permisibles de contaminantes en el ambiente.

La dimensión legislativa, con el Decreto supremo N° 004-2017-MINAM, hace referencia que el agua para riego de vegetales pertenece a la Categoría 3 y Subcategoría D1, El recurso hídrico utilizado en el sistema de riego de hortalizas se clasifica según el tipo de sistema de riego utilizado y el tipo de consumo, crudo o cocido. El agua gruesa, que es aquella da cumplimiento a los requisitos de calidad utilizados para el riego de cultivos que son

consumidos de forma cruda, se puede utilizar en sistemas de riego ilimitados. El agua para sistemas de riego limitados es aquella que da cumplimiento a los requisitos de calidad para el riego de cultivos que son consumidos de forma cocida (Ministerio del Ambiente, 2017).

**Tabla 1**

*Estándares de calidad ambiental para agua de riego de vegetales*

Parámetros	Unidad de medida	Categoría 3: D1 Riego de vegetales	
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH		6,5 – 8,5
Conductividad	( $\mu$ S/cm)		2 500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40
Oxígeno Disuelto	mg/L		$\geq 4$
Sulfatos	mg/L		1 000
Fenoles	mg/L		0,002
Fluoruros	mg/L		1
Cloruros	mg/L		500
Aceites y Grasas	mg/L		5
Arsénico	mg/L		0,1
Cadmio	mg/L		0,01
Hierro	mg/L		5
Manganeso	mg/L		0,2

*Nota.* Adaptado de Ministerio del Ambiente (2017)

Existen diferentes plantas adaptadas a medios húmedos llamadas acuáticas que son aplicadas para el tratamiento de agua, y algunas de ellas con óptimas en humedal tales como:

La planta llamada jacinto de agua o lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es uno de los vegetales más poríferos de la tierra, es una planta acuática, con básculas flotantes de un crecimiento muy rápido que se desarrolla en el agua (Guevara y Ramírez, 2015), siendo un hidrófilo perenne de flotación libre con ancho, espeso, brillante, hojas ovadas. El jacinto de

agua puede levantarse y crecer por encima de la superficie del agua alcanzando hasta 1 m de altura, siendo una monocoty herbácea perenne, miembro de la familia *pickerelweed* (*Pontederiaceae*), que se encuentra generalmente como una planta flotante con raíces largas y plumosas que puede tener más de 2 m de longitud (Kodituwakku y Yatawara, 2020).

**Tabla 2**

*Taxonomía de la planta jacinto de agua*

N°	Reino	Vegetal
1	Subreino:	<i>Fanerógama</i>
2	Tipo:	<i>Angiosperma</i>
3	Clase:	<i>Monocotiledónea</i>
4	Subclase:	<i>Super ovárica</i>
5	Serie:	Periantanas
6	Familia:	Ponterderiaceae
7	Género:	<i>Eichhornia</i>
8	Especie:	<i>Crassipes</i>

*Nota.* Adaptado de Santa y Tantaleán (2020)

La absorción del lirio acuático se afilia a varias investigaciones experimentales, asimismo demuestras que según las épocas de estación pueden mejorar su capacidad nutritiva, siendo el verano de las temperaturas super elevadas y favorables para el desarrollo de la planta (Rodriguez et al, 2022.). Mientras que los autores Licapa et al. (2022) realizó un estudio de bioadsorción en diferentes tintes industriales como el azul de metileno, el violeta cristal, el rojo Congo y el verde de malaquita, demostrando así su eficacia. Además, esta especie como uso de fitorremediación disminuye la carga de metales pesados como el cadmio (Cd), el plomo (Pb) y el mercurio (Hg) y nutrientes; es un método complementario de muy bajo costo y con un enfoque de recuperación de sistemas de humedales artificiales por su alta permisividad

fisiológica en el proceso de aguas residuales (Paredes & Ñique, 2018). Se puntúa que esta planta acuática es tiene mejor resultados ante una biorremediación por su depuración en metales pesados (Ayala, 2021).

La totora (*Scirpus californicus*) es una macrófita de ciclo anual de la familia Cyperaceae que fue utilizada por los indígenas que habitaban América durante más de 500 años para producir una amplia gama de objetos, desde artesanías hasta barcos y chozas; esta planta se caracteriza por ser herbácea permanentemente acuática, habita en lugares de pantanos, balsares, en lagunas, en la sierra y costa peruana, aproximadamente a 4,000 msnm de altitud (Hýsková et al., 2020). En cuanto a la taxonomía de la totora (*Scirpus californicus*), perteneciente a la clase Monocotiledoneae, familia Cyperaceae y al género *Scirpus*.

La totora (*Scirpus californicus*) es una especie vegetal de rápido desarrollo, la cual se genera aproximadamente 20 tn/ha/año llegando hasta 57 tn/ha/año, lo cual depende de los nutrientes del sustrato que se le aplica; asimismo, sin embargo según Hidalgo (2019) esta especie tiene un fase fenológica cada año, es decir que los tallos comienzan a secarse al año naciendo con ello nuevos brotes, esta especie en los humedales o pantanos de Huanchaco ubicado en la zona del norte costero, llega a crecer hasta la altitud de los 4500 msnm, lo mismo modo que sucede en de los lugares contiguas al Lago Titicaca.

Se desarrolló estudios que a través de las hojas de Totora es una manera factible de capacidad adsorbente para la descontaminación y limpieza de los efluentes provenientes de las industrias que esté compuesto de iones de Plomo (II) disuelto por su alta concentración (Pacheco, 2021). En su ámbito de la fitorremediación se le considera una especie bioacumuladora de metales pesados como el Cadmio y el Plomo (Acharte Lume y otros, 2019). Asimismo, esta planta *Scirpus californicus* (totora) se ha demostrado que se presencia alta

absorción de hierro en doce días mediante se raíz-rizomas, además su tallo sumergido también presenta esta función mientras que el tallo en la superficie una cantidad mínima (Cuadrado et al., 2020). En el proceso de biorremediación se caracteriza por tener un valor significativo de absorción en arsénico y plomo (Araujo Mayhua & Castro Ventura, 2021).

### 1.1.2.1. Fórmula de Kichuth

La fórmula de Kichuth, propuesta por primera vez por Kichuth (1977), se ha utilizado ampliamente para dimensionar los humedales subsuperficiales de flujo horizontal para el tratamiento de aguas residuales domésticas, asimismo, se emplea para calcular las constantes de tasa promedio en metros por día (m/d) (Abed, Mahmoud, & Sharma, 2016).

El Dr. Kichuth creó un sistema denominado "Método de Zona Radicular", que consistía en un humedal de flujo horizontal, en el cual plantó *P. australis*, añadiendo la combinación de calcio, y hierro o aluminio para provocar la precipitación de fósforo, este influyo en el estudio de los humedales en EE. UU, el cual se basó en los resultados de trabajos europeos, a través del estudio de humedales naturales (Vásquez, García, Méndez, Lass-man, & Sánchez, 2022). Además, esta ecotecnología también fue estudiada por la NASA, que desarrolló su propio sistema, al que llamaron "Sistema de tratamiento híbrido" porque utilizaba microorganismos anaeróbicos y plantas emergentes (Vymazal & Březinova, 2015).

### 1.1.3. Justificación

De relevancia económica, ya que es un sistema pasivo de remediación, más ventajoso económicamente porque es autónomo, una vez establecido es autosuficiente y no necesita la utilización de energía, abarca bajos costos de mantenimiento y funcionamiento , con una esperanza de vida compuesta de 15 a 20 años (Stefanakis, 2019), y por ende en la justificación social favorece a los habitantes porque los resultados de la investigación son una herramienta

para salvaguardar la seguridad alimentaria, fomentando el aumento y la competitividad de las actividades económicas rurales, principalmente las agropecuarias (Rivera et al., 2018).

Además, para la justificación ambiental se ha demostrado que los humedales de tratamiento flotantes permiten controlar la erosión y la sedimentación, como biofiltros sirven para mejorar la calidad del agua (Schoeman, 2018), asimismo, por su sistema que involucra plantas que absorben los nutrientes y los metales/elementos potencialmente tóxicos de las aguas residuales a través de sus raíces, mientras que la materia natural es corrompida por microorganismos, además, los contaminantes orgánicos que ya son absorbidos por las plantas son degradados por bacterias endófitas en la planta (Shahid et al., 2018).

De la misma forma, la justificación de manera teórica se enfoca en aportar información en el ámbito de la ingeniería ambiental sobre el efecto de este tipo de producto sobre la calidad del agua para demostrar su capacidad de remoción como una solución biotecnológica para habilitarla como uso de riego, potenciando la agricultura en las zonas con problemas de escasez hídrica, y salvaguardando el desarrollo de la alimentación (Rowan et al., 2018).

Además, la justificación metodológica se orienta en la construcción de una herramienta sostenible como una infraestructura verde que permite la disminución del consumismo de los recursos hídricos, la reutilización y el reciclaje del agua (Stefanakis, 2019). Mientras que la justificación práctica respalda en el beneficio de los resultados para abordar los desafíos asociados tanto con el saneamiento y la escasez de agua, como con la gestión de aguas residuales en áreas rurales, que afectan al ecosistema y los servicios ecosistémicos (Makopondo et al., 2020).

Por lo tanto, la justificación cultural pretende desarrollar altos niveles de concientización que incentiven comportamientos sostenibles y una cultura hídrica para el cuidado del entorno natural, donde el individuo guiado por su conciencia y su nueva

culturización puso en práctica lo aprendido, considerando que la responsabilidad ambiental es un tema importante y necesario en la actualidad (Betancourt y Cruz, 2021).

## 1.2. Formulación del problema

### Pregunta General

¿Cuánto es la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante con *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023?

### Preguntas Específicas

- a) ¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca?
- b) ¿Cuál es el diseño de una planta piloto de humedal artificial flotante para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca?
- c) ¿Cuál es el tiempo de retención óptimo del humedal artificial flotante que permita la remoción de metales de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca?
- d) ¿Cuáles son las concentraciones iniciales y finales del humedal artificial flotante para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental?

### 1.3. Objetivos

#### Objetivo General

Evaluar la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante con *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023.

#### Objetivo Específicos

- a) Determinar la calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.
- b) Diseñar una planta piloto de humedal artificial flotante para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca.
- c) Establecer un tiempo de retención entre 5 a 15 días en el humedal artificial flotante para la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.
- d) Evaluar las concentraciones iniciales y finales del humedal artificial flotante para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental

## 1.4. Hipótesis

### Hipótesis General

El uso de un humedal artificial flotante con las especies *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* resulta eficaz para la remoción de metales en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023.

### Hipótesis Específicos

- a) La calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca, no es apta según la normativa ambiental.
- b) Diseñar una planta piloto de humedal artificial flotante es viable para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca.
- c) Un tiempo de retención de 5 a 15 días en el humedal artificial flotante permitirá la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.
- d) Las concentraciones finales del humedal artificial flotante son aptas para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

### 2.1. Enfoque, nivel, alcance y diseño de la investigación

Esta investigación tuvo enfoque cuantitativo debido a que involucra la recopilación de información numérica de manera objetiva y ordenada con finalidad aplicada, donde conlleva la utilización de los conocimientos logrados por estudios básicos para profundizar en el saber de la realidad problemática (Azüero, 2019). Así mismo el nivel fue descriptivo porque se propuso una reseña sobre los conceptos, aspectos o componentes del objeto de estudio (Ñaupas et al., 2018). Por otra parte, el diseño se desarrolló experimentalmente con un tipo preexperimental que incluye un pre test y post test con un grupo unitario, pues se implementó la manipulación de las variables sometidas a cambios deliberados para verificar los impactos que suceden (Hernández-Sampieri y Torres, 2018).

Para este caso, la investigación se enfoca en la evaluación de la capacidad de remoción de metales mediante un humedal artificial flotante con las especies *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en aguas superficiales de la quebrada el Sinchao situado en el distrito de Hualgayoc en el departamento de Cajamarca, a través del análisis de datos numéricos procedentes del proceso experimental que permite la comparación entre la calidad de agua antes y después de las instalación del humedal artificial flotante.

### 2.2. Población y muestra del estudio

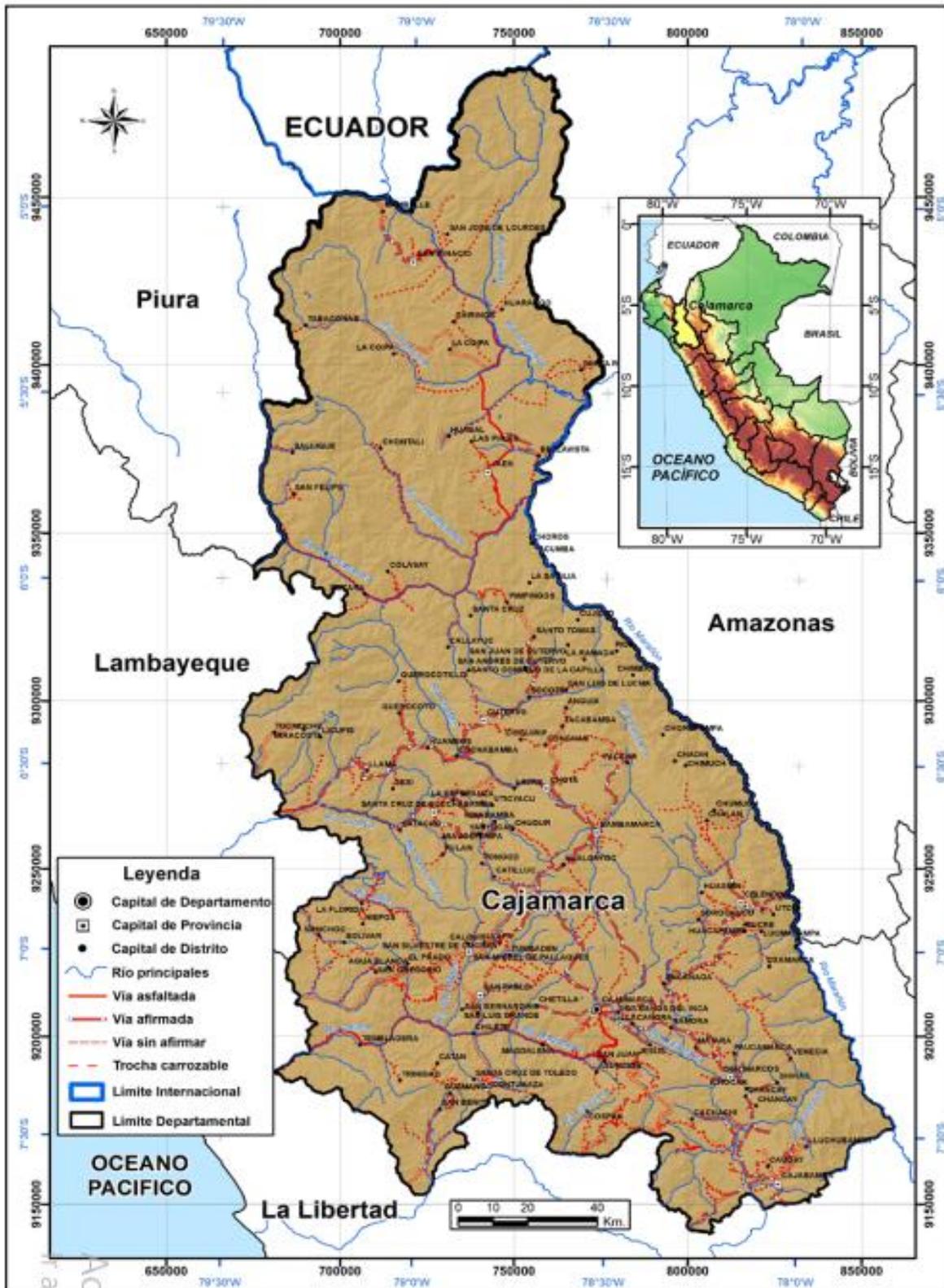
En tal sentido, se evaluó el humedal de tratamiento flotante como variable independiente. Como variable dependiente se tiene a la remoción de metales Arsénico, Cadmio, Hierro y Manganeseo en aguas superficiales de la quebrada el Sinchao.

De esta manera, la población de este estudio se define como toda el agua superficial presente en la quebrada El Sinchao, ubicada en la cuenca del río Llaucano. Este cuerpo de agua presenta características particulares como bajos niveles de pH y altas conductividades eléctricas, derivadas principalmente de la filtración de aguas ácidas provenientes de pasivos mineros ubicados aguas arriba. Además, se ha documentado la presencia de metales pesados cuyas concentraciones superan en 15, 20 y 300 veces, respectivamente, los límites máximos permisibles establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua.

La muestra de este estudio se compone de 1000 litros de agua recolectados de la quebrada El Sinchao. La selección de esta muestra se basó en un muestreo no probabilístico por conveniencia, debido a las limitaciones prácticas y logísticas para la recolección y análisis del agua. Esta cantidad de agua representa un volumen significativo para evaluar la eficacia del humedal artificial flotante en la remoción de los metales especificados (As, Cd, Fe, Mn) bajo las condiciones actuales del sitio de estudio. El volumen de 1000 litros fue seleccionado con base en criterios técnicos y de viabilidad, considerando tanto la capacidad del sistema de tratamiento como la representatividad de las condiciones del agua en la quebrada, permitiendo una liberación gradual del agua tratada de vuelta al sistema.

En ese sentido, el recurso hídrico en estudio se obtuvo de un muestreo no probabilístico por conveniencia, en vista de que no se generó el uso de una fórmula para determinar los participantes, sino mediante criterios de selección se determinó la muestra del estudio y por juicio del investigador (Ñaupas et al., 2018).

**Figura 3**  
*Ubicación de Cajamarca*



Nota. Tomado de INGEMMET (2020).

**Figura 4**  
*Ubicación del Distrito de Hualgayoc.*



*Nota.* Adaptado de Google Maps

### **2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos**

Además, se aplicó la técnica de la observación en el desarrollo del proceso experimental, es decir, se empleó la vista del investigador para distinguir lo que está sucediendo en el experimento, lo cual permite recopilar información y datos relevantes, para luego analizar los resultados y probar o refutar la hipótesis (Osorio, 2019). En este caso, se realizó un proceso de estructuración e integración de información narrativa a través de análisis documental con el fin de cubrir una mayor cantidad de datos para informar segmentos significativos de contenido sobre el tema de investigación.

Para ello, se utilizó como instrumento una ficha con la finalidad de ser utilizada como registro de campo que es adaptado del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales aprobado por Autoridad Nacional del Agua (2016), el cual representó un instrumento para la presente investigación. Por tal motivo, el instrumento utilizado presenta confiabilidad y validez encontrándose sustentada en el marco normativo, institucional y de gestión que confiere el Ministerio de Agricultura y Riego como una institución competente.

Este instrumento permitió el registro del código del punto de inspección, la fuente raíz, la representación clara y caracterizada del punto de inspección, la hora y la fecha de inspección, la región, el área, el territorio y la oficina, el área del punto de inspección facilita, las condiciones climáticas y otras percepciones significativas en el punto de inspección también deben registrarse para todas las estimaciones hechas en medio de la verificación (Ver Anexo 1). Por otro lado, también se consideraron como instrumentos de recolección de datos la planta piloto del humedal debido a que confiere información sobre el flujo de agua que ingresa y sale en el humedal artificial flotante, mientras que, para realizar el análisis respectivo para la verificación de la calidad del agua se utilizará los Estándares de Calidad Ambiental para agua

en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales establecidos en el Decreto Supremo N°004 – 2017 - MINAM.

En este sentido, el investigador situó dos lugares para la captación de agua antes y después de los afluentes de drenaje de aguas ácidas de preferencia en la zona central del cauce donde el agua fluye sin turbulencia. Por lo tanto, se aplicó un muestreo por conveniencia, donde se consideraron criterios de exclusión por parte del investigador. De la misma manera se toma en cuenta el diseño piloto del humedal superficial con la influencia de las plantas macrófitas de las *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en el procedimiento del tratamiento de la quebrada Sinchao la cual le pertenece a la cuenca del Río Llaucano.

## 2.4. Materiales, instrumentos y métodos

### Materiales para la construcción de humedales:

- Geomembrana que imposibilita que se transfieren los contaminantes al suelo
- Tuberías de 1"
- 5 cm de grava de 1"
- 5 cm de grava de ½"
- 3 cm de arena
- 7 cm de lodo que constituye el lecho filtrante
- 1000 litros de agua de la Quebrada de Sinchao
- Las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus*

### Materiales para la recolección de muestra de agua:

- Envases de un 0.5 a 1 Litro
- Guantes quirúrgicos
- Cooler de 50 L

- Paquetes de Hielo
- Soluciones: agua destilada
- Guantes quirúrgicos
- Guardapolvo
- Baldes
- GPS Tools
- Cámara fotográfica (Celular Redmi 10)

#### **Materiales para la medición del caudal:**

- Wincha 100 m
- Botella plástica para el método de flotador
- Palos de madera
- Reloj con cronómetro

#### **Instrumentos:**

- Protocolo Nacional para el Monitoreo de Calidad de Recursos Hídricos Superficiales
- Cadena de custodia
- Etiquetas para rotular
- Ficha de campo
- Software AutoCAD
- Programa Microsoft Excel

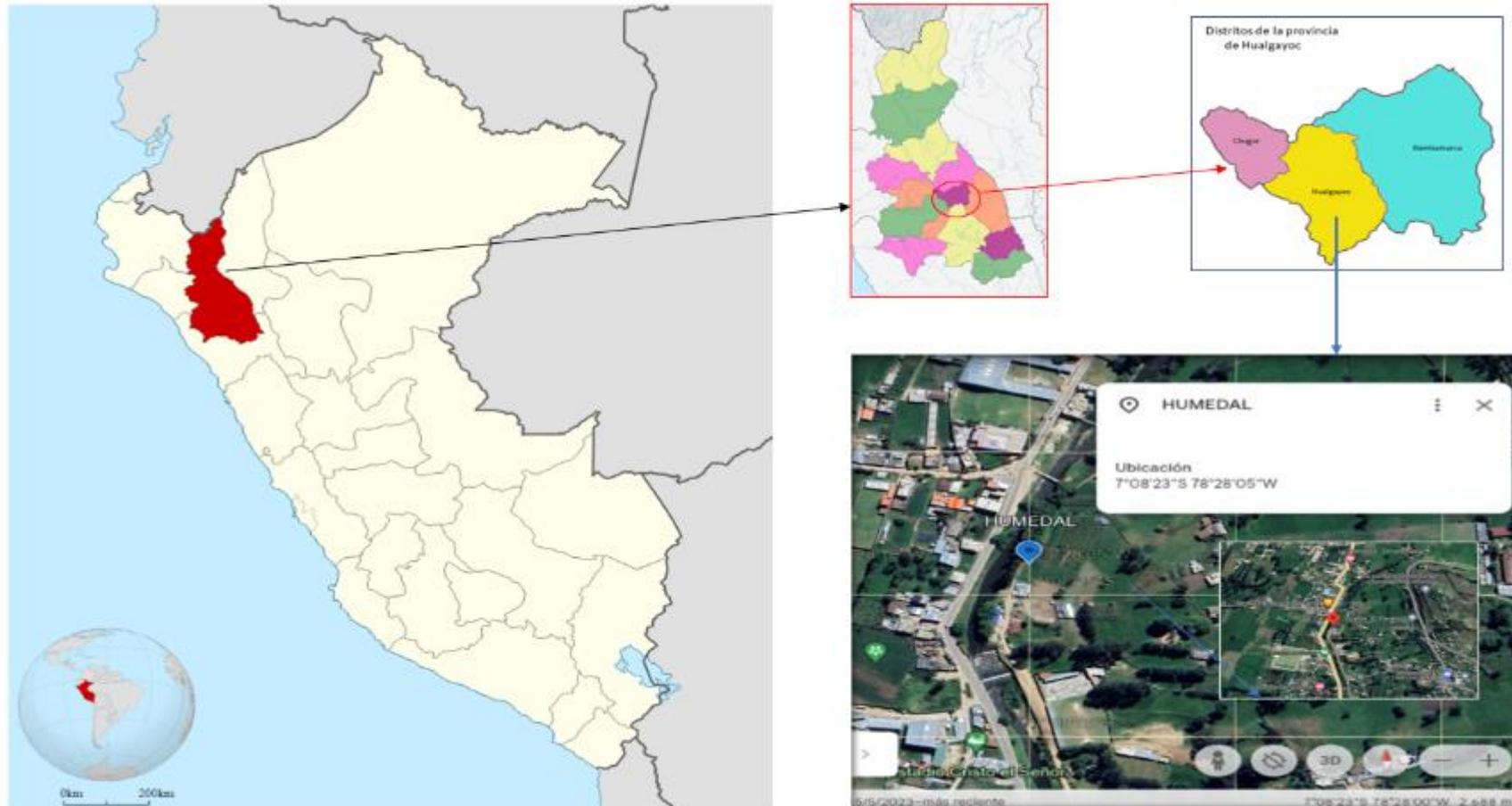
#### **Métodos**

En el inicio de la etapa, se ejecutó las coordinaciones y la organización de ejercicios para el diseño y la implementación del Humedal Construido, se realizó el diseño de planta de humedales que incluyeron la elección del sitio, la elección de las plantas, la elección de los sustratos, la categoría de las aguas residuales. Asimismo, la evaluación de la accesibilidad de

las especies vegetales, transporte y elección del sustrato y parámetros fisicoquímicos y microbiológicos a evaluar, seguidamente, se reconoció el arroyo y punto de captación del afluente para la instalación en los humedales construidos, así como la evaluación final de la tasa de carga hidráulica y el tiempo de retención hidráulica en la instalación de los humedales construidos.

En primera instancia, se procedió a realizar los diseños de los materiales para la construcción del humedal artificial en la localidad de Cajamarca para utilizar agua de la quebrada El Sinchao. En este caso, el diseño del humedal de forma artificial se realizó en un modelado a través del Software AutoCAD, considerando las pautas de la metodología de Rahman et al., (2020), que indica que la estructura y las densidades de los contaminantes existentes, el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto (DO), el material elemental del suelo y la solubilidad, y la facilitación de los medios microbianos están influenciados por el nivel de adsorción durante la fitorremediación. La localización del proyecto construido se observa en la Figura 5.

**Figura 5**  
*Ubicación del humedal construido*



Nota. Tomado de Google Earth.

Por ello, se desarrolló el diseño de los humedales artificiales mediante en ecuaciones empíricas que utilizan cinéticas de flujo para predecir la eliminación de contaminantes y mejorar la calidad del agua, por lo que, se consideró las características del afluente, los parámetros de referencia de entrada y de salida requeridos, asimismo, se calcularon las dimensiones y características del humedal. Respecto al dimensionamiento del humedal, se aplicó métodos analíticos-sintéticos donde se estimaron diversos valores requeridos para el diseño del tratamiento.

De esta manera, el sistema de humedales propuesto se construyó en Otuzco en la localidad de Cajamarca, donde el clima es templado con una temperatura máxima y mínima que puede alcanzar 21.6°C y 5.6°C, respectivamente. El humedal artificial de consta de dos componentes como sección de proceso y sección de salida, donde los materiales en la parte inferior fueron una geomembrana que imposibilita que se transfieren los contaminantes al suelo, mientras que, en la parte inferior se colocó dos capas de grava de 5 cm cada una, una capa de arena de 3 cm, y una capa de lodo de 7 cm que constituye el lecho filtrante.

Estos elementos del sustrato poseen un elevado determinante en la circulación del agua a través de la conductividad hidráulica en el humedal y en el crecimiento y desarrollo de las plantas, debido a que proporcionan una amplia superficie para que los organismos microscópicos se adhieran adicionalmente a la biomasa vegetal (raíces, tallos y hojas) así mismo actúan como medio de adsorción y/o filtración de contaminantes (Gorgoglione & Torretta, 2018).

Una vez seleccionado el área de instalación, se limpió para evitar el daño del humedal y adapta el lugar, seguido, se toma en cuenta una pendiente de lecho de 0.5%, dónde se procedió a realizar una cavidad en el suelo considerando las dimensiones del humedal flotante de ancho

1.07 m y de largo 1.07 m con un área superficial de 1.14 m<sup>2</sup>, luego se colocó la geomembrana en la parte inferior del suelo ya preparado, de esa manera evitar el ingreso de los contaminantes en el terreno natural.

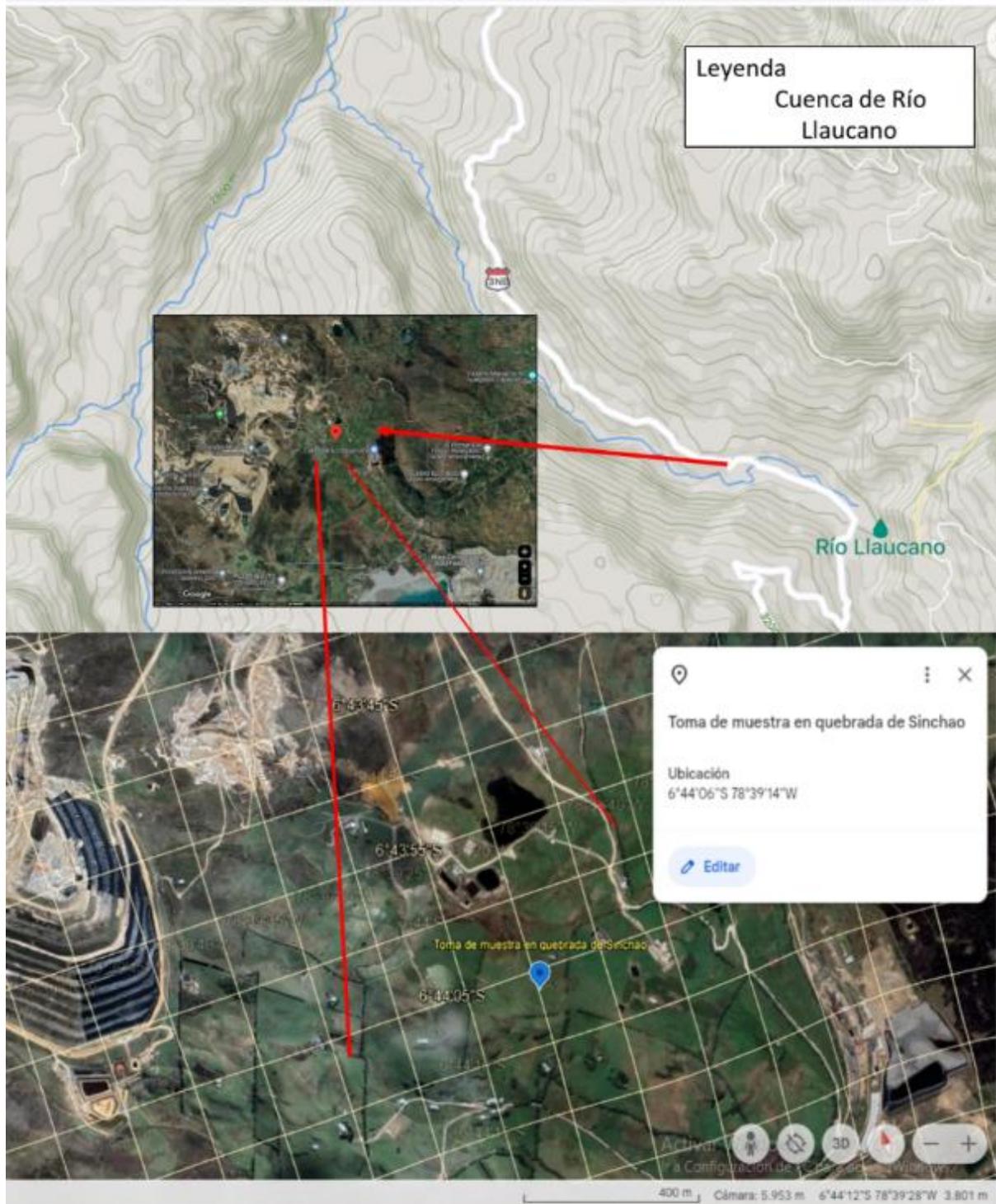
Posteriormente se colocó tubería de 1", se visualiza en la figura 13 el punto de salida, luego se colocó la grava de ½" que debe medir 5 cm de profundidad, lo siguiente es la grava de 1" de la misma manera de 5 cm de profundidad. Por consiguiente, la arena es el siguiente punto a 3 cm de profundidad y el lodo con 7 cm de profundidad según las indicaciones del plano del Humedal Artificial, obteniendo un volumen del humedal de 915.92 litros. Al tener la estructura construida se agregó los 1000 Litros de agua que se transfirieron de la quebrada del Sinchao hasta Otuzco.

Para ello, previamente existió la recolección de las muestras de agua que se iba a emplear, según la metodología de Autoridad Nacional del Agua (2016), que menciona definir el punto específico para la toma de muestra con los guantes para su posterioridad abrir el envase ya esterilizado sin tocar la boca para no contaminar el recipiente y sumergirlo aproximadamente a 20 cm por debajo de la superficie en sentido contrario al flujo del agua, evitar el ingreso de sedimentos y luego preservar mediante refrigeración a 4 °C hasta por 24 horas en cooler para luego evaluar los parámetros fisicoquímicos previos al ingreso a la planta piloto del humedal artificial construido (Ver los anexos del 4 al 8).

La ubicación de la toma de muestra en la quebrada Sinchao se observa en la Figura 6, donde se consideraron dos puntos de muestreo debido a las limitaciones de la accesibilidad para el ingreso de los investigadores. Los análisis para conocer los resultados de la calidad de agua inicial antes del ingreso en el humedal construido se realizaron por el laboratorio de La Dirección Regional de Agua.

**Figura 6**

*Ubicación geográfica de la toma de muestra en la quebrada Sinchao.*



*Nota.* Adaptado de Google Maps y Earth.

Por otro lado, la selección de las especies vegetativas para el sistema del tratamiento se seleccionó de acuerdo con los parámetros problemáticas en la calidad del agua de la quebrada El Sinchao, asimismo deben tener la capacidad de adaptarse a situaciones climáticas severas, la resistencia a situaciones anóxicas anegadas, así como hipertróficas, incluida la capacidad de absorción de contaminantes (Huth et al., 2021).

En este sentido, se tuvo en consideración las características de las especies vegetales como son *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Scirpus californicus* (Totora). Con la finalidad de conocer su posible adaptabilidad a la zona de estudio, como se detalla en la tabla a continuación:

**Tabla 3**

*Selección de especies vegetales*

Referencia	Especie		Características y requerimientos							Beneficio
	Nombre científico	Nombre común	Altitud (msnm)	Temperatura (°C)	Tolerancia al frío	pH	Altura (cm)	Profundidad de plantación (cm)	Distancia mínima (cm)	
(Nuñez Morales, 2019)	<i>Eichhornia crassipes</i>	Jacinto de agua	1000 -2000	5-30	0	4.5-7.5	5-40	0	-	Remoción de plomo, mercurio, arsénico, cadmio <sup>1</sup>
(Chugden y Verastegui, 2021)	<i>Scirpus californicus</i>	Totora	-	15-20	-	2.3	400	50	20	Remoción de Turbidez, SST, SDT, NA, NT, aluminio, bario, DBO5 y DQO

Nota. Adaptado de (Ayala, 2021)<sup>1</sup> y Leandro et al. (2018)<sup>2</sup>

Después de la obtención de las especies macrófitas de la misma zona de estudio y la posterior instalación de las plantas en el humedal, se realizó un monitoreo del crecimiento de las plantas, y se replantó oportunamente las plantas sin servicio para asegurar la supervivencia de las plantas de humedales y el buen funcionamiento de los humedales construidos. Asimismo, para evaluar la respuesta de las plantas y las tasas de crecimiento de las especies de plantas individuales en las aguas residuales, las plantas se monitorearon según el método utilizado por Schwamberger et al. (2019), donde se indica medir una selección de longitudes de brotes y raíces de plantas in situ quincenalmente.

Finalmente, después del tratamiento considerando 7 días como tiempo de retención hidráulica, se determinó la calidad del agua de los efluentes en relación con los atributos físicos y químicos con la finalidad de reconocer las concentraciones después de que las aguas residuales recibieran el tratamiento propuesto y determinar la productividad de las especies vegetativas utilizadas en el humedal artificial según la metodología detallada por Mellado (2018).

Para ello, se tomaron muestras en humedal artificial después del tiempo de retención hidráulica para su posterior análisis de laboratorio por la empresa SGS acreditada por INACAL (Instituto Nacional de Calidad), a la cual, se entregó un frasco de 1 Litro, correctamente esterilizado, donde su llenado es la  $\frac{3}{4}$  parte del envase y la tapa se colocó dentro de la fuente del agua. El análisis de la calidad de agua se comparó según métodos estándares nacionales como ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.

Una vez finalizado el proceso de fitorremediación en los humedales construidos se considera una eliminación segura de las especies macrófitas utilizadas que contienen cargas de contaminantes, para ello, se sugiere método de eliminación de desechos sólidos a través de

vertedero de compresión que se divide principalmente en sistema de almacenamiento de residuos, sistema de recolección de lixiviados y sistema de recolección de gas de vertedero según la metodología de (Liu & Tran, 2021).

De esta manera, los procedimientos garantizaron que los resultados descritos en los análisis se transmitan con ayuda de una estimación satisfactoria para ser posteriormente utilizados en la interpretación y comprensión para los fines propuestos en la investigación. Además, en relación con los aspectos éticos se consideró en todo lo desarrollado de la presente investigación, el respeto a la autoría mediante el correcto citado según los lineamientos de la Universidad, por lo tanto, los resultados de la experimentación son confiables y fidignos.

### **Análisis e interpretación**

Además, se emplearán métodos estadísticos descriptivos para el analizar los resultados e interpretar de forma documental con ayuda de gráficos y tablas, los cuales posibilitan encontrar datos exactos y certeros sobre las estimaciones realizadas y así presentar las tendencias de estos datos, mediante la utilización de frecuencias simples para el contar los sucesos de cada categoría descrita (Rendón et al., 2016). También se aplicará la estadística inferencial a través de la prueba de Wilcoxon, misma que permite verificar si hubo efectividad en la remoción de metales pesados junto a la prueba de normalidad.

### **Aspectos éticos**

La presente investigación se desarrolló respetando todas las autorías de las investigaciones descritas, los cuales fueron correctamente citados y referenciados de acuerdo a la norma APA 7 edición, asimismo, los resultados son verdaderos, es decir, que no se ha hecho ninguna manipulación incorrecta del mismo, así también indicar que las muestras de agua estudiadas fueron revisadas y analizadas en un laboratorio certificado por INACAL, los

cuales se pueden verificar en anexos. Así mismo, la exactitud y precisión de la investigación está debidamente sustentada en el marco teórico, mientras que la confiabilidad se valoró en la obtención de información por fuentes formales y fidedignas, evitando la alteración de datos provenientes de las mismas (Villasís-Keever et al., 2018). Por otro lado, se respetó el origen de las fuentes de datos citando con precisión con la dirección actual que administra el Universidad Privada del Norte sobre la referencia correcta y la cita con el fin de considerar los derechos de autor para evitar la exclusión y/o robo literario de pensamientos, negligencia y, de hecho, extorsión dentro del examen (Viorato y Reyes, 2019). Del mismo modo se respetó las directrices establecidas por la normativa ambiental del decreto supremo N° 004 – 2017 - MINAM ECA para Agua de la categoría 3, Riego de vegetales y bebidas de animales. Por otro lado, la consideración ética involucra especies vegetales, lo cual es éticamente confiable para los analistas en medio de investigaciones confiables y reproducibles, ya que acepta la directriz de la Organización Mundial de la Salud, que establece que es apropiado y reconocido decidir sobre la experimentación en entornos vivos mediante el uso de plantas, donde se contribuya con la obtención de información significativa (García et al., 2018). Por lo tanto, la conducta responsable de la investigación se define en el procesamiento de la información como válido ya que las variables no enfrentan diversas alteraciones por parte de los investigadores.

### **CAPÍTULO III: RESULTADOS**

#### **3.1. Determinar la calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.**

Los resultados obtenidos de la muestra de agua superficial de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca fueron emitidos por el Laboratorio Regional del Agua, que cuenta con el certificado brindado por INACAL, los cuales se pueden observar en el Anexo 20, en la Tabla 4 se presentan los resultados encontrados en los análisis iniciales, donde se procedió a comparar con los datos presentados en la normativa vigente Decreto supremo N° 004-2017-MINAM, Categoría 3, riego de vegetales y bebidas de animales, para poder realizar la identificación y determinación de las concentraciones excedentes de los parámetros analizados. Se realizó la comparación con la categoría en mención puesto que la quebrada El Sinchao es afluente al río principal que tiene la categoría 3 otorgada por la Autoridad Nacional del Agua.

**Tabla 4**

*Resultados de las características fisicoquímicas del agua*

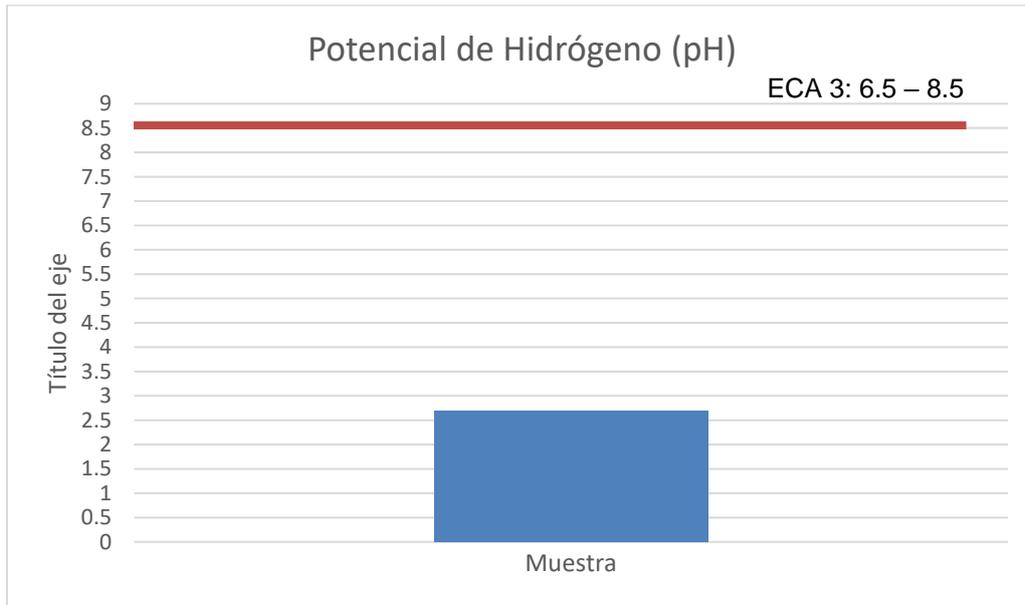
Parámetros	Unidad de medida	ECA AGUA Categoría 3: DI Riego de vegetales y bebidas de animales	Resultado de muestra de agua
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	2.69
Conductividad	( $\mu S/cm$ )	2500	2699.5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	4.6
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	12.0
Oxígeno disuelto	mg/L	$\geq 4$	2.1
Sulfatos	mg/L	1000	1375.820
Fluoruros	mg/L	1	1.615
Cloruros	mg/L	500	1.680
Arsénico	mg/L	0.1	0.824
Cadmio	mg/L	0.01	0.032
Hierro	mg/L	5	135.8
Manganeso	mg/L	0.2	17.62

\* Estándar de calidad ambiental para agua de riego restringido

En la tabla Tabla 4 se detallan los resultados brindados por los análisis físicoquímicos de la muestra, donde observamos que no se cumplen con los niveles de la norma ECA para Agua de la categoría 3, equivalente a un número de veces de pH con valores muy bajos a lo señalado con -0.59 y -0.68 esto es posiblemente ocasionado por la actividad minera presente en las partes altas de la quebrada ver Figura 7, así también encontramos el oxígeno disuelto con - 0.48; en el caso de los demás parámetros vemos un aumento con equivalente de número de veces de conductividad con 0.08, sulfatos con 0.38, fluoruros con 0.62, arsénico con 7.24, cadmio con 2.20, hieiro con 26.16 y manganeso con 87.10.; así mismo se observa que los resultados de los niveles de DBO<sub>5</sub>, DQO y cloruros si cumplen con los datos brindados por la norma.

**Figura 7**

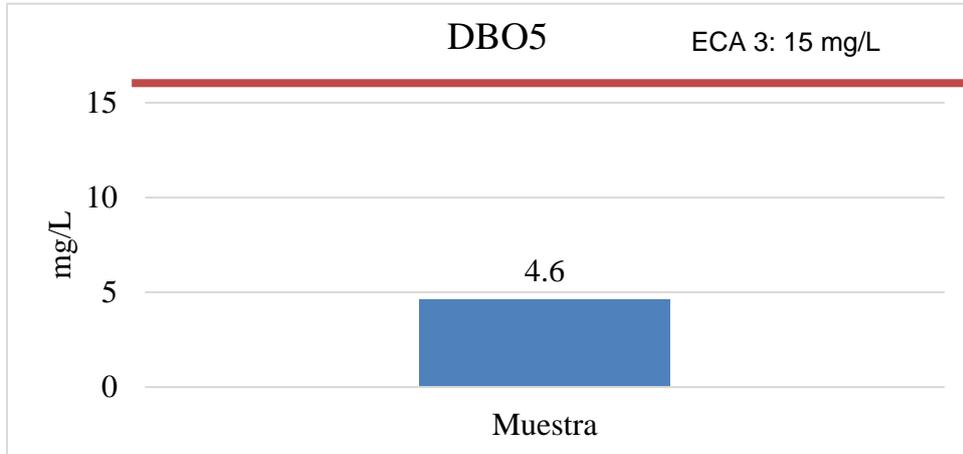
*Parámetro pH*



Con ayuda de la Figura 8, Figura 9 y Figura 10 donde es posible observar los parámetros presentados de DBO<sub>5</sub>, DQO y oxígeno disuelto respectivamente, contemplamos con mayor facilidad que dichos valores se encuentran dentro de los estándares establecidos por ECA para Agua de la categoría 3, donde se asume que el agua analizada presenta una baja carga orgánica y bajos niveles de sustancias químicas lo que favorece la vida acuática y permite mantener la salud de los ecosistemas protegiendo la salud humana.

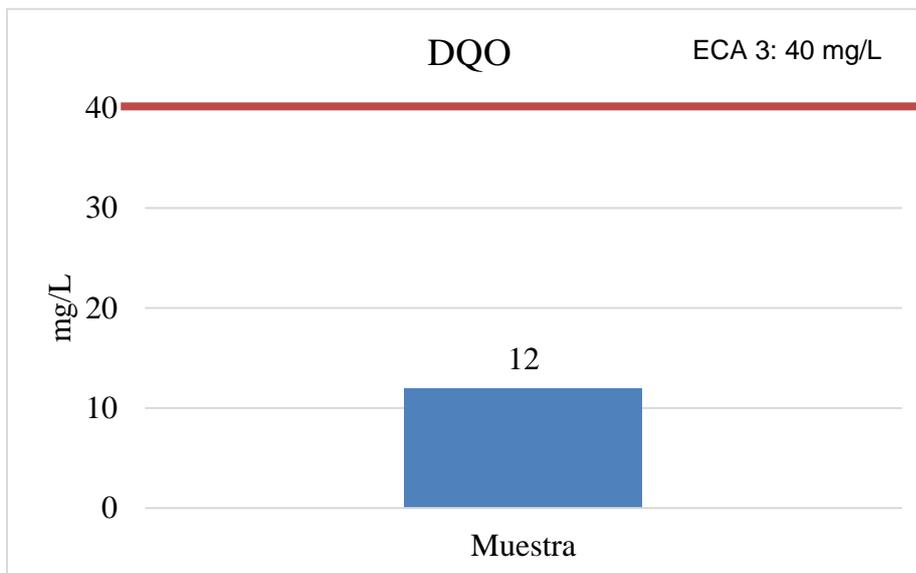
**Figura 8**

*Parámetro de DBO5*



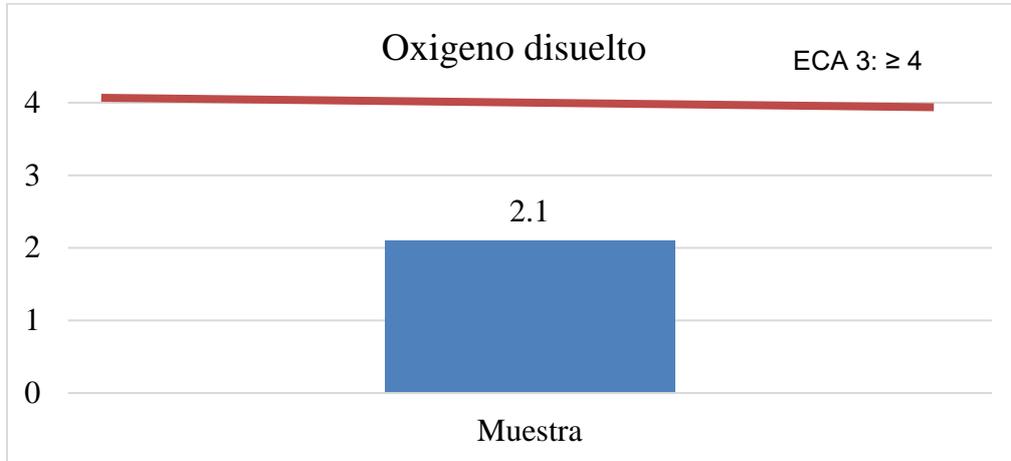
**Figura 9**

*Parámetro de DQO*



**Figura 10**

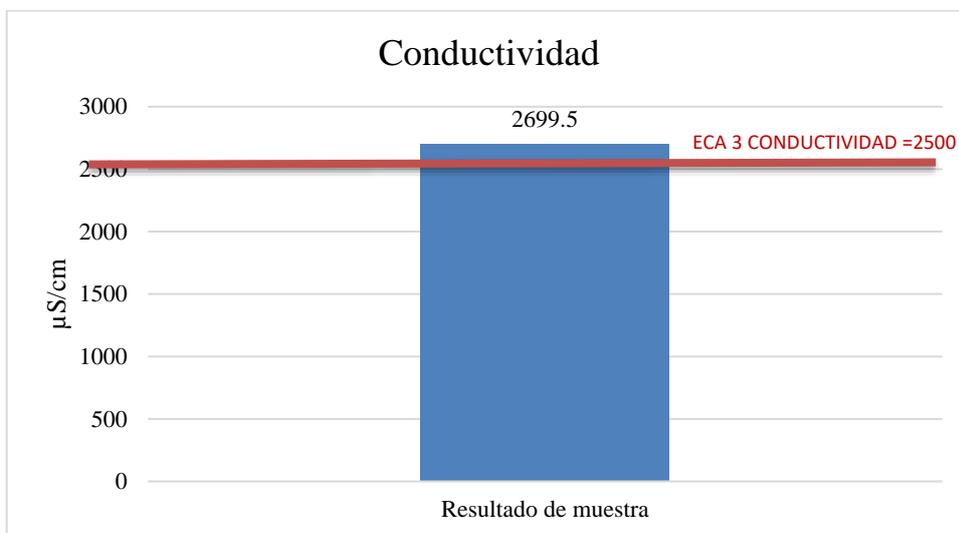
*Parámetro de oxígeno disuelto*



Por otro lado, en la **Figura 11** se muestra el parámetro de conductividad en  $2500 \mu\text{S}/\text{cm}$  de acuerdo a lo señalado por ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, sin embargo, en el análisis de la muestra de agua reflejó un valor de  $2699.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ , aumentando los valores de la norma con  $199.5 \mu\text{S}/\text{cm}$ .

**Figura 11**

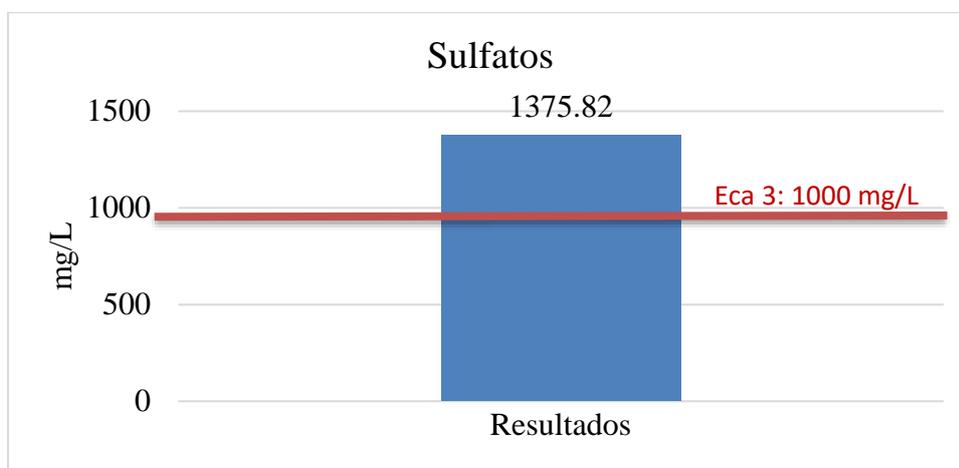
*Comparativa del parámetro conductividad*



Igualmente, en la **Figura 12** se puede observar que ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, se establece 1 000 mg/L en relación con el parámetro de sulfatos, sin embargo, el análisis de agua reflejó un valor de 1375.820 mg/L, mostrando que los sulfatos aumentaron en 375.82 mg/L

**Figura 12**

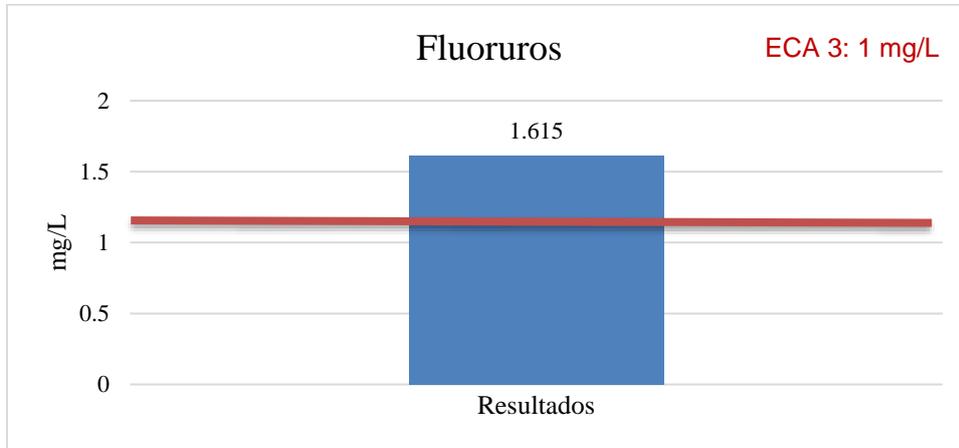
*Comparativa del parámetro sulfatos*



De la misma forma en la **Figura 13** se observa que ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, establece 1 mg/L para el parámetro de fluoruros, pero en el análisis realizado al agua reflejó un valor de 1.615 mg/L, verificando que sobrepasa en 0.615 mg/L dicho parámetro.

**Figura 13**

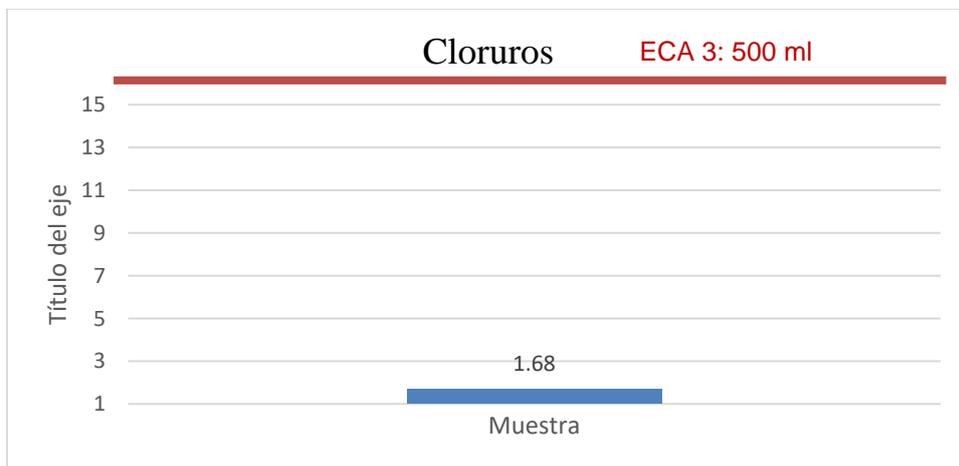
*Comparativa del parámetro fluoruros*



En la Figura 14 se puede visualizar que el parámetro de cloruros se encuentra por muy debajo de lo establecido en el ECA que es de 500 ml y a lo que se llegó obtener es de 1.68ml

**Figura 14**

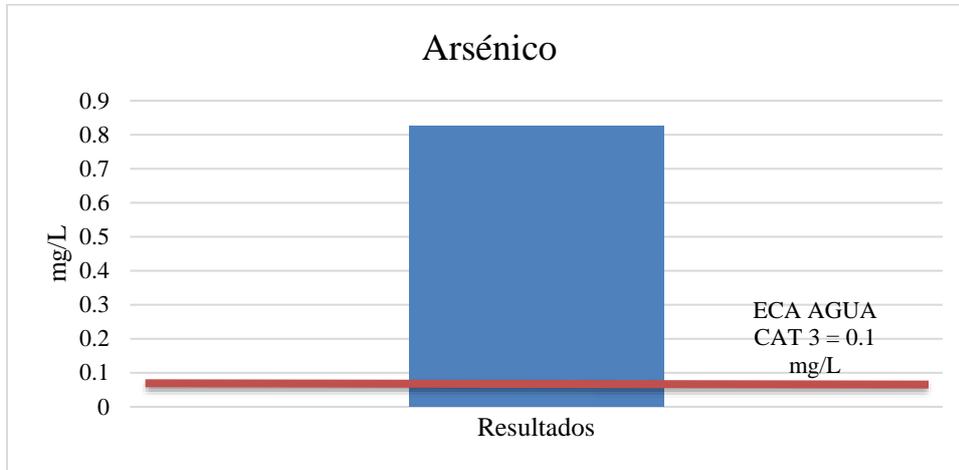
*Parámetros Cloruro*



Se observa en la **Figura 15** que el ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, en relación con el parámetro de arsénico se establece 0,1 mg/L; sin embargo, el análisis del agua reflejó un valor de 0.824 mg/L que equivale a un 7.24 número de veces de exceso, por lo tanto, la quebrada supera el Estándar de Calidad Ambiental.

**Figura 15**

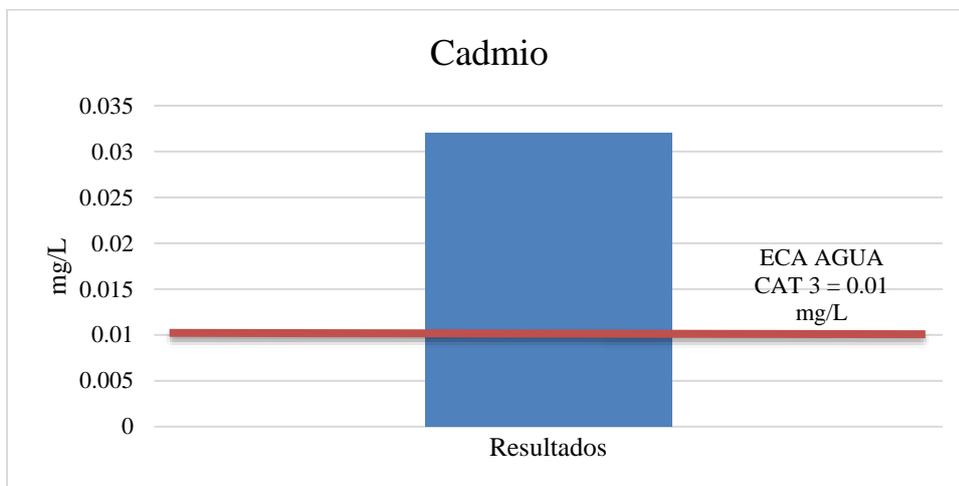
*Comparativa del parámetro arsénico*



En la Figura 16 se distingue que el ECA para Agua en la categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales, en relación con el parámetro de cadmio se establece 0,01 mg/L, sin embargo, el análisis de la muestra de agua reflejó un valor de 0.032 mg/L que equivale a un 2.2 número de veces de exceso, por lo que la quebrada supera el Estándar de Calidad Ambiental.

**Figura 16**

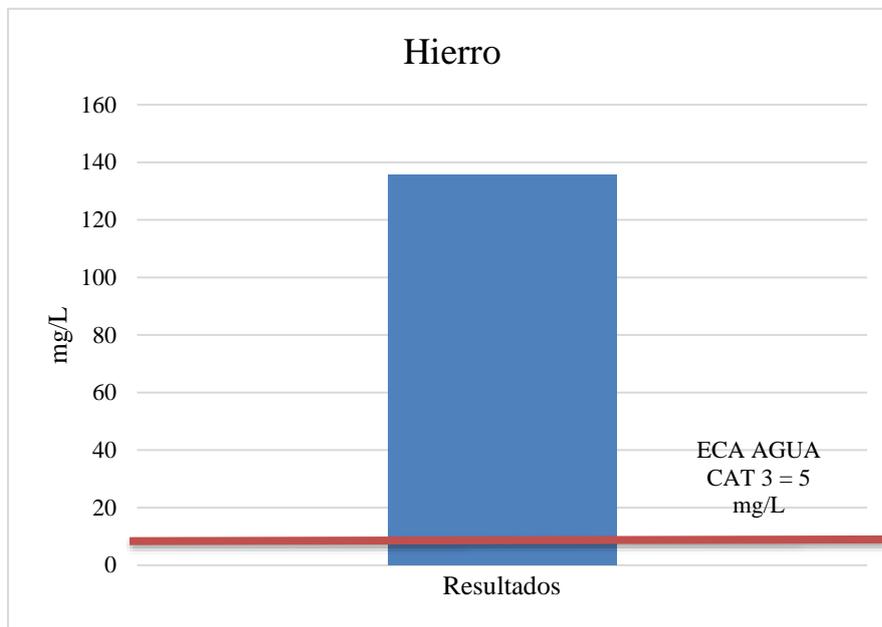
*Comparativa del parámetro cadmio*



De igual manera en la Figura 17 se puede observar que el ECA para Agua en la categoría 3 para riego de vegetales y bebidas de animales, en relación con el parámetro de hierro se establece en 5 mg/L, sin embargo, el análisis de la muestra de agua reflejó un valor de 135.8 mg/L que equivale a un 26.16 número de veces de exceso, por consiguiente, la quebrada supera el Estándar de Calidad Ambiental.

### Figura 17

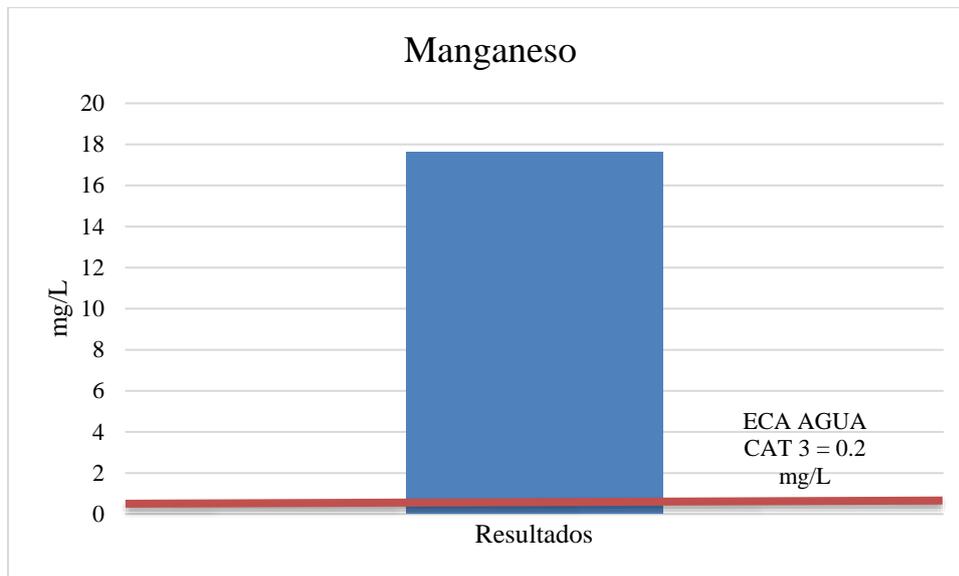
*Comparativa del parámetro hierro*



Y por último en la Figura 18 se puede observar que el ECA para agua en la categoría 3: para riego de vegetales y bebidas de animales, en relación con el parámetro de manganeso se establece 0,2 mg/L, sin embargo, el análisis de la muestra de agua reflejó 17.62 mg/L que equivale a un 87.1 número de veces de exceso, por lo tanto, la quebrada supera el Estándar de Calidad Ambiental.

**Figura 18**

*Comparativa del parámetro manganeso*



A partir de los resultados obtenidos con la caracterización fisicoquímica del agua de la quebrada, se reconocieron los factores fisicoquímicos que se presentan en mayores concentraciones, de los cuales se escogió el arsénico como variable de reacción para la evaluación del marco de tratamiento flotante con el humedal, el cual, debido a que es el tercer parámetro con mayor presencia, y se concibe como el más peligroso debido a su toxicidad.

### **3.2. Diseñar una planta piloto de humedal artificial flotante para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca.**

Para la determinación del área superficial del humedal del flujo superficial, se calculó a través de la fórmula establecida por Kickuth (ecuación 1), esta ecuación también se conoce como modelo KC o modelo de flujo pistón de primer orden, se considera la más adecuada para describir la eliminación microbiana de DBO a lo largo de un sistema, la ecuación se basa en la teoría de la cinética de primer orden y asume que la eliminación de DBO sigue un proceso exponencial a lo largo del sistema (Nurmahomed, Sobhun, Ragen, & Sheridah, 2022).

$$A_h = \frac{Q(\ln C_0 - \ln C_T)}{k_{BOD}} \quad (1)$$

Donde:

$A_h$ : Superficie del lecho (m<sup>2</sup>)

$k_{BOD}$ : Constante de tasa de DBO (m/d).

$C_0$ : DBO media de entrada (mg/l)

$C_t$ : DBO media de salida (mg/l)

$Q$ : Caudal afluente (m<sup>3</sup> /d)

El modelo de flujo pistón de primer orden se puede representar mediante la ecuación 2.

$$C_t = C_0 \exp^{-kt} \quad (2)$$

Donde:

$C_t$ : DBO final (mg/l)

$C_0$ : DBO del afluente (mg/l)

$k$ : constante de velocidad (/d)

$t$ : Tiempo de degradación (d)

Finalmente, el tiempo para la retención (ecuación 3) se denomina al mismo período que

una unidad de líquido permanece en un soporte, así también se puede describir como el tiempo que tarda en salir el fluido que entra en su soporte, el cual se calculó a partir de la siguiente fórmula:

$$t = \frac{n * L * W * d}{Q} \quad (3)$$

Donde:

t: tiempo de retención

n: Porosidad del medio

L: Largo del humedal

W: Ancho del Humedal

d: Profundidad del humedal

Q: Denominado caudal por unidad

Los datos requeridos para el diseño del humedal se presentan en la Tabla 5 donde el tiempo de retención hidráulica se basó también en la investigación de Quevedo (2021):

**Tabla 5**

*Datos requeridos para el diseño del humedal*

Parámetro	Unidad	Símbolo	Valor
Caudal de diseño	m <sup>3</sup> /día		4.35
Número de unidades			1.00
Caudal por unidad	m <sup>3</sup> /día	Q	4.35
Temperatura	°C	T	8.00
Concentración de afluente Arsénico	mg/L	Co	0.82
Concentración de efluente Arsénico	mg/L	Ce	0.10
Capacidad de remoción	%		88.00
Tiempo de retención hidráulico	día	TRH	7.00
Profundidad	m	d	0.80
Porosidad del medio		n	0.65
Pendiente adoptada	m/m	s	0.5/100

Para la construcción de los humedales artificiales se tuvo en cuenta las siguientes

consideraciones establecidas en el diseño, como se detalla a continuación:

**Tabla 6**

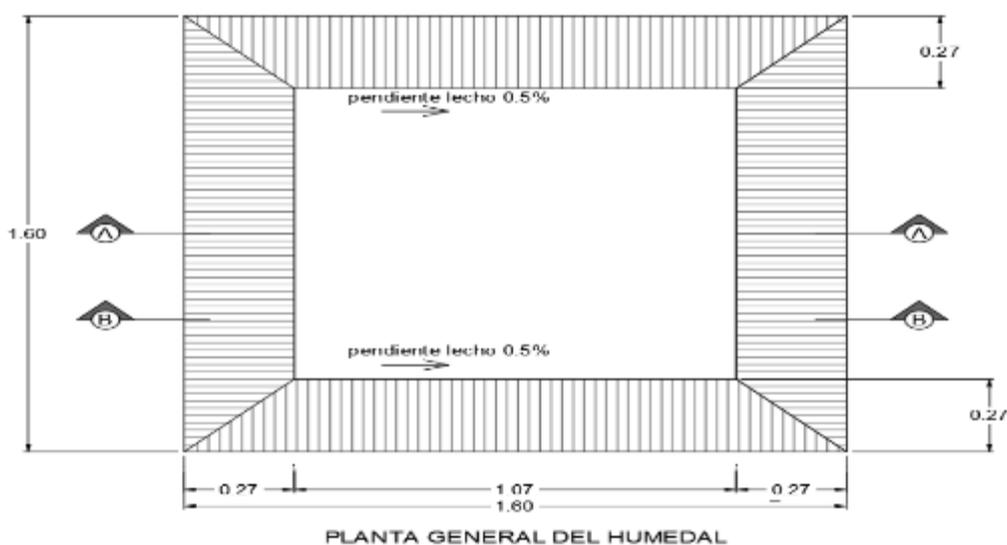
*Dimensionamiento del humedal flotante*

Parámetro	Unidad	Símbolo	Valor
Constante de reacción de primer orden	m <sup>3</sup> /día	K	15.52
Tiempo de retención hidráulico calculado	día	día	7.00
Área Superficial	m <sup>2</sup>	As	1.14
Relación Largo: Ancho			1.00
Ancho del humedal	m	w	1.07
Largo del humedal	m	L	1.07
Profundidad del humedal	m	d	0.80
Volumen del humedal	litros	V	915.92

En base a los parámetros determinados en las tablas anteriores, en la Figura 19 se establecen materiales en la parte inferior como una geomembrana que imposibilita que se transfieren los contaminantes al suelo, mientras que en la parte inferior se colocó arena, grava y lodo que constituye el lecho filtrante.

**Figura 19**

*Planta general del humedal*



**Figura 20**

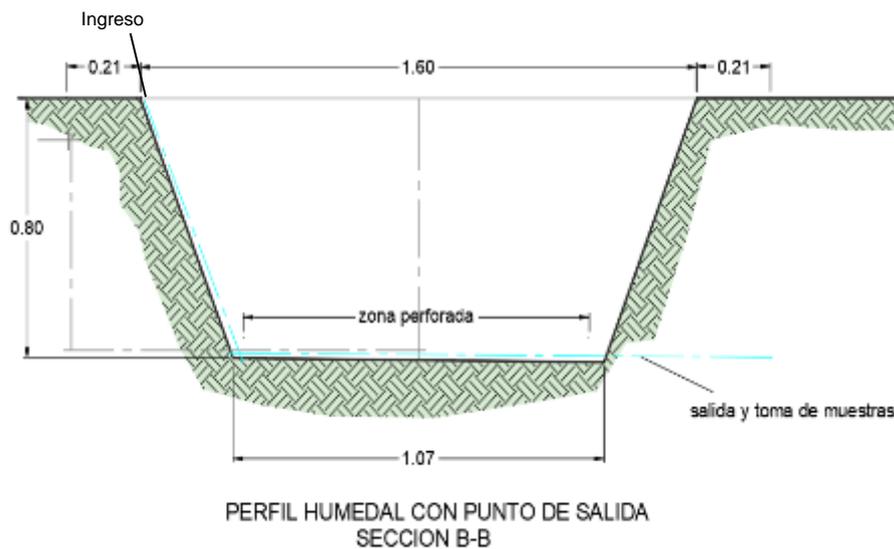
Sección de lecho filtrante



En la Figura 21 se presenta la salida y toma de muestras, donde se instaló una tubería hacia otro estanque o recipiente recolector que fue cubierto el agua resultante del tratamiento con las especies vegetales.

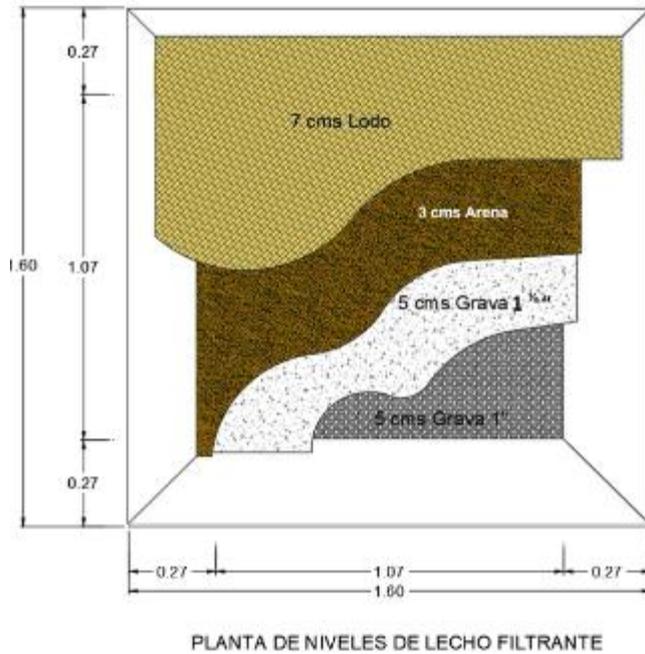
**Figura 21**

*Perfil humedal con punto de salida*



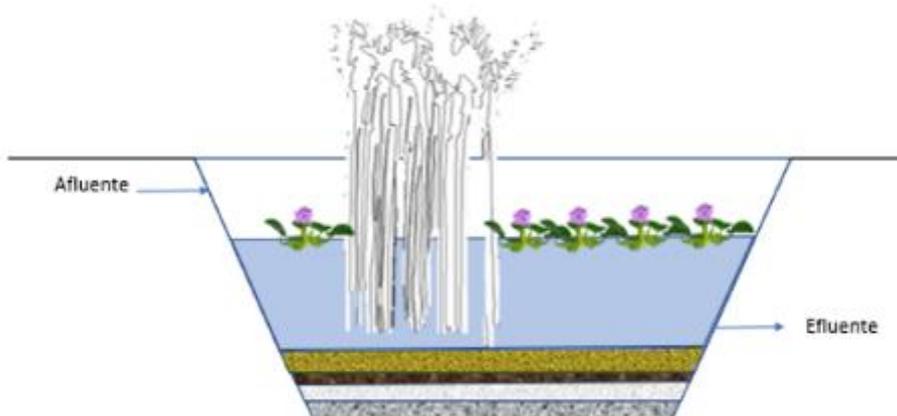
**Figura 22**

Planta de niveles de lecho filtrante



**Figura 23**

Planta de humedal con de ingreso y salida con especies sembradas



Para funcionamiento de esta planta piloto de humedal se utilizaron 10 plantas de *Eichhornia crassipes* conocido también como Jacinto de agua común, esta planta es usada en estanques, acuarios y lagos, ya que sus propiedades permiten la remoción de diversos contaminantes del agua

Asimismo, se utilizó también 10 plantas de la especie *Scirpus californicus*, denominado comúnmente como totora o junco, dicha especie también es acuática y se puede apreciar su crecimiento en pantanos, posee excelentes propiedades para depurar nitrógeno y fósforo en el tratamiento de aguas contaminadas.

### **3.3. Establecer un tiempo de retención entre 5 a 15 días en el humedal artificial flotante para la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.**

Se estimó 7 días como tiempo de retención hidráulica, donde pasado este periodo, se determinó la calidad del agua de los efluentes a la salida del humedal en relación con los parámetros fisicoquímicos, de lo cual se obtuvieron las concentraciones después del tratamiento y con ello se determinó el porcentaje de % de metales (As, Cd, Fe, Mn) bajo un tiempo determinado de 7 días que se aprecia en la tabla 7 y 8.

### **3.4. Evaluar las concentraciones iniciales y finales del humedal artificial flotante para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental**

En relación con las características fisicoquímicas del agua tratada con los humedales de tratamiento flotante con fines de riego de los vegetales, en la quebrada El Sinchao se obtuvo los siguientes resultados:

**Tabla 7**

*Características fisicoquímicas del agua tratada con los humedales*

Parámetros	Unidad de medida	ECA AGUA Categoría 3: DI Riego de vegetales y bebidas de animales	Análisis de entrada al humedal	Análisis de salida del humedal
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6.5 – 8.5	2.69	7.20
Conductividad	( $\mu S/cm$ )	2500	2699.5	1035.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg/L	15	4.6	<2.6
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40	12.0	35.3
Oxígeno disuelto	mg/L	$\geq 4$	2.1	7.3
Sulfatos	mg/L	1000	1375.820	141.18
Fluoruros	mg/L	1	1.615	0.068
Cloruros	mg/L	500	1.680	10.148
Arsénico	mg/L	0.1	0.824	0.01736
Cadmio	mg/L	0.01	0.032	<0.00003
Hierro	mg/L	5	135.8	1.2612
Manganeso	mg/L	0.2	17.62	5.39476

\* Estándar de calidad ambiental para agua de riego restringido

De acuerdo a la tabla 7, se puede evidenciar que la mayoría de los parámetros, a excepción del manganeso entran en el rango de los valores de los estándares de calidad del agua de la categoría 3, aunque se puede apreciar que se redujo considerablemente la concentración inicial de manganeso después del tratamiento mediante el humedal, lo cual refleja que el tratamiento con los humedales flotantes utilizando macrófitos que absorben los metales de arsénico, cadmio, hierro, manganeso fue eficiente en la reducción de la contaminación. Cabe mencionar que después del tratamiento el agua puede ser reutilizada para riego.

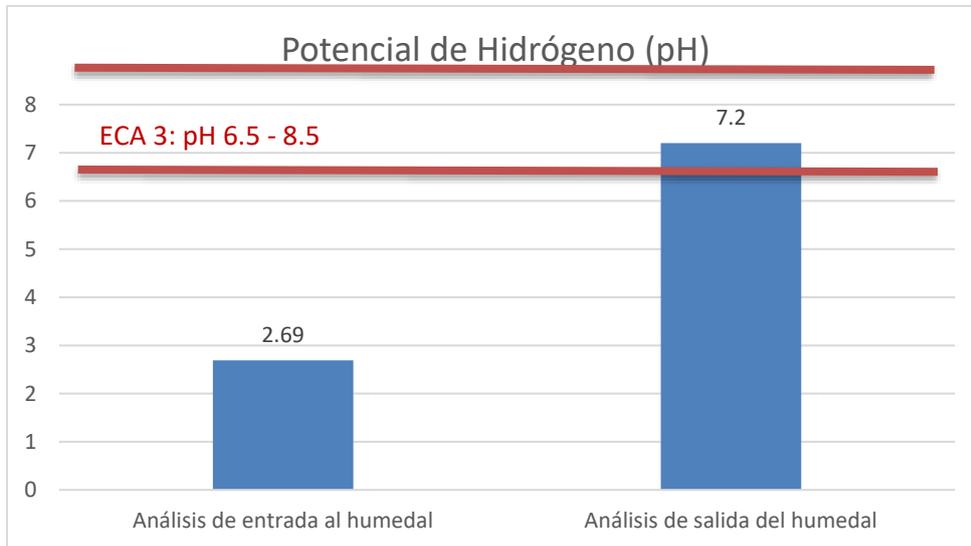
Así también, se observó un aumento en el pH del agua, lo que representa un cambio favorable, ya que la acidez del agua disminuye, acercándose a un rango más favorable para la vida acuática. La DQO experimentó un incremento, indicando un aumento en la materia orgánica presente, lo cual es positivo, ya que refleja una mejor oxigenación del agua y un

ecosistema acuático más saludable, sin embargo, es importante considerar si este aumento está relacionado con la actividad fotosintética de las plantas flotantes o con otros factores. Los cloruros también mostraron un aumento, lo que podría deberse a la presencia de sales naturales o los niveles elevados de contaminación industrial en las aguas superficiales recolectadas, aunque no son tóxicos en bajas concentraciones. A pesar de la reducción significativa de la carga contaminante de manganeso, la concentración final del metal sigue siendo superior a los límites establecidos por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para agua superficial, esto implica que el agua no cumple con los estándares de calidad establecidos para este parámetro. Para ello, se podrían considerar estrategias adicionales para reducir la concentración de manganeso por debajo de los límites del ECA, como la implementación de filtros específicos o la combinación del humedal con otras tecnologías de tratamiento de aguas residuales.

En la Figura 24 se puede visualizar que el parámetro de pH presentó condiciones ácidas en valores de 2.69, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo condiciones alcalinas en valores de 7.20, hallando una mejora de 4.51, interpretándose como el logro necesario para el mejoramiento de la calidad del agua.

**Figura 24**

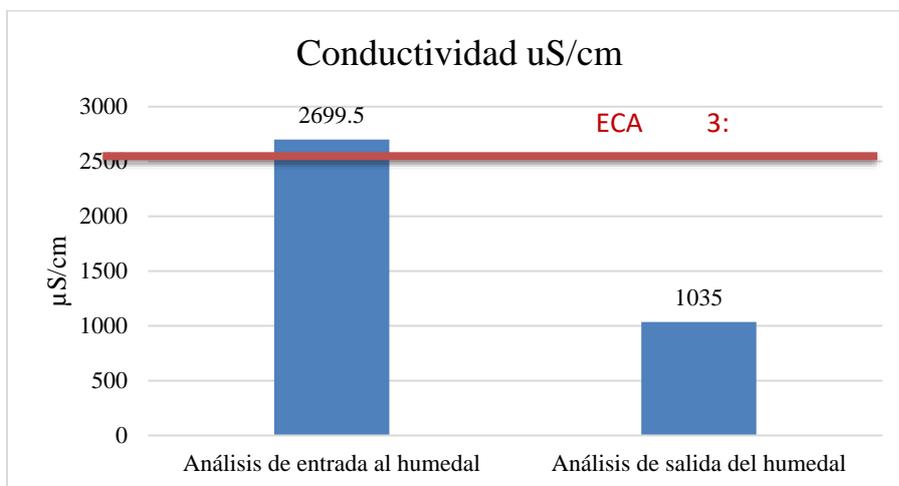
*Parámetro de potencial hidrógeno después del tratamiento*



En la Figura 25 se puede observar que la calidad del agua en la entrada del humedal se encontraba con una concentración de conductividad eléctrica de 2699.5  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , posteriormente al tratamiento brindado en la planta piloto del humedal, se logró reducir eficientemente la concentración a 1,035.0  $\mu\text{S}/\text{cm}$  por lo que se logró mejorar la calidad del agua.

**Figura 25**

*Parámetro de conductividad después del tratamiento*

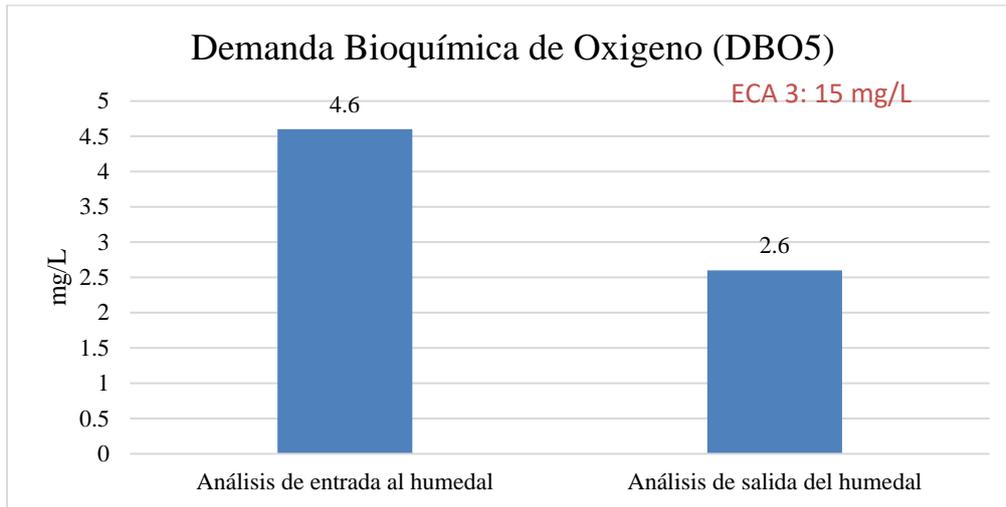


En la Figura 26 en el gráfico el indicador de DBO5 evaluado inicialmente presentó

concentraciones de 4.6 mg/L, pero después del tratamiento se obtuvo concentraciones menores que 2.6 mg/L, tuvo una reducción de 2 mg/L por lo tanto, se logró mejorar la calidad del agua.

**Figura 26**

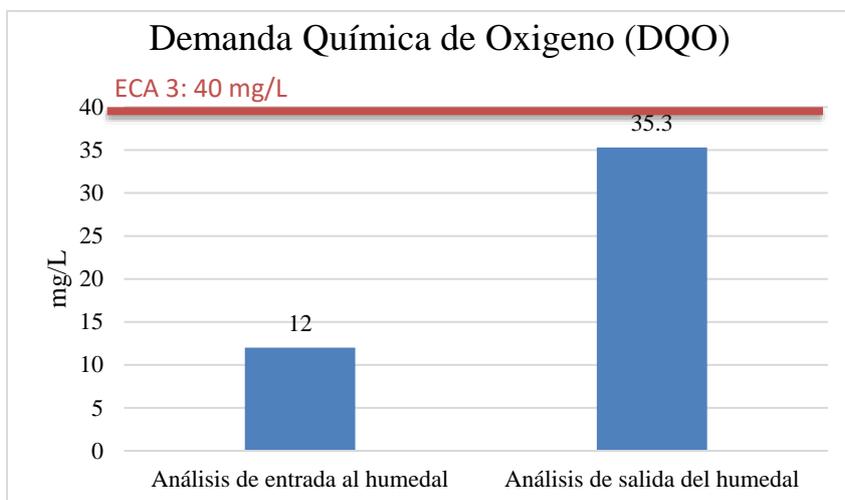
*Parámetro de DBO<sub>5</sub> después del tratamiento*



Se puede observar en la Figura 27 que el indicador de DQO presentó concentraciones 12.0 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 35.3 mg/L, por lo tanto, se observó un aumento de la concentración, sin embargo, no representa un problema debido a que se mantiene sobre los lineamientos del ECA para Agua de la categoría 3.

**Figura 27**

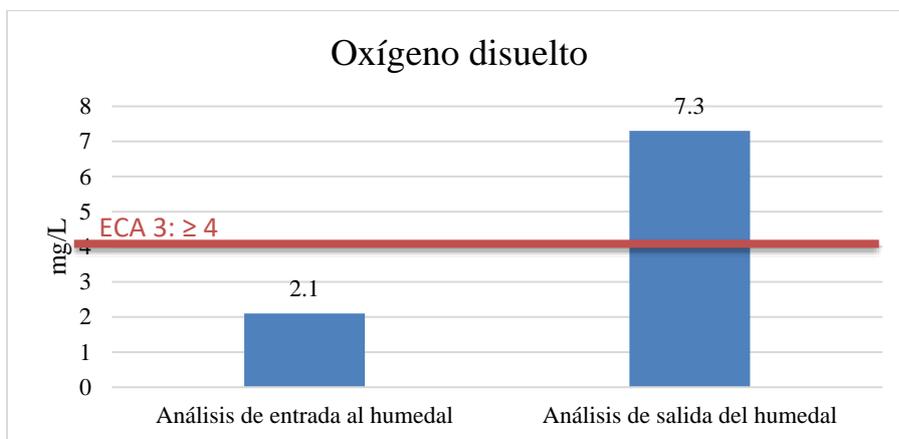
*Parámetro de DQO después del tratamiento*



En la Figura 28 se puede visualizar que el parámetro de oxígeno disuelto presentó concentraciones 2.1 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 7.3 mg/L, presentando un aumento de la concentración, sin embargo, no representa un problema debido a que se mantiene sobre los lineamientos del ECA para Agua de categoría 3.

**Figura 28**

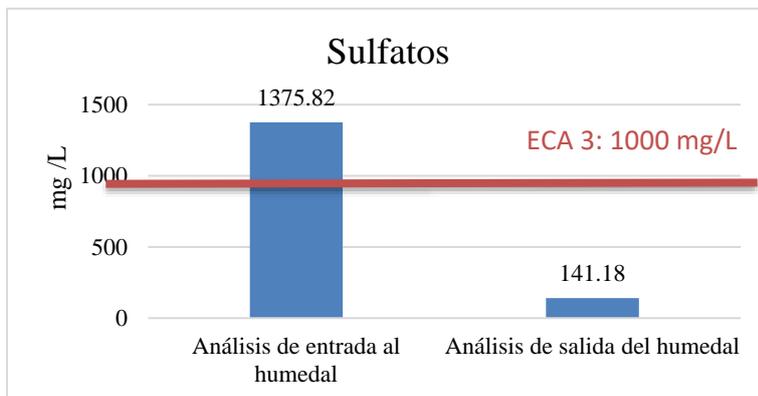
*Parámetro de oxígeno disuelto después del tratamiento*



En la Figura 29 se visualiza que el índice de sulfatos presentó concentraciones de 1375.820 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 141.18 mg/L, logrando la mejoría de la calidad del agua.

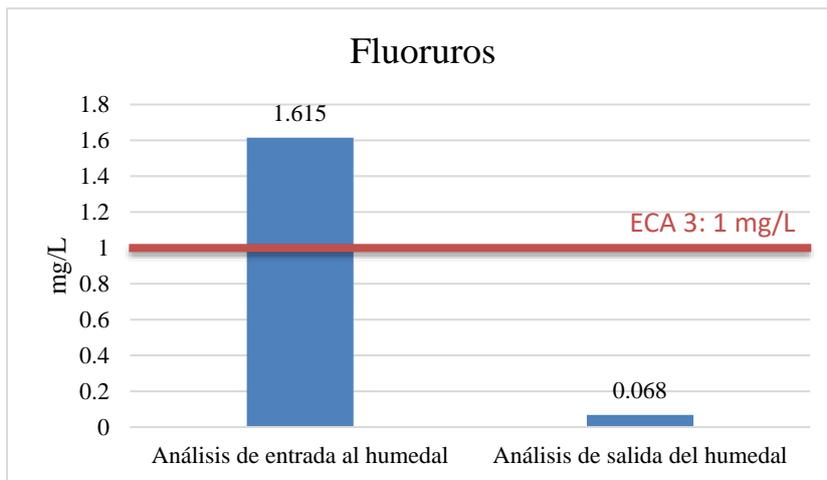
**Figura 29**

*Parámetro de sulfatos después del tratamiento*



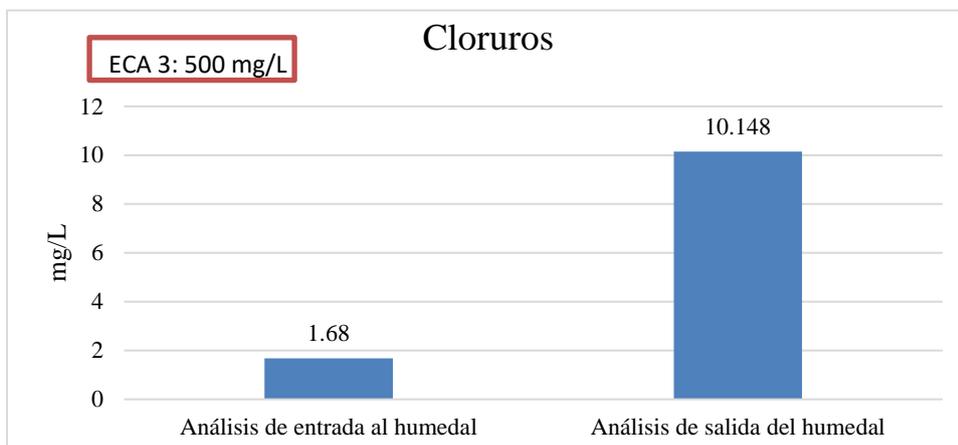
Se puede observar en la Figura 30 que el parámetro de fluoruros presentó concentraciones de 1.615 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 0.068 mg/L, por lo tanto, se logró mejorar la calidad del agua.

**Figura 30**  
*Parámetro de fluoruros después del tratamiento*



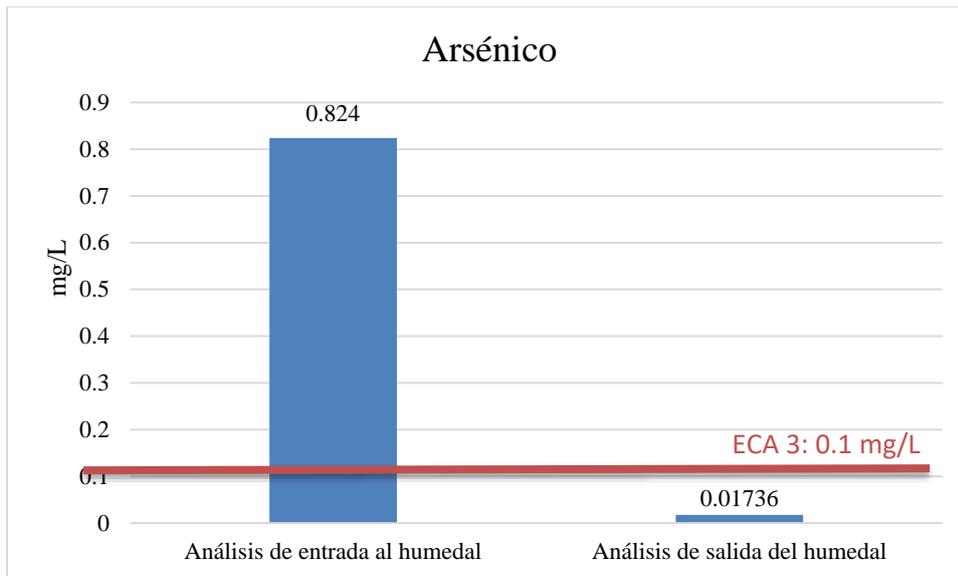
En el gráfico de la Figura 31 el índice de cloruros presentó concentraciones de 1.680 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 10.148 mg/L, por lo tanto, se observó un aumento de la concentración, sin embargo, no representa un problema debido a que se mantiene sobre los lineamientos del ECA para Agua de la categoría 3.

**Figura 31**  
*Parámetro de cloruros después del tratamiento*



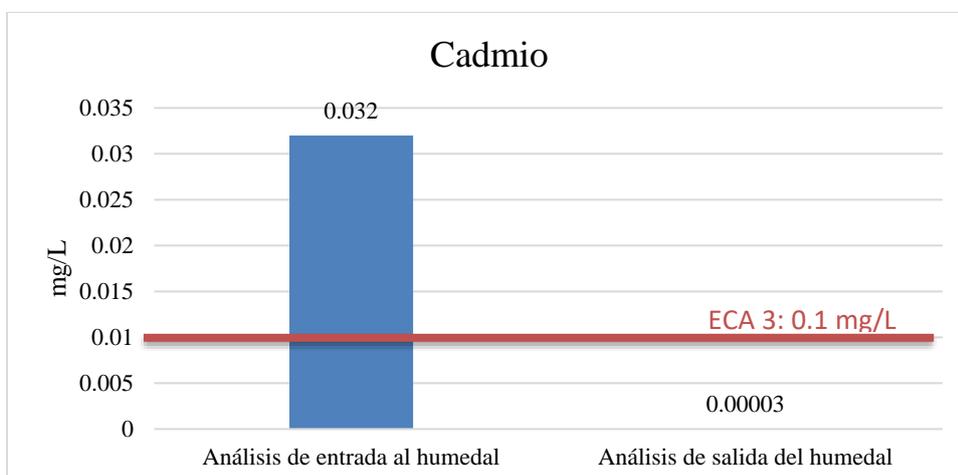
Se puede visualizar en la Figura 32 que el parámetro de arsénico presentó concentraciones de 0.824 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 0.017 mg/L, logrando mejoría en los resultados de la calidad del agua.

**Figura 32**  
*Parámetro de arsénico después del tratamiento*



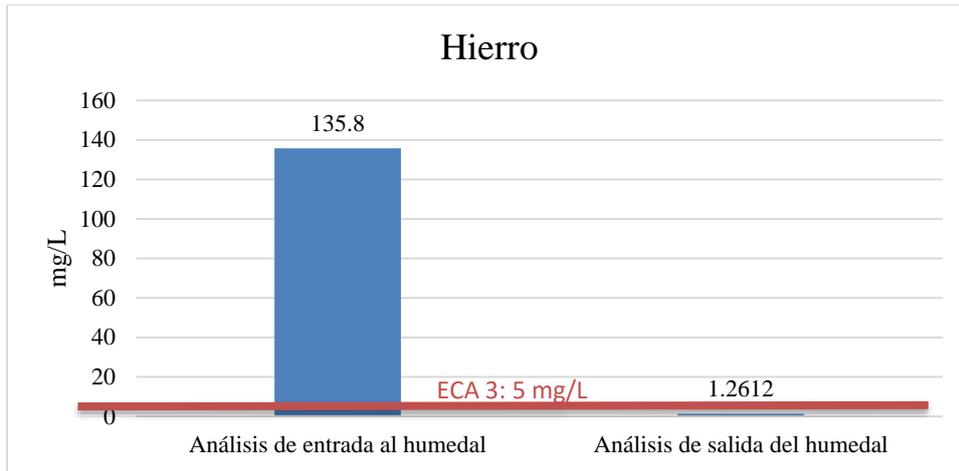
En la Figura 33 se puede observar que el parámetro de cadmio presentó concentraciones de 0.032 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de <0.00003 mg/L, por lo tanto, se logró mejorar la calidad del agua.

**Figura 33**  
*Parámetro de cadmio después del tratamiento*



En la Figura 34 visualizamos que el índice de hierro presentó concentraciones de 135.8 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 1.2612 mg/L, por lo tanto, se logró mejorar la calidad del agua.

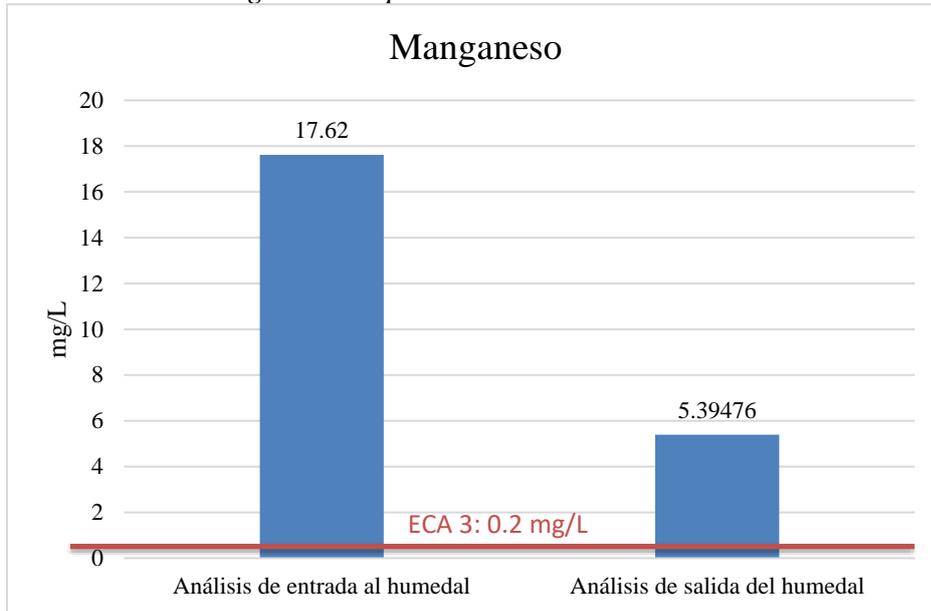
**Figura 34**  
*Parámetro de hierro después del tratamiento*



En el gráfico de la Figura 35, el parámetro de manganeso presentó concentraciones de 17.62 mg/L, mientras que posterior al tratamiento se obtuvo concentraciones de 5.39 mg/L, logrando una gran mejoría de la calidad del agua.

**Figura 35**

*Parámetro de manganeso después del tratamiento*



**3.5. Evaluar la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante con *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023.**

Respecto a la capacidad de los humedales de tratamiento flotante en la mejora de la calidad del agua con fines de riego de vegetales en la quebrada el Sinchao, se obtuvieron resultados de una remoción promedio de 82%, como se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 8**

*Eficiencia de los humedales de tratamiento flotante*

Parámetros	Unidad de medida	Análisis de entrada al humedal	Análisis salida del humedal	Eficiencia de remoción (%)
Conductividad	µS/cm	2699.5	1035	62
DBO5	mg/L	4.6	2.6	44
Sulfatos	mg/L	1375.82	141.18	90
Fluoruros	mg/L	1.615	0.068	96
Arsénico	mg/L	0.824	0.01736	98
Cadmio	mg/L	0.032	0.00003	100
Hierro	mg/L	135.8	1.2612	99
Manganeso	mg/L	17.62	5.39476	69
			Promedio metales	92
			Promedio parámetros	82

De acuerdo a la Tabla 8 las especies empleadas poseen una gran capacidad de absorción de metales pesados como lo es el cadmio (Cd) y arsénico (As) que tuvieron una remoción del 100% y 98% respectivamente y otros metales como el hierro (Fe) con 99% y manganeso (Mn) con 69%, así también vemos sulfatos 90% y fluoruros 96%; esto debido a las fitoquelatinas que forman complejos con metales pesados inmovilizándolos (Huamani et al., 2021).

Asimismo, las especies empleadas (*Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus*) poseen una alta capacidad para absorber metales, evidenciando una capacidad de remoción promedio de metales en la quebrada el Sinchao del 92%, para todos los parámetros de los contaminantes encontrados en el agua. El metal que tuvo la mayor remoción fue el cadmio (Cd), que fue del 100% en la remoción de este, esto debido a las fitoquelatinas que forman complejos con metales pesados inmovilizándolos (Huamani et al., 2021). Las fitoquelatinas son proteínas producidas en las plantas como respuesta a la exposición a metales pesados, se unen a estos metales y los

transportan fuera de las células, evitando que causen daño. En cambio, el parámetro que presentó la menor remoción en los HTF fue la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5), que solo alcanzó un 44% de reducción. La DBO5 cuantifica la cantidad de oxígeno que se consume al degradar la materia orgánica, la cual puede verse afectada por la cantidad de factores, entre los que se encuentran la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, entre otros.

Para encontrar la capacidad de remoción (%) se empleó la siguiente fórmula:

$$R = \left(1 - \frac{Cf}{C0}\right) * 100\%$$

Donde:

R= Coeficiente de remoción

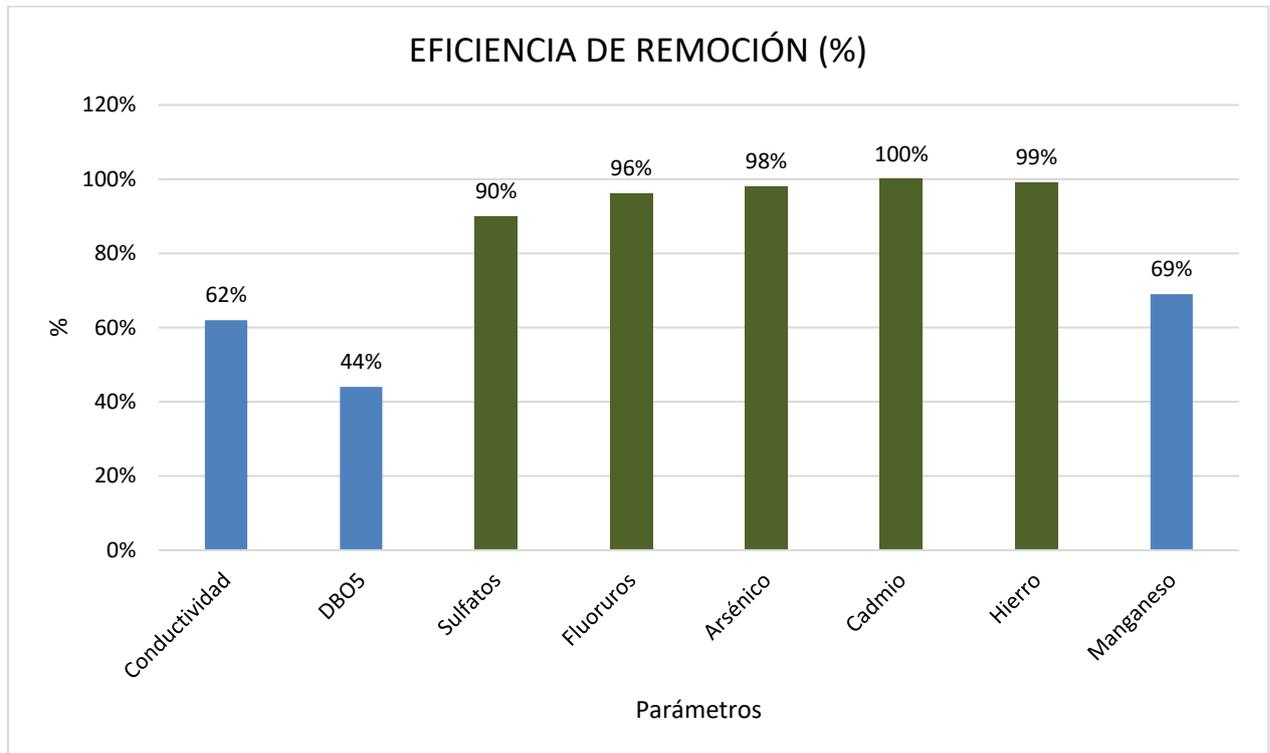
Cf= Análisis de salida del humedal

C0= Análisis de entrada al humedal

Estos resultados pueden visualizarse en la Figura 36, en donde se determina que, gracias a la aplicación de las especies Macrófitas, se puede observar que la mayor remoción se presentó en el parámetro cadmio con un valor del 100%, seguido de Hierro, Arsénico, Fluoruros y Sulfatos con valores de 99%, 98%, 96% y 90% respectivamente. Por otro lado, la menor remoción se evidenció en los parámetros de conductividad y DBO5 con valores de 62 y 44% cada uno. Por lo tanto, los humedales flotantes con las especies macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* poseen una gran la capacidad de remover eficazmente los metales y otros contaminantes que se encuentran en las aguas superficiales de la quebrada el Sinchao. Estos resultados demuestran el potencial de los humedales flotantes como una alternativa ecológica y económica para la mejora de la calidad del agua

**Figura 36**

*Remoción de contaminantes mediante el humedal de tratamiento flotante*



## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron están orientados a los alcances o efectos evidenciados durante el desarrollo de la investigación, por lo que se declara la interpretación y comprensión de los conocimientos adquiridos relacionados con el tratamiento de agua contaminada, resaltando arsénico como el más importante debido a su condición de toxicidad y persistencia en el agua, además de la gran importancia del estudio y así lograr incentivar y sensibilizar a la población en el cuidado ambiental y la implementación de soluciones para la contaminación hídrica, a fin de proponer y ejecutar actividades orientadoras para la construcción de humedales de tratamiento flotante que tenga como objetivos disminuir la carga contaminante del agua de la quebrada Sinchao y permitir la utilización del agua tratada con fines de riesgo para el desarrollo de la agricultura sostenible en la localidad de Cajamarca.

Por otro lado, la selección de la vegetación se basó en su capacidad de resistir las condiciones ácidas y con altas cantidades de metales en el agua contaminada por drenaje de mina, asimismo se consideró las condiciones locales, y su capacidad de proporcionar las funciones requeridas en el tratamiento flotante. De esta manera, las especies *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Scirpus californicus* (Totora) cumplen las características necesarias para la adaptación a la zona de estudio en Cajamarca, así como la capacidad para disminuir la carga contaminante de los parámetros de turbidez, SST, SDT, sodio, aluminio, bario, DBO5, DQO, plomo, mercurio, arsénico y cadmio.

Similarmente, Granados (2018) aplicó las *Eichhornia crassipes* y Lemmma Minor, para la absorción de DBO, DQO, hierro, cadmio, fósforo, arsénico, cobre, zinc, cromo y plomo. Asimismo, Nuñez et al. (2019) utilizó especies palustre como *Zantedeschia aethiopica* y

flotante como *Eichhornia crassipes* en la remoción de aceites y grasas, DBO, DQO, sólidos suspendidos totales (SST) y turbidez, nitrógeno amoniacal. Por el contrario, González y Hernández (2020) estudiaron las especies *Heliconia psittacorum* y *Alpinia purpurata* para remover DBO<sub>5</sub>, Sólidos Suspendidos Totales y Fosfato. Mientras que Mellado (2018) evaluó las especies macrófitas *Typha domingensis*, *Schoenoplectus americanus* y *Phragmites australis* en la remoción de aceites y grasas, DBO, DQO y fosfatos.

En relación con diseño del humedal, se constató un dimensionamiento de 1.07 metro de largo y 1.07 metro de ancho con una profundidad de 0.80 metros y un volumen de 915.92 litros, asimismo el tiempo de retención estimado fue 3 horas y 16 minutos, mientras que el lecho filtrante estuvo conformado por 5 cm de grava gruesa de una pulgada, 5 cm grava fina de ½ pulgada, 3 cm de arena y 7 cm de lodo. Por el contrario, Cieza y Guevara (2021) diseñaron dos humedales con largo de 1 m y de ancho igualmente 1 metro, del mismo modo 1 metro de profundidad, asimismo el volumen del agua fue 500 litros y 700 litros en cada humedal con un tiempo de retención estimado de 36 horas, además el lecho filtrante estuvo conformado por 10 cm de estiércol de vaca pre descompuesto y musgo.

Ambas indagaciones, tanto el presente estudio como la investigación de Cieza y Guevara (2021) se realizaron en la quebrada el Sinchao del Distrito de Hualgayoc en el Departamento de Cajamarca. En este sentido, la construcción del humedal representa una solución viable para la mejora de la calidad del agua con fines de riego de vegetales en la zona de estudio. Así también Quevedo (2021) determinó que la utilización de humedales artificiales como método para el tratamiento de aguas residuales tiene grandes beneficios, puesto que presenta una alternativa económica y aplicable en otras localidades para fomentar la reducción de la contaminación del agua, por ello que se tomó como referencia para las especificaciones del diseño del humedal.

La aplicación del humedal flotante utilizando macrófitos demostró una capacidad de remoción en valores de 100%, 99%, 98%, 96%, 90%, 62% y 44% para Cadmio, Hierro, Arsénico, Fluoruros, Sulfatos, Conductividad y DBO5 respectivamente en un periodo de retención hidráulica de máximo de 7 días, el cual también se estableció en el estudio de Quevedo (2021) quien consideró un periodo de retención de 5 a 15 días. En ese sentido, se demostró la remoción de contaminantes de metales presentes en el agua cumpliendo con la hipótesis planteada, pues según Lizama-Allende et al. (2021) que en su estudio obtuvo una capacidad de remoción de arsénico y hierro (> 96%) se debió a que la presencia de vegetación afecta positivamente la remoción de metales, y que además las tasas de eliminación de arsénico y otros metales se deben a las características del medio de soporte, ya que este influye cuando las condiciones de pH se encuentran en condiciones muy ácidas. Por otro lado, se presentó un aumento de concentraciones en los parámetros de pH, DQO, Oxígeno Disuelto y Cloruros. Sin embargo, en el caso del pH es beneficioso debido a que el agua cambió de condiciones ácidas a alcalinas, mientras que los demás parámetros se mantuvieron dentro de los límites del ECA. En el caso del aumento de DQO, AI-Ajalín et al. (2020) sugiere que la eliminación de este parámetro se ve afectado por la falta de oxígeno que se tiene inicialmente ya que puede reducir la actividad de las bacterias aeróbicas para degradar el material orgánico, asimismo la profundidad significa un factor de influencia, puesto que, los autores señalan que a una menor profundidad (0.27m -0.50m) se podría alcanzar mayor eliminación debido al límite de penetración de las raíces de las plantas, considerando que a mayor profundidad se tiene una condición ligeramente anaeróbica, siendo la profundidad del humedal diseñado 0.80m.

En cambio, el parámetro de manganeso a pesar de lograr una disminución de la carga contaminante en 69%, sigue siendo superior a los límites del ECA, para lo cual el estudio de Lizama-Allende et al. (2021) sostiene que cuando se remueve o no se afecta en absoluto la

remoción es porque las condiciones predominantes no son fuertemente reductoras y que esta capacidad de remoción puede disminuir debido a la pérdida de oxígeno por las raíces de las plantas, asimismo, es probable que, dentro del humedal, coexistan microzonas con condiciones tanto oxidantes como reductoras, las cuales junto a la variedad de procesos de eliminación de metales que se dan en el humedal, y la duración del experimento, podrían explicar las diferentes tendencias en la concentración de metales en la salida del humedal, además el rendimiento del tratamiento de humedales no solo depende de las condiciones dentro del humedal, sino, también factores ambientales como la temperatura y la radiación solar que también juegan un papel importante, así como la existencia de rutas preferenciales de flujo creadas por el crecimiento de las raíces de las plantas, puede afectar el desempeño del tratamiento y como se mencionó existe la posibilidad de que el sustrato base del humedal no permitió obtener una mayor cantidad de remoción respecto al Manganeso, a diferencia de los otros contaminantes.

Estos resultados fueron similares que el estudio de Mena (2022), el cual logró una remoción máxima en los parámetros químicos como en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del 72%, Plomo del 84,36% y el Cadmio del 78,48%. Por el contrario, en la investigación de Torrez (2021) se obtuvieron niveles de remoción inferior para el caso de los parámetros calcio y magnesio con valores de 12% y 27% respectivamente. Además, Flores y Huamán (2018) tuvieron una reducción promedio del 27,59% en DBO; 18,68% en DQO; 36,91% y 19,59% en pH.

Por su parte, González y Hernández (2020) encontró que la especie *Heliconia psittacorum* tiene mayor remoción, puesto que se tienen los siguientes valores BDO5 en 23,21%, SST de 62,66%, P-PO4 de 88,77% y NT de 32,20%, a comparación de la especie *Alpinia purpurata*, que tuvo como resultado de DBO5 en 36,14%, SST de 61,91% y P-PO4 en 46,35%. Mientras que Mellado (2018) percibió mayores remociones de DBO de 87% para el

*Schoenoplectus americanus* (junco) y en la DQO de 72,85% para el *Phragmites australis* (carricillo). Además, Nuñez et al. (2019) obtuvo una remoción de DBO en 95% y DQO en 92% mediante las especies palustre (*Zantedeschia aethiopica*) y flotante (*Eichhornia crassipes*).

## CONCLUSIONES

Las especies macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Scirpus californicus* demostraron una capacidad de remoción elevada en la remoción de contaminantes del agua, especialmente el para el metal pesado Cadmio (Cd), que se eliminó por completo. Además, se logró una reducción significativa de los otros metales como el hierro con valores de 99% y el arsénico con 98%; así también de fluoruros y sulfatos, con valores de 96% y 90% respectivamente, esto es causado por las fitoquelatinas presentes en las especies utilizadas ya que forman complejos con metales pesados inmovilizándolos

Al evaluar la calidad del agua de la quebrada el Shinchao, se determinaron parámetros elevados, obteniendo los siguientes valores; pH siendo muy ácidos con 2.69 esto ocurre posiblemente por la actividad minera presente en la localidad de estudio, conductividad asciende a 2699.5, , oxígeno disuelto asciende a 2.1, sulfatos asciende a 1375.820, fluoruros asciende a 1.6150, , arsénico asciende a 0.824, hierro asciende a 135.8 y manganeso asciende a 17.62 dichos valores no cumplen con la norma ECA para Agua de la categoría 3. así mismo los niveles de DBO<sub>5</sub>, DQO y cloruros tienen valores de 4.6, 12 y 1.680 cumpliendo dichos parámetros con la norma revisada.

Se diseñó la planta piloto del humedal artificial, el cual tenía un ancho de 1.07m y un largo de 1.07m, así mismo, en la parte inferior se colocó una geomembrana que imposibilita que se transfieren los contaminantes al suelo, como arena, grava y lodo que constituye el lecho filtrante. Para este diseño se utilizó aguas de la quebrada el Shinchao, y se emplearon 10 unidades de la planta de *Eichhornia crassipes* y 10 unidades de la planta de *Schoenoplectus californicus* para la remoción de contaminantes.

Se evaluó la calidad del agua tratada proveniente de la planta piloto del humedal

artificial, según la normativa ambiental del decreto supremo N° 004 – 2017 MINAM que aprueba el ECA para Agua, utilizando el agua tratada de reuso de riego de vegetales y bebidas de animales, de manera referencial la categoría 3. Destacando que, el pH posterior al tratamiento mejoró significativamente, pasando de una condición ácida con 2.69 a neutra con 7.20, lo que indica que el agua alcanzó condiciones alcalinas. Así mismo, se logró un tratamiento óptimo para los metales pesados arsénico, hierro y manganeso y otros parámetros evaluados. Por lo tanto, se obtuvo un eficiente tratamiento de la calidad del agua.

## RECOMENDACIONES

Como parte de las recomendaciones, se propone realizar estudios adicionales para investigar estrategias para mejorar la eficiencia y eficacia de los humedales artificiales flotantes, que incluya optimizar la selección de plantas, su monitoreo, la composición del sustrato, el tiempo de retención y los patrones de flujo para maximizar la eliminación de contaminantes y el rendimiento general del tratamiento para evaluar el desempeño a largo plazo del humedal artificial flotante considerando también la estabilidad general del sistema a partir de su diseño.

Se sugiere continuar con un monitoreo periódico para evaluar la calidad del agua tratada en el humedal artificial verificando que cumplan con los estándares ambientales. Esto con el fin de garantizar que el humedal esté funcionando de forma óptima para que el agua pueda ser reutilizada en actividades agrícolas como riego.

Es necesario explorar los aspectos de sostenibilidad de esta tecnología, que incluya aspectos como la rentabilidad, los requisitos de mantenimiento y la eliminación de contaminantes acumulados con el fin de convertirse en una implementación viable para el tratamiento de aguas superficiales.

Por último, se recomienda promover la participación de la comunidad de El Sinchao lo cual implicaría concientizar a la población sobre los problemas de contaminación hídrica que afronta la quebrada del Sinchao, dando a conocer sobre la construcción y operación del humedal y fomentar un sentido de responsabilidad ambiental para la gestión de los recursos hídricos.

## REFERENCIAS

- Afan, K., y Flores, V. (2018). Determinación por absorción atómica de plomo y arsénico en agua potable de viviendas del Distrito Hualgayoc, Cajamarca – octubre 2017. [Universidad Privada Norbert Wiener]. <https://repositorio.uwiener.edu.pe/handle/123456789/1854>
- Almache, L. P., y Sinchiguano, L. F. (2019). Islas Flotantes Artificiales con PASTO GUINEA (*Panicum máximum*) como alternativa para la remoción de TPH (Hidrocarburos Totales de Petróleo) en el agua procedente del río Cutuchi. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/6262>
- Alvarado Díaz, E. E. (2017). Evaluación de la producción de biomasa de Azolla filiculoides (helecho acuático) en función de la concentración y tipo de fertilizante, en condiciones de laboratorio, Centro de Biología de la Universidad Central del Ecuador. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/12941>
- Arteaga Cortez, V. M. (2018). Propuesta metodológica para la construcción de humedales artificiales. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3092>
- Autoridad Nacional del Agua. (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales. Sistema Regional de Información Ambiental. <http://siar.minam.gob.pe/puno/documentos/protocolo-nacional-monitoreo-calidad-recursos-hidricos-superficiales>
- Autoridad Nacional del Agua, Engecorps, C. T.-T., y Inclam, G. (2015). Evaluación de recursos hídricos en la cuenca Marañón. Autoridad Nacional del Agua. <https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/39>
- Azuero, Á. E. A. (2019). Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía, 4(8 (Julio-diciembre), 110-127.
- Acharte Lume, L. M., ASTO GONZALES, J. M., DIEGO LÁZARO, K. A., HUAMANI RIVERA, V., ENRIQUEZ DONAIRES, A., LOVERA, D., & QUISPEALAYA ARMAS, L. (2019). Comparación de la fitorremediación con especies nativas en las aguas drenadas en la bocamina de tangana en el distrito de Huachocolpa –

Huancavelica. Revista de Investigación: Ciencia, Tecnología y Desarrollo, 5(1), 47-53.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.17162/riectd.v5i1.1355>

Araujo Mayhua, Y. C., & Castro Ventura, C. J. (2021). *Schoenoplectus californicus* (totora) como biorremediador para mitigación del arsénico y plomo en aguas del río Opamayo, Rumichaca - Huancavelica - 2021. Universidad César Vallejo: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/73467>

Ayala, A. M. (2021). Propiedades del *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), *Schoenoplectus colifornicus* (Junco), y el *Phragmites australis* (Carricillo). . Revistas Del Instituto De investigación De La Facultad De Minas, Metalurgia Y Ciencias geográficas, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 24(47), 101-108. <https://doi.org/https://doi.org/10.15381/iigeo.v24i47.20656>

Betancourt, C. M., y Cruz, L. C. (2021). Estado actual de la educación y la cultura hídrica: Un mapeo sistemático de literatura. Revista Guillermo de Ockham, 19(1), 9-24. <https://doi.org/10.21500/22563202.4591>

Carabalí, J. A. Q., Gómez-García, J., Solano, M., Llumiyinga, G., Burgos, C., y Carrera-Villacrés, D. (2019). Evaluación de la calidad de agua para riego y aprovechamiento del recurso hídrico de la quebrada Toglhuayco. Siembra, 6(2), 046-057. <https://doi.org/10.29166/siembra.v6i2.1641>

Cleza, W., & Guevara, M. (2020). Influencia del tiempo y espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas del Distrito de Hualgayoc, Cajamarca -2020. Cajamarca: Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Prevención de Riesgos. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Chang, Y., Cui, H., Huang, M., y He, Y. (2017). Artificial floating islands for water quality improvement. Environmental Reviews, 25. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0038>

Cieza, W., y Guevara, M. Á. (2021). Influencia del tiempo y espesor de capa de caliza sobre la remoción de hierro total y sulfatos mediante un humedal artificial de un drenaje ácido de minas del Distrito De Hualgayoc, Cajamarca 2020. [Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo]. <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/1464>

- Colares, G. S., Dell'Osbel, N., Wiesel, P. G., Oliveira, G. A., Lemos, P. H. Z., da Silva, F. P., Lutterbeck, C. A., Kist, L. T., y Machado, Ê. L. (2020). Floating treatment wetlands: A review and bibliometric analysis. *Science of The Total Environment*, 714, 136776. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136776>
- Cuadrado Campo, W. J. ., Vicuña Orihuela, C. E., & Torres Gutiérrez, E. R. (2020). Evaluación de la planta *Scirpus californicus* (Totora) en la eficiencia de remoción de fierro en un prototipo de humedal construido de flujo superficial. *respectiva niversitaria*, 11(1), 42–48. <https://doi.org/10.26490/uncp.prospectivauniversitaria.2014.11.6>
- Cubas, J. A., y Mireles, G. A. (2020). Eficiencia del humedal artificial con totora (*scirpus californicus*) en la depuración de efluentes de las lagunas de estabilización del C.P. La Otra Banda. [Universidad de Lambayeque]. <https://repositorio.udl.edu.pe/jspui/handle/UDL/306>
- Cusiche, L. F., y Miranda, G. A. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva nacional 'Lago Junín', Perú. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>
- Delvalle-Borrero, D. M., Medina, J. R., y Fuentes, K. (2022). Humedales artificiales flotantes y su valor paisajisto en ríos urbanos—Ciudad de Panamá. *Prisma Tecnológico*, 13(1), 3-9. <https://doi.org/10.33412/pri.v13.1.2871>
- Ewaid, S. H., Abed, S. A., Al-Ansari, N., y Salih, R. M. (2020). Development and Evaluation of a Water Quality Index for the Iraqi Rivers. *Hydrology*, 7(3), 67. <https://doi.org/10.3390/hydrology7030067>
- Flores, R., y Huamán, M. A. (2018). Sistema de depuración de aguas residuales mediante humedal artificial de flujo subsuperficial en la comunidad campesina de Ocopa - Distrito Lircay. Repositorio Institucional - UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/2469>
- García Manso, A., Mendieta Izquierdo, G., Cuevas Silva, J. M., García Manso, A., Mendieta Izquierdo, G., y Cuevas Silva, J. M. (2018). Bioeditorial Bioética e integridad científica. *Revista Latinoamericana de Bioética*, 18(1), 6-17. <https://doi.org/10.18359/ribi.3213>
- Gómez-Duarte, O. (2018). Contaminación de agua en países de bajos y medianos recursos es un problema de salud pública global. *Revista de la Facultad de Medicina*, 66(1), 7-8.

- González Alonso, A. M., y Hernández Orjuela, O. A. (2020). Evaluación de remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas por plantas ornamentales mediante humedales flotantes en el Cantón Militar de Apiay, Villavicencio (Meta). <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/30317>
- Granados Gómez, M. M. (2018). Estudio De Factibilidad De La Implementación De Humedales Artificiales Para El Tratamiento De Aguas Residuales En Ecosistema De Alta Montaña En Toquilla. <http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11576>
- Gorgoglione, A., & Torretta, V. (2018). Sustainable Management and Successful Application of Constructed Wetlands: A Critical Review. *Sustainability*, 10(11), 3910. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/su10113910>
- Hidalgo, P. (2019). STUDY OF THE PHYSICAL-MECHANICAL BEHAVIOR OF THE TIED CAT-TAIL ROLLS: INFLUENCE OF THE TENSION OF MOORING, DIAMETER AND LENGTH. *DAYA. Diseño, Arte y Arquitectura*, 53 - 84. <https://revistas.uazuay.edu.ec/index.php/daya/article/view/219/289>
- Huamani, E., Huayta, D., & Ortega, D. (2021). Eficiencia de remoción de la especie *Hydrocotyle bonariensis* (redondita de agua) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) en las aguas residuales del río Shullcas - 2021. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11100>
- Hernández-Sampieri, y Torres. (2018). Metodología de la investigación. [https://scholar.google.es/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=SI208icAAAAJ&for\\_view=SI208icAAAAJ:9ZIFYXVOiuMC](https://scholar.google.es/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=SI208icAAAAJ&for_view=SI208icAAAAJ:9ZIFYXVOiuMC)
- Huanca-Arohuanca, J. W., Pinazo, S. B. B., Quispe, L. A. S., y Condori, F. S. (2020). Evaluación y monitoreo de la calidad ambiental del agua en el proyecto sistema de riego Canal N, provincia de Melgar – Puno, Perú. *Ciencia y Desarrollo*, 26, 88-96. <https://doi.org/10.33326/26176033.2020.26.936>
- Huamani, E., Huayta, D., & Ortega, D. (2021). *Eficiencia de remoción de la especie Hydrocotyle bonariensis (redondita de agua) y Eichhornia crassipes (jacinto de agua) en las aguas residuales del río Shullcas - 2021*. Universidad Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/11100>

- Huth, I., Walker, C., Kulkarni, R., y Lucke, T. (2021). Using Constructed Floating Wetlands to Remove Nutrients from a Waste Stabilization Pond. *Water*, 13(13), 1746. <https://doi.org/10.3390/w13131746>
- Kataki, S., Chatterjee, S., Vairale, M. G., Dwivedi, S. K., y Gupta, D. K. (2021). Constructed wetland, an eco-technology for wastewater treatment: A review on types of wastewater treated and components of the technology (macrophyte, biofilm and substrate). *Journal of Environmental Management*, 283, 111986. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.111986>
- Kingsford, R. T., Bino, G., Finlayson, C. M., Falster, D., Fitzsimons, J. A., Gawlik, D. E., Murray, N. J., Grillas, P., Gardner, R. C., Regan, T. J., Roux, D. J., y Thomas, R. F. (2021). Ramsar Wetlands of International Importance—Improving Conservation Outcomes. *Frontiers in Environmental Science*, 9. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2021.643367>
- Licapa-Redolfo, G. S., Farfan Chilicaus, G. C., & Escalante Zumaeta, B. (2022). Tiempo de Retencion y Composicion del Sustrato en Humedales Artificiales en la Remocion de Hierro y Cobre del Drenaje acido de Mina. LACCEI Inc. <http://axces.info/handle/10.18687/60>
- López, P., y Andrés, L. (2018). Diseño y construcción de un prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas. <https://repositorio.usm.cl/handle/11673/47123>
- Liu, Z., & Tran, K.-Q. (2021). A review on disposal and utilization of phytoremediation plants containing heavy metals. *Ecotoxicology and Environmental Safety*(266). <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112821>
- Makopondo, R. O. B., Rotich, L. K., y Kamau, C. G. (2020). Potential Use and Challenges of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment and Conservation in Game Lodges and Resorts in Kenya. *The Scientific World Journal*, 2020, e9184192. <https://doi.org/10.1155/2020/9184192>
- Mellado, G. (2018). Determinación de la eficiencia de tres especies macrófitas para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Universidad Nacional Federico Villarreal. <https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/2729>

- Mena, A. (2022). Eficiencia del sistema de humedales artificiales, en el tratamiento de aguas residuales domésticas. [Universidad Nacional Mayor de San Marco]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/18006>
- Ministerio del Ambiente. (2017). Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM .- Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias [Text]. SINIA | Sistema Nacional de Información Ambiental. <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>
- Ministerio del Ambiente. (2018). Ministerio del Ambiente impulsa iniciativas para mejorar la calidad del agua. <https://www.gob.pe/institucion/minam/noticias/168-ministerio-del-ambiente-impulsa-iniciativas-para-mejorar-la-calidad-del-agua>
- Núñez, E., Saboya, N., y Cruz, M. (2019). Fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 5(2), Article 2. <https://doi.org/10.17162/rictd.v5i2.886>
- Ñaupas, H., Valdivia Dueñas, M. R., Palacios Vilela, J. J., y Romero Delgado, H. E. (2018). Metodología de la investigación: Cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis.
- Osorio, B. (2019). Criterios de Calidad y Rigor en la Metodología Cualitativa.
- Pacheco Peña, L. (2021). Capacidad de Adsorción de plomo (II) mediante el uso de totora (*Scirpus californicus*), en las aguas contaminadas. <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/7726>
- Paredes, J., & Ñique, M. (2018). OPTIMIZACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN DE MERCURIO EN HUMEDALES DE FLUJO CONTÍNUO. *Revista RevIA*, 5(1 Y 2), 44-49. <https://doi.org/https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/57/44>
- Palomino, P. (2019). Evaluación de la calidad del agua en el río Mashcón, Cajamarca, 2016. <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1242>
- Pérez Pérez, W. (2022). Fuentes contaminantes y determinación de metales pesados (Pb, Cu y Fe) cuenca del Río Mashcón para una propuesta de minimización Cajamarca 2021.

Repositorio Institucional - UCV.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/88724>

- Quevedo Quispe, A. W. (2021). Diseño y construcción de humedal artificial para la recuperación de aguas residuales en la población de alcalá. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 19(24), 133-148.
- Rahman, M. E., Bin Halmi, M. I. E., Bin Abd Samad, M. Y., Uddin, M. K., Mahmud, K., Abd Shukor, M. Y., Sheikh Abdullah, S. R., y Shamsuzzaman, S. M. (2020). Design, Operation and Optimization of Constructed Wetland for Removal of Pollutant. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(22), 8339. <https://doi.org/10.3390/ijerph17228339>
- Rajan, R. J., Sudarsan, J. S., y Nithiyantham, S. (2019). Microbial population dynamics in constructed wetlands: Review of recent advancements for wastewater treatment. *Environmental Engineering Research*, 24(2), 181-190. <https://doi.org/10.4491/eer.2018.127>
- Rendón, M. E., Miranda, M. G., y Villasís, M. Á. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397-407.
- Rivera, J. S. Ú., Dallatorre, Y. D., y Zaldívar-Cruz, E. A. P. D. J. M. (2018). La infiltración del agua en los suelos y componentes artificiales y materia orgánica que se utilizan en ellos para la agricultura. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 4(7), 889-896.
- Rodríguez-Lara, J. W., Cervantes-Ortiz, F., Arámbula-Villa, G., Mariscal-Amaro, L. A., Aguirre-Mancilla, C. L., & Andrio-Enríquez, E. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*): una revisión. *Agronomy Mesoamerican*, 44201-44201. <https://www.scielo.sa.cr/pdf/am/v33n1/2215-3608-am-33-01-00024.pdf>
- Rowan, A. C., Irala, C. Z., y Zamora, C. Q. (2018). Humedales Artificiales, una alternativa para la depuración de Aguas Residuales en el Municipio de Mizque, Bolivia. *Diseño y Tecnología para el Desarrollo*, 5, 88-108.
- Salas, J. J. (2018). Introducción a los Humedales Artificiales como tratamiento de las aguas residuales iAgua; <https://www.iagua.es/blogs/juan-jose-salas/introduccion-humedales-artificiales-como-tratamiento-aguas-residuales>

- Santa, L. Y., y Tantaleán, S. I. (2020). Tratamiento de las aguas residuales en la provincia de Chota aplicando humedales artificiales con *Eichhornia crassipes* y *Canna Edulis* en el año 2020 [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. <http://hdl.handle.net/11537/23907>
- Schoeman, Y. (2018). Floating treatment wetlands as a tool in green infrastructure in the city of johannesburg, south africa. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.22235.62248>
- Schwammberger, P. F., Lucke, T., Walker, C., y Trueman, S. J. (2019). Nutrient uptake by constructed floating wetland plants during the construction phase of an urban residential development. *Science of The Total Environment*, 677, 390-403. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.341>
- Shahid, M., Arslan, M., Ali, S., Muhammad, S., y Afzal, M. (2018). Floating Wetlands: A Sustainable Tool for Wastewater Treatment. *CLEAN - Soil Air Water*. <https://doi.org/10.1002/clen.201800120>
- Soler, C., Crespi, R., Soler, E., y Pugliese, M. (2018). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre superficial con macrófitas acuáticas flotantes. *Ingeniería del Agua*, 22(2), 69-78. <https://doi.org/10.4995/ia.2018.8596>
- Stefanakis, A. I. (2019). The Role of Constructed Wetlands as Green Infrastructure for Sustainable Urban Water Management. *Sustainability*, 11(24), 6981. <https://doi.org/10.3390/su11246981>
- Taddeo, S., y Dronova, I. (2018). Indicators of vegetation development in restored wetlands. *Ecological Indicators*, 94, 454-467. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.07.010>
- Torrez, E. G. (2021). Implementación de humedales artificiales como un sistema para mejorar la calidad del agua en el municipio de Achocalla [Thesis]. <http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/27692>
- Villasís-Keever, M. Á., Márquez-González, H., Zurita-Cruz, J. N., Miranda-Novales, G., Escamilla-Núñez, A., Villasís-Keever, M. Á., Márquez-González, H., Zurita-Cruz, J. N., Miranda-Novales, G., y Escamilla-Núñez, A. (2018). El protocolo de investigación VII. Validez y confiabilidad de las mediciones. *Revista alergia México*, 65(4), 414-421. <https://doi.org/10.29262/ram.v65i4.560>

- Villena, A. (2018). Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 35(2), 304-308.  
<https://doi.org/10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Viorato Romero, N. S., y Reyes García, V. (2019). La ética en la investigación cualitativa. *Revista CuidArte*, 8(16), Article 16.  
<http://revistas.unam.mx/index.php/cuidarte/article/view/70389>
- Wagner, T. V., Parsons, J. R., Rijnaarts, H. H. M., de Voogt, P., y Langenhoff, A. A. M. (2020). Benzotriazole removal mechanisms in pilot-scale constructed wetlands treating cooling tower water. *Journal of Hazardous Materials*, 384, 121314.  
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121314>
- Zhou, X., Chen, Z., Li, Z., y Wu, H. (2020). Impacts of aeration and biochar addition on extracellular polymeric substances and microbial communities in constructed wetlands for low C/N wastewater treatment: Implications for clogging. *Chemical Engineering Journal*, 396, 125349. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.125349>



## Anexo 2. Matriz de Operacionalización de variables

Variables e indicadores					
V. Independiente: Humedal de tratamiento flotante (x)					
<p>Definición Conceptual: Son pequeñas islas artificiales flotante que se construyen con tres capas que incluyen la hoja superior y el tallo de las plantas, el cuerpo flotante medio y el sistema de raíces inferiores con comunidades ecológicas, donde la interacción de plantas, suelos y raíces similares que proporcionan superficies para colonizar los microorganismos beneficiosos para la limpieza del agua (Chang et al., 2017). En este caso se estudiará la capacidad del humedal artificial flotante para remover metales pesados de aguas superficiales.</p> <p>Definición Operacional: Se diseñará y construirá un sistema de humedales flotantes de tratamiento para el agua de la quebrada de acuerdo con la metodología propuesta por la EPA (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) (1993), la cual hace referencia a Humedales de flujo superficial utilizando para su diseño la ecuación de Darcy. El propósito este diseño es la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) mediante un humedal artificial flotante con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i> en aguas superficiales de la Quebrada el Sinchao, Hualgayoc, Cajamarca, 2023.</p>					
Dimensiones	Indicadores	Nivel de Medición	Unidad de Medida	Escala de Medición	Instrumento
D1. Diseño del humedal	Dimensiones	Ratio	m, m <sup>2</sup> , m <sup>3</sup> , L	Continua	Instrumentos de diseño y medición: Autocad, cinta métrica, calculadora.
	Tipo de sustrato	Nominal	-	Cualitativa	
	Tipo de flujo	Nominal	-	Cualitativa	
D2. Plantas macrófitas. <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i>	Tasa de crecimiento: longitud	Ratio	cm / m	Continua	Instrumentos de medición

V. Dependiente: Remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) (y)					
<p style="text-align: center;">Definición Conceptual: Representa la disminución de la concentración de metales (As, Cd, Fe, Mn) en aguas superficiales mediante un humedal artificial flotante en la Quebrada el Sinchao, Hualgayoc, Cajamarca, 2023</p> <p>Definición Operacional: En el presente estudio se determinará la diferencia entre la concentración inicial y final de metales en aguas superficiales de la Quebrada el Sinchao, Hualgayoc, Cajamarca, 2023.</p>					
Dimensiones	Indicadores	Nivel de Medición	Unidad de Medida	Escala de Medición	Instrumento
D1. Porcentaje (%) de remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn)	Concentración inicial y final de Arsénico, Cadmio, Hierro, Manganeso.	Ratio	mg/L	Continua	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ficha de registro de campo.</li> <li>- Estándares de Calidad Ambiental (categoría 3).</li> <li>- Análisis de laboratorio.</li> </ul>

### Anexo 3. Matriz de consistencia

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cuánto es la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i> en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023?	Evaluar la remoción de los metales, arsénico (As), cadmio (Cd), hierro (Fe) y manganeso (Mn) mediante un humedal artificial flotante con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i> en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023.	El uso de un humedal artificial flotante con las especies <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i> resulta eficaz para la remoción de metales en aguas superficiales de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca, 2023.	<p><b>V. Independiente:</b> Humedal de tratamiento flotante (x)</p> <p><b>Dimensiones:</b> Diseño del humedal</p> <p>Plantas macrófitas. <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Scirpus californicus</i></p> <p><b>V. Dependiente:</b> Remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) (y)</p> <p><b>Dimensiones:</b> Porcentaje (%) de remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn)</p>	<p><b>Enfoque:</b> Cuantitativa</p> <p><b>Nivel:</b> Descriptivo</p> <p><b>Diseño:</b> pre-experimental</p> <p><b>Población:</b> el agua superficial presente en la quebrada El Sinchao</p> <p><b>Muestra:</b> 1000 litros de agua recolectados de la quebrada El Sinchao</p>
PROBLEMAS ESPECÍFICOS	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECIFICAS		
<p>a) ¿Cuál es la calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca?</p> <p>b) ¿Cuál es el diseño de una planta piloto de humedal artificial flotante para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca?</p> <p>c) ¿Cuál es el tiempo de retención óptimo del humedal artificial flotante que permita la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas</p>	<p>a) Determinar la calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.</p> <p>b) Diseñar una planta piloto de humedal artificial flotante para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca.</p> <p>c) Un tiempo de tiempo de retención de 5 a 15 días en el humedal artificial flotante permitirá la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas superficiales de la quebrada El</p>	<p>a) La calidad de las aguas superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca, no es apta según la normativa ambiental.</p> <p>b) Diseñar una planta piloto de humedal artificial flotante es viable para el tratamiento de las aguas superficiales contaminadas proveniente de la quebrada El Sinchao, distrito de Hualgayoc, Cajamarca.</p> <p>c) Establecer un tiempo de tiempo de retención entre 5 a 15 días en el humedal artificial flotante para la remoción de metales (As, Cd, Fe, Mn) de las aguas superficiales de la</p>		

<p>superficiales de la quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca?</p> <p>d) ¿Cuáles son las concentraciones iniciales y finales del humedal artificial flotante para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental?</p>	<p>Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.</p> <p>d) Evaluar las concentraciones iniciales y finales del humedal artificial flotante para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental</p>	<p>quebrada El Sinchao perteneciente al distrito de Hualgayoc, Cajamarca.</p> <p>d) Las concentraciones finales del humedal artificial flotante son aptas para su uso adecuado en cumplimiento de la normativa ambiental.</p>		
---	--	---	--	--

#### Anexo 4. Punto de Muestra



*Nota: Punto específico para la toma de muestra, en la Quebrada el Sinchao, Hualgayoc, Cajamarca*

#### Anexo 5. Toma de Muestra a analizar



*Nota: Toma de muestras de la calidad de agua en la Quebrada el Sinchao Hualgayoc.*

## Anexo 6. Agregando el reactivo a la muestra



*Nota: Se siguió los protocolos para la toma de muestra*

## Anexo 7. Traslado de muestras en Cooler



*Nota: Traslado de muestra de agua de la Quebrada del Sinchao, siguiendo los protocolos*

## **Anexo 8. Construcción del Humedal**



*Nota: Instalación de tubería de 1" en el Humedal Artificial*

## Anexo 9. Medición de la grava de 1"



*Nota: La grava de 1/2" debe medir 5 cm de profundidad según las indicaciones del plano del Humedal Artificial*

### Anexo 10. Medición de la grava de 1/2"



*Nota: La grava de 1" debe medir 5 cm de profundidad según las indicaciones del plano del Humedal Artificial.*

### Anexo 11. Agregado de la Arena



*Nota: La arena debe medir 3 cm de profundidad según las indicaciones del plano del Humedal Artificial*

## Anexo 12. Medición del lodo



*Nota: según las indicaciones del plano del Humedal Artificial el lodo debe medir 7 cm de profundidad*

## Anexo 13. Agregado del Agua de la Quebrada del Sinchao Al Humedal Artificial



*Nota: Los 1000 litros de agua fueron trasladados de la quebrada del Sinchao a Otuzco, los cuales fueron agregados en el Humedal Artificial.*

#### Anexo 14. EICHHORNIA CRASSIPES Y SCIRPUS CALIFORNICUS En El Humedal



*Nota: Adaptación de las plantas Eichhornia crassipes y Totora de agua.*

#### Anexo 15. Correcto funcionamiento del humedal



*Nota: Tratamiento del agua contaminada proveniente de la quebrada el sinchao-Hualgayoc*

### Anexo 16. Tomando muestra para la comprobación del tratamiento



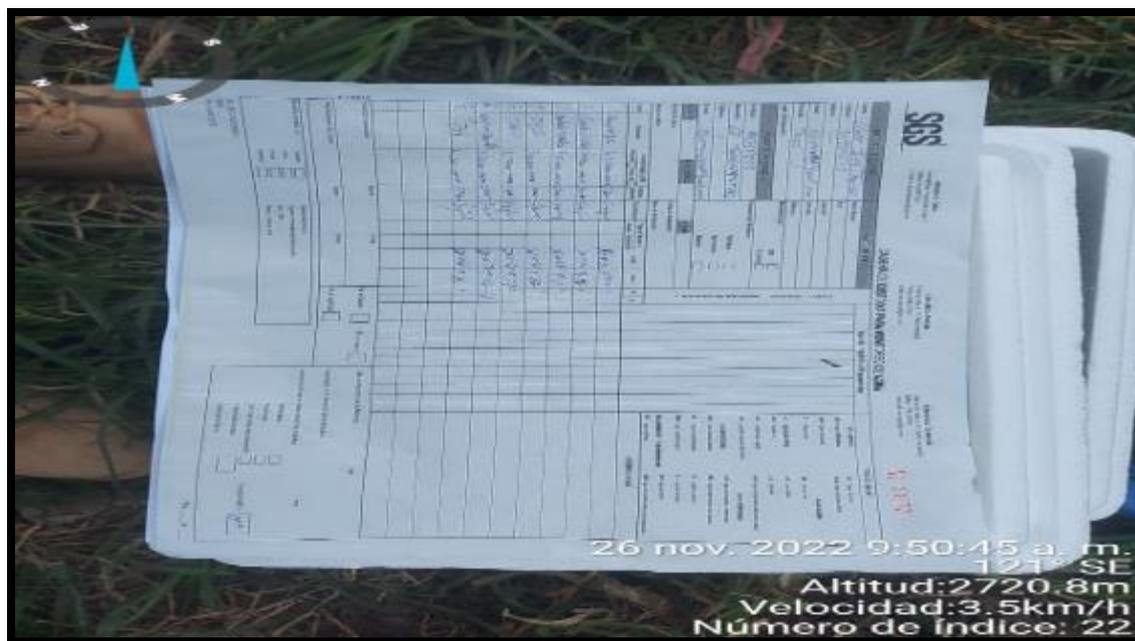
*Nota: Se toma de las muestras del agua ya tratada en el Humedal Artificial*

### Anexo 17. Toma de muestra del Humedal artificial siguiendo protocolos



*Nota: Se siguió el protocolo para la toma de muestras de las aguas ya tratadas en el humedal Artificial*

### Anexo 18. Protocolo de Toma de muestra de las aguas tratadas en el Humedal



*Nota: Se tomaron las muestras de calidad de agua después del tratamiento siguiendo estos protocolos.*

### Anexo 19. Traslado en Cooler de la muestra de agua tratada en el Humedal Artificial



*Nota: Las muestras fueron trasladadas hasta el laboratorio siguiendo los protocolos*



ANEXO IV



FICHA DE IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO DE MONITOREO

Nombre del cuerpo de agua:

Clasificación del cuerpo de agua:   
(Categorizado de acuerdo con la R.L. N°282-2010-ANA y modificaciones posteriores)

Código y nombre de la cuenca o del cuerpo marino-costero:   
(Código 7 dígitos)

IDENTIFICACIÓN DEL PUNTO

Código del punto de monitoreo:   
(Según lo indicado en Item 6.1.4 del Protocolo Nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales)

Descripción:   
(Representación)

Accesibilidad:   
(Describe detalladamente la vía de acceso para que otros personas puedan acceder fácilmente al punto de monitoreo)

Representatividad:   
(Describe el tipo de río o quebrada o la zona de laguna o mar, que el punto de monitoreo represente)

Finalidad del monitoreo:   
(Describe la finalidad del punto de monitoreo, vigilancia de un uso, evaluación del impacto de una acción determinada, ...)

Reconocimiento del Entorno:   
(Incluir referencias topográficas que permitan el fácil reconocimiento del punto en campo)

UBICACIÓN

Distrito:  Provincia:  Departamento:

Localidad:

Coordenadas (WGS84): Sistema de coordenadas:  Proyección UTM  Geográficas

Norte/Latitud:  Zona:  (Ej. 18o-19 para UTM latitudinal)

Este/Longitud:  Altitud:  (metros sobre el nivel del mar)

Croquis de ubicación del punto de monitoreo (planimetría)

Fotografía:   
(Tomada a un mínimo de 20 metros de distancia del punto de monitoreo)



Elaborado por: \_\_\_\_\_ Fecha: \_\_\_\_\_

Activa  
Ir a Com



# Resultados de ensayos realizados



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D/ CON REGISTRO N° LE-084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0922616**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **CLEIVER RUIZ TARRILLO**  
 Dirección -  
 Persona de contacto **CLEIVER RUIZ TARRILLO** Correo electrónico [cleiverruiz00@gmail.com](mailto:cleiverruiz00@gmail.com)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **20.09.22** Hora de Muestreo **16:15**  
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
 Procedimiento de Muestreo -  
 Tipo de Muestreo **Puntual**  
 Número de puntos de muestreo **01**  
 Ensayos solicitados **Químicos**  
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**  
 Referencia de la Muestra: -

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-832** Cadena de Custodia **CC - 616 - 22**  
 Fecha y Hora de Recepción **21.09.22 08:55** Inicio de Ensayo **21.09.22 09:05**  
 Reporte Resultado **06.10.22 17:30**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Octubre de 2022



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D/  
CON REGISTRO N° LE-084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0922616**

ENSAYOS			QUÍMICOS				
Código de la Muestra	01		-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0922616-01		-	-	-	-	-
Matriz	Proceso		-	-	-	-	-
Descripción	Laboración		-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	Quebrada Sinchao		-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales				
Plata (Ag)	mg/L	0.0190	<LCM	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.0230	24.72	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.0050	0.824	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.0260	<LCM	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.0040	0.008	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.0030	<LCM	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.0160	<LCM	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.1240	239.5	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.0020	0.032	-	-	-	-
Cerio (Ce)	mg/L	0.0040	0.032	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.0020	0.049	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.0030	0.005	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.0180	6.395	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.0230	135.8	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.0510	1.938	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.0050	0.038	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.0180	11.77	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.0030	17.62	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.0020	<LCM	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.0260	2.990	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.0060	0.059	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.0240	0.429	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.0040	0.045	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.0910	48.34	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.0050	0.008	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.1040	11.82	-	-	-	-
Estaño (Sn)	mg/L	0.0070	<LCM	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.0030	0.762	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.0030	0.005	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.0040	<LCM	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.0040	0.004	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.0180	11.81	-	-	-	-
Silice (SiO2)	mg/L	0.2225	25.29	-	-	-	-

Cajamarca, 06 de Octubre de 2022



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D/ J  
CON REGISTRO N° LE-084



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0922616**

ENSAYOS			FISICOQUIMICOS					
Código de la Muestra			01	-	-	-	-	-
Código Laboratorio			0922616-01	-	-	-	-	-
Matriz			Proceso	-	-	-	-	-
Descripción			Lixiviación	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra			Quebrada Sinchao	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.0380	1.615	-	-	-	-	-
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.0650	1.680	-	-	-	-	-
N-Nitro (N-NO <sub>2</sub> )	mg/L	0.0130	<LCM	-	-	-	-	-
Bromuro (Br <sup>-</sup> )	mg/L	0.0350	<LCM	-	-	-	-	-
N-Nitrato + N-Nitrito	mg/L	0.0640	0.138	-	-	-	-	-
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.0700	1375.8	-	-	-	-	-
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	0.0320	0.050	-	-	-	-	-
[*] pH a 25°C	pH	NA	2.69	-	-	-	-	-
[*] Conductividad a 25°C	uS/cm	NA	2699.5	-	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7000	<LCM	-	-	-	-	-
[*] Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	4.6	-	-	-	-	-
[*] Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	12.0	-	-	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	0.5000	2.1	-	-	-	-	-

Legenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (razas)

LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA

Cajamarca, 06 de Octubre de 2022



**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**  
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA  
**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- D/ CON REGISTRO N° LE-084**



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0922616**

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Metales Disueltos y Totales por ICP-OES (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Bi, Br, Ca, Cd, Co, Cr, Fe, Hg, K, Li, Na, Mg, Mn, Mo, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, U, V, Zn)	mg/L	EPA Method 200.7 Rev. 4.4, 1994. (Validado) 2020. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry
Aniones (Fluoruro, Cloruro, Nitrito, Bromuro, Sulfato, Nitro, Fosfato, N-NO <sub>2</sub> , N-NO <sub>3</sub> , P-PO <sub>4</sub> , N-NO <sub>2</sub> -N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	EPA Method 300.1 Rev. 1.0 1997 (VALIDADO) 2017. Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography.
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrode Method.
Conductividad a 25°C	uS/cm	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510. B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method.
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B, 2010: n-Hexane Extractable Material (HEM: Oil and Grease) and Silica Gel Treated n-Hexane Extractable Material (SGT-HEM: Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved), Azide Modification.

**NOTAS FINALES**

- [\*] Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- [\*] Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo. luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha: 03/07/2020

Cajamarca, 06 de Octubre de 2022

LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA

## LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

INFORME DE INTERPRETACIÓN

IE 0922616

Usuario **CLEIVER RUIZ TARRILLO**  
Localización **-**

ENSAYOS			01	-	-	-	-	-	ECA D1 (D.S-004)
Parámetro	Unidad	LCM							
Aluminio (Al)	mg/L	0.003	24.721	-	-	-	-	-	5.00
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	0.006	-	-	-	-	-	N.A.
Arsénico (As)	mg/L	0.005	0.024	-	-	-	-	-	0.10
Boro (B)	mg/L	0.025	<LCM	-	-	-	-	-	1.00
Bario (Ba)	mg/L	0.004	0.006	-	-	-	-	-	0.70
Berilio (Be)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-	0.10
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.032	-	-	-	-	-	0.01
Cromo (Cr)	mg/L	0.003	0.005	-	-	-	-	-	0.10
Cobre (Cu)	mg/L	0.015	6.395	-	-	-	-	-	0.20
Hierro (Fe)	mg/L	0.003	135.831	-	-	-	-	-	5.00
Manganeso (Mn)	mg/L	0.003	17.616	-	-	-	-	-	0.20
Piombo (Pb)	mg/L	0.004	0.045	-	-	-	-	-	0.05
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.049	-	-	-	-	-	0.05
Selenio (Se)	mg/L	0.007	<LCM	-	-	-	-	-	0.02
Zinc (Zn)	mg/L	0.015	11.607	-	-	-	-	-	2.00
Litio (Li)	mg/L	0.005	0.036	-	-	-	-	-	2.50
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-	N.A.
Níquel (Ni)	mg/L	0.005	0.059	-	-	-	-	-	0.20
Fósforo (P)	mg/L	0.004	0.429	-	-	-	-	-	N.A.
Fluoruro (F <sup>-</sup> )	mg/L	0.030	1.615	-	-	-	-	-	1.00
N-Nitrato + N-Nitro	mg/L	0.004	0.138	-	-	-	-	-	100.00
N-Nitrato (N-NO <sub>3</sub> )	mg/L	0.013	<LCM	-	-	-	-	-	10.00
Cloruro (Cl <sup>-</sup> )	mg/L	0.065	1.680	-	-	-	-	-	500.00
Sulfato (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	0.07	1375.820	-	-	-	-	-	1000.00
pH a 25°C	pH	NA	2.69	-	-	-	-	-	6.5 - 8.4
Conductividad a 25°C	us/cm	NA	2699.5	-	-	-	-	-	2500.00
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	<LCM	-	-	-	-	-	5.00
Demanda Bioquímica de Oxígeno (BBO)	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	4.6	-	-	-	-	-	15.00
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	12.0	-	-	-	-	-	40.00
Oxígeno Disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	0.5	2.1	-	-	-	-	-	≥4

**INTERPRETACIÓN**

1. De los resultados de la muestra: 01, los parámetros resaltados se encuentran fuera del límite establecido, según La Categoría D1. (Riego de vegetales) del D.S. N° 004-2017-MINAM.

\*N.A.- No Aplica



Cajamarca, 06 de Octubre de 2022



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2245290 Rev. 0**

**CLEIVER RUIZ TARRILLO**

GIRON TAYABAMBA #155

ENV / LB-351755-002

PROCEDENCIA : FISCAL

Fecha de Recepción SGS : 26-11-2022

Fecha de Ejecución : Del 26-11-2022 al 06-12-2022

Muestreo Realizado Por : CLIENTE

Estación de Muestreo
HUMEDAL N°1

Emitido por SGS del Perú S.A.C.

Impreso el 06/12/2022

Jade C. Huarcaya Soto  
C.B.P. 8471  
Jefe de Oficina

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Página 1 de 5



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



Especificación N° 002

**INFORME DE ENSAYO  
MA2245290 Rev. 0**

IDENTIFICACIÓN DE MUESTRA					HUMEDAL N°1
FECHA DE MUESTREO					26/11/2022
HORA DE MUESTREO					09:11:00
CATEGORÍA					AGUA NATURAL
SUB CATEGORÍA					AGUA SUPERFICIAL
Parámetro	Referencia	Unidad	LD	LC	Resultado ± Incertidumbre
<b>Análisis Generales</b>					
Conductividad	EW APHA2510B_CX	µS/cm	--	--	1,235.0
Potencial de Hidrógeno	EW APHA4500HR_CX	pH	--	--	7.20 ± 2.16
Oxígeno disuelto	EW APHA4500OC_CX	mg DO/L	0.3	1.0	7.3 ± 1.40
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EW APHA5210B_CX	mg/L	1.0	2.8	<2.8
Demanda Química de Oxígeno	EW APHA5220B_CX	mgO2/L	1.8	4.5	35.3
<b>Aniones</b>					
Cloruro	EW EPA300.0.CX	mg/L	0.025	0.050	10.146 ± 2.94
Fluoruro	EW EPA300.0.CX	mg/L	0.002	0.004	0.068 ± 0.016
Sulfato	EW EPA300.0.CX	mg/L	0.01	0.03	141.18 ± 29.65
<b>Metales Totales</b>					
Aluminio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.001	0.005	0.196 ± 0.018
Antimonio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00004	0.00013	<0.00013
Arsenico Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00010	0.01736 ± 0.0019
Bario Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.2316 ± 0.021
Berilio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Bismuto Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00384 ± 0.00019
Boro Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.002	0.006	<0.006
Cadmio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00001	0.00003	<0.00003
Cálcio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.003	0.009	165.036 ± 16.50
Cromo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00006	0.00024	<0.00024
Cesio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Cobalto Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00001	0.00003	0.00563 ± 0.00059
Cobre Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00016	0.00514 ± 0.00079
Cromo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Estanio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00010	<0.00010
Estroncio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.8662 ± 0.078
Fósforo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.015	0.047	<0.047
Galio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00004	0.00012	<0.00012
Germanio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Hafnio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00015	<0.00015
Hierro Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0004	0.0013	1.2612 ± 0.10
Lantano Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Litio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0001	0.0003	0.0013 ± 0.00010
Lutecio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Magnesio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.001	0.003	32.006 ± 1.44
Manganeso Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00010	5.36476 ± 0.38
Mercurio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00005	0.00009	<0.00009
Molibdeno Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.01186 ± 0.00027
Niobio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0005	0.0015	<0.0015
Niquel Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0044 ± 0.0010
Plata Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010
Plomo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0018 ± 0.00020
Potasio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.04	0.13	5.32 ± 0.43
Rubidio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0003	0.0009	0.0031 ± 0.00030
Selenio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0004	0.0013	<0.0013
Silicio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.09	0.27	26.35 ± 3.15
Stroncio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.04	0.13	12.27 ± 1.47
Sodio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.006	0.019	25.195 ± 2.77
Talio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00002	0.00006	0.00009 ± 0.000020
Tantalo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0007	0.0021	<0.0021
Telurio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.001	0.003	<0.003
Tiobo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00006	0.00019	<0.00019
Tiobo Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	0.0014 ± 0.00020
Uranio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.000003	0.000010	<0.000010
Vanadio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0001	0.0003	<0.0003
Wolframio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0002	0.0006	<0.0006
Ytacio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00002	0.00006	<0.00006
Zinc Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.0008	0.0025	0.0025 ± 0.00080
Zirconio Total	EW EPA200.8.CX	mg/L	0.00015	0.00045	<0.00045



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2245290 Rev. 0**

**CONTROL DE CALIDAD**

LC: Límite de cuantificación  
 MB: Blanco del proceso.  
 LCS %Recovery: Porcentaje de recuperación del patrón de proceso.  
 MS %Recovery: Porcentaje de recuperación de la muestra adicionada.  
 MSD %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados de la muestra adicionada.  
 Dup %RPD: Diferencia Porcentual Relativa entre los duplicados del proceso.

Parámetro	Unidad	LC	MB	DUP %RPD	LCS %Recovery	MS %Recovery	MSD %RPD
Aluminio Total	mg/L	0.003	<0.003		100 - 102%	103%	4%
Arsénico Total	mg/L	0.00013	<0.00013		95 - 101%	103%	0%
Arsénico Total	mg/L	0.00010	<0.00010		95 - 97%	96%	4%
Bario Total	mg/L	0.0003	<0.0003		93 - 99%	100%	4%
Berilio Total	mg/L	0.00006	<0.00006		97 - 99%	101%	0%
Bismuto Total	mg/L	0.00003	<0.00003		95 - 100%	100%	0%
Boro Total	mg/L	0.006	<0.006		104 - 106%	100%	0%
Cadmio Total	mg/L	0.00003	<0.00003		103%	105%	0%
Calcio Total	mg/L	0.009	<0.009		105 - 106%	106%	2%
Cerio Total	mg/L	0.00024	<0.00024		100 - 105%	108%	0%
Cesio Total	mg/L	0.0003	<0.0003		99 - 102%	104%	1%
Cobalto Total	mg/L	0.00003	<0.00003		98 - 102%	102%	0%
Cobre Total	mg/L	0.00009	<0.00009		100 - 101%	103%	4%
Cromo Total	mg/L	0.0003	<0.0003		102 - 103%	100%	0%
Estroncio Total	mg/L	0.00010	<0.00010		98 - 100%	97%	0%
Estroncio Total	mg/L	0.0006	<0.0006		100 - 103%	100%	5%
Fósforo Total	mg/L	0.047	<0.047		99 - 105%	100%	1%
Galio Total	mg/L	0.00012	<0.00012		103 - 105%	105%	0%
Germanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006		101 - 102%	100%	0%
Hafnio Total	mg/L	0.00015	<0.00015		104 - 106%	103%	1%
Hierro Total	mg/L	0.0013	<0.0013		102 - 104%	106%	1%
Lantano Total	mg/L	0.0015	<0.0015		100 - 104%	100%	0%
Litio Total	mg/L	0.0003	<0.0003		99 - 101%	100%	0%
Lutecio Total	mg/L	0.00006	<0.00006		99 - 102%	100%	0%
Magnesio Total	mg/L	0.003	<0.003		101 - 103%	101%	2%
Manganeso Total	mg/L	0.00010	<0.00010		102 - 103%	104%	4%
Mercurio Total	mg/L	0.00009	<0.00009		99 - 102%	100%	1%
Molibdeno Total	mg/L	0.00006	<0.00006		102 - 100%	92%	1%
Niobio Total	mg/L	0.0015	<0.0015		98%	100%	0%
Niquel Total	mg/L	0.0006	<0.0006		101 - 102%	102%	0%
Plata Total	mg/L	0.000010	<0.000010		100%	100%	0%
Plomo Total	mg/L	0.0006	<0.0006		97 - 103%	102%	4%
Potasio Total	mg/L	0.13	<0.13		100 - 105%	105%	2%
Rubidio Total	mg/L	0.0009	<0.0009		100 - 101%	103%	0%
Selenio Total	mg/L	0.0013	<0.0013		95 - 97%	100%	0%
Silicio Total	mg/L	0.27	<0.27		95 - 102%	95%	2%
Silicio Total	mg/L	0.13	<0.13		94 - 103%	96%	2%
Sodio Total	mg/L	0.019	<0.019		97 - 105%	106%	2%
Talio Total	mg/L	0.00006	<0.00006		93 - 100%	101%	1%
Tartarato Total	mg/L	0.0021	<0.0021		99 - 101%	96%	0%
Teluro Total	mg/L	0.003	<0.003		101 - 105%	100%	0%
Torio Total	mg/L	0.00019	<0.00019		99 - 104%	100%	0%
Titanio Total	mg/L	0.0006	<0.0006		100 - 105%	93%	1%
Uranio Total	mg/L	0.000010	<0.000010		95 - 100%	93%	1%
Vanadio Total	mg/L	0.0003	<0.0003		99 - 105%	103%	1%
Wolframio Total	mg/L	0.0006	<0.0006		105%	100%	0%
Yterbio Total	mg/L	0.00006	<0.00006		103 - 107%	107%	0%
Zinc Total	mg/L	0.0026	<0.0026		98 - 104%	104%	4%
Zinc Total	mg/L	0.00045	<0.00045		103 - 105%	107%	0%
Conductividad	µS/cm	—	—	0%	100%	—	—
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	2.6	<2.6	9 - 10%	95 - 101%	—	—
Cloruro	mg/L	0.050	<0.050		96%	100%	0%
Fluoruro	mg/L	0.004	<0.004		95%	97%	0%
Sulfato	mg/L	0.03	<0.03		98%	100%	0%
Oxígeno disuelto	mg O <sub>2</sub> /L	1.0	<1.0	0%	103%	—	—
Potencial de Hidrógeno	pH	—	—	0%	100 - 101%	—	—
Demanda Química de Oxígeno	mgO <sub>2</sub> /L	4.5	<4.5		103%	96%	2%



**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002**



**INFORME DE ENSAYO  
MA2245290 Rev. 0**

**REFERENCIAS DE MÉTODOS DE ENSAYO**

Referencia	Sede	Parámetro	Método de Ensayo
EW_APHA2510B_CX	Cajamarca	Conductividad	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2510-B, 23rd Ed. 2017. Conductivity: Laboratory Method
EW_APHA4500HB_CX	Cajamarca	Potencial de Hidrógeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ -B; 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
EW_APHA4500OC_CX	Callao	Oxígeno Disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O-C; 23rd Ed.: 2017. Oxygen (Dissolved): Azide Modification
EW_APHA5210B_CX	Cajamarca	Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B ;23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD test.
EW_APHA5220D_CX	Cajamarca	Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D; 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
EW_EPA200_8_CX	Cajamarca	Metales Totales	EPA 200.8, Rev 5.4: 1994. Determination of Trace Elements in Waters and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Mass Spectrometry.
EW_EPA300_0_CX	Cajamarca	Cloruro	EPA 300.0, Rev. 2.1. 1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
EW_EPA300_0_CX	Cajamarca	Fluoruro	EPA 300.0, Rev. 2.1. 1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.
EW_EPA300_0_CX	Cajamarca	Sulfato	EPA 300.0, Rev. 2.1. 1993. Determination Of Inorganic Anions By Ion Chromatography.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR  
EL ORGANISMO DE ACREDITACIÓN  
INACAL - DA CON REGISTRO N° LE - 002



INFORME DE ENSAYO  
MA2245290 Rev. 0

NOTAS

Notas:

El reporte de tiempo se realiza en el sistema horario de 24 horas.

Las muestras recibidas cumplen con las condiciones necesarias para la realización de los análisis solicitados.

(\* ) Los resultados obtenidos corresponden a métodos que no han sido acreditados por el INACAL-DA.

"Este informe de ensayo, al estar en el marco de la acreditación del INACAL-DA, se encuentra dentro del ámbito de reconocimiento multilateral/mutuo de los miembros firmantes de IAAC e ILAC"

Este documento es emitido bajo las Condiciones Generales de Servicio de SGS del Perú S.A.C. las cuales se encuentran descritas en la página <http://www.sgs.com.pe/ES/Terms-and-Conditions.aspx>. Son especialmente importantes las disposiciones sobre limitación de responsabilidad, pago de indemnizaciones y jurisdicción definidas en dichas Condiciones Generales de Servicio, su alteración o su uso indebido constituye un delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales de la materia; queda prohibida la reproducción total o parcial, salvo autorización escrita de SGS del Perú S.A.C.

Los resultados del informe de ensayo sólo son válidos para la(s) muestra(s) ensayada(s); no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. La compañía no es responsable del origen o fuente de la cual las muestras han sido tomadas y de la información proporcionada por el cliente.

Última Revisión Enero 2022

Página 5 de 5