

FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería Ambiental

“EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE REMOCIÓN DE HIERRO Y ALUMINIO EN EFLUENTE DE MINA DE CARBÓN, UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES DE *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniera Ambiental

Autoras:

Silvia Yuliana Orrillo Carranza
Leyla Melita Quiroz Abanto

Asesor:

M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna
Cajamarca - Perú

2020

DEDICATORIA

Agradecer a Dios por cuidarme siempre y por haberme permitido cumplir este objetivo en vida profesional. A mi madre Marcela que desde el cielo guía mis pasos y sé que está feliz y orgullosa del logro que estos cumpliendo, a mi querido padre Aristides, quien es mi ejemplo de perseverancia y lucha constante también a mis hermanos y sobrinos por su cariño y apoyo incondicional que me brindan cada día.

Silvia Yuliana Orrillo Carranza

A Dios quien es mi guía en todo momento y lugar en donde me encuentre, a mi madre, la persona que ha sido mi motor, mi mejor e incondicional consejera, a mis hermanos quienes me han inspirado para ser su ejemplo y seguir adelante, a mi prima Vanesa, quien ha sido una segunda madre para mi brindándome su apoyo siempre en los buenos y malos momentos, agradezco también a mis docentes quienes además de brindarnos sus conocimientos también fueron amigos y sabios consejeros cuando tuvimos dificultades y nos enseñaron a ser mejores cada día, agradezco también a “Beca 18” por la oportunidad de lograr una de mis metas.

Quiroz Abanto Leyla Melita

AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera fraterna a nuestros familiares y en especial a nuestros padres por su apoyo económico y moral durante el desarrollo de nuestros estudios y formación universitaria

A nuestros amigos quienes con sus consejos, estima e ideas importantes han contribuido a nuestro desarrollo en esta etapa de nuestras vidas.

Agradecemos también a la Universidad Privada del Norte por la formación implantada y a nuestros profesores, quienes nos brindaron parte de su tiempo y las facilidades para desarrollar la tesis, en especial a nuestro docente asesor M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna, quien nos ha demostrado durante este tiempo interés, entrega y aprecio, también agradecemos al Blgo Msc. Marco Alfredo Sánchez Peña por habernos apoyado durante el desarrollo de nuestra tesis.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	7
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	8
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	10
1.1. Realidad problemática	10
1.2. Formulación del problema.....	23
1.3. Objetivos.....	23
1.4. Hipótesis	24
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA.....	25
2.1. Tipo de investigación.....	25
2.2. Población y muestra.....	25
2.3. Materiales, instrumentos y métodos	25
2.4. Procedimiento.....	29
CAPÍTULO III. RESULTADOS.....	45
3.1 Análisis iniciales de metales	45
3.2 Análisis de parámetros.....	45
3.3. Segundo análisis de metales.....	45
3.4. Análisis de metales durante el monitoreo	46
3.5. Análisis de plantas	51
3.6. Remoción de metales en agua.....	53
3.7. Absorción de metales en plantas.....	55
3.8. Análisis estadístico.....	56

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	59
4.1 Discusión	59
4.2 Conclusiones.....	61
REFERENCIAS.....	63
ANEXOS.....	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas	22
Tabla 3 Coordenadas del área de estudio.....	30
Tabla 4 Primer análisis de Fe, Al del efluente	45
Tabla 5 Primer análisis físico-químicos del efluente	45
Tabla 6 Concentración de Fe y Al del efluente de la mina de carbón	45
Tabla 7 Concentración de Fe y Al en los efluentes de los humedales artificiales	46
Tabla 8 Concentración de Fe y Al en plantas antes de colocar en los humedales artificiales	51
Tabla 9 Concentración de Fe y Al en plantas después del tratamiento	51
Tabla 10 Remoción de metales en el agua.....	53
Tabla 11 Resultados de absorción de metales en plantas	56
Tabla 12 Análisis de tendencia central y dispersión.....	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedal artificial de flujo superficial.....	16
Figura 2. Humedal subsuperficial de flujo horizontal	17
Figura 3. Humedal subsuperficial de flujo vertical.....	18
Figura 4. Representación de <i>Eichhornia crassipes</i>	20
Figura 5. Representación de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	21
Figura 6. Diseño gráfico de los humedales artificiales de flujo superficial.....	31
Figura 7. Distribución de muestreo Z para la prueba de hipótesis nula.....	58
Figura 8. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de <i>Eichhornia crassipes</i>	47
Figura 9. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	48
Figura 10. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de <i>Eichhornia crassipes</i>	49
Figura 11. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de <i>Myriophyllum aquaticum</i>	50
Figura 12. Análisis de la concentración de Hierro Fe (mg/kg) en las plantas <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i> antes y después del tratamiento.	52
Figura 13. Análisis de la concentración de Aluminio Al (mg/kg) en las plantas <i>Eichhornia Crassipes</i> y <i>Myriophyllum Aquaticum</i> antes y después del tratamiento.....	53
Figura 14. Porcentaje de remoción de Hierro Fe (mg/L) en <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i>	54
Figura 15. Porcentaje de eliminación de Aluminio (Al) en <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Myriophyllum aquaticum</i>	55

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Eficiencia de la eliminación de metales	15
Ecuación 2. Carga metálica.....	18
Ecuación 3. Dimensionamiento del sistema	19
Ecuación 4. Media	28
Ecuación 5. Desviación estándar de la distribución muestral de la media	28
Ecuación 6. Desviación estándar de la muestra	29
Ecuación 7. Prueba "Z"	29
Ecuación 8. Capacidad de absorción de la planta	55

RESUMEN

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción de Hierro y Aluminio en efluente de mina de carbón, utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, para lo cual se construyeron seis humedales, tres con la planta *Eichhornia crassipes* y tres con *Myriophyllum aquaticum* que mediante un sistema de tubería se condujo el agua del drenaje de la mina de carbón hacia los humedales para ser tratada luego de un tiempo de adaptación de las plantas con esta misma agua. Inicialmente se tomaron muestras del efluente que se compararon con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM. Luego de la toma de muestras que se hizo cada 24 horas, obtuvimos como resultados el porcentaje de remoción de Fe y Al con cada especie de planta, donde la remoción de Fe fue del 81 % con la especie *Eichhornia crassipes* y 80 % con la especie *Myriophyllum aquaticum*, sin embargo, la remoción de aluminio fue de 49 % con la especie *Eichhornia crassipes* y 91 % *Myriophyllum aquaticum*, concluyendo de esta manera que si se logró remover Fe y Al utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, obteniendo una mejor remoción de Al con la especie *Myriophyllum aquaticum*.

Palabras clave: Remoción, mina de carbón, humedales artificiales.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

La explotación minera de antracita a cielo abierto es una de las actividades más problemáticas en todo el mundo. La explotación del carbón en el Perú se viene dando hace ya más de 150 años, pero su mayor auge fue en la década de los 50 donde se explotó y se exportó a Francia y Argentina. Las antracitas peruanas son utilizadas principalmente como fuente de energía para las pequeñas industrias. Mendiola, Aguirre, Chero, Churampi, Quispe, y Sedano (2013).

En la actualidad en la región Cajamarca existe mucha contaminación a los cuerpos de agua producto de diferentes actividades que se realizan, en el distrito de Bambamarca en el caserío Santa Rosa hay un problema de contaminación de agua por la extracción de carbón de piedra que produce drenajes y estos se caracterizan por su bajo valor de pH, alto contenido de sulfatos y metales como hierro, manganeso, aluminio, zinc y estos drenajes son vertidas sin ningún tratamiento a los cuerpos de agua, produciendo alteraciones al ecosistema incluyendo al ser humano, Zurita y Álvarez (2019).

Es por la necesidad de atenuar la contaminación producto de esta actividad que hemos desarrollado la presente tesis, haciendo hincapié que es un tema que ha sido poco desarrollado y aplicado en la región, por lo que nos hemos interesado en desarrollar una investigación en la aplicación de humedales artificiales para tratar el agua contaminada por la explotación del carbón de piedra o antracita y así lograr tener los niveles establecidos por los parámetros decretados en nuestro país, del mismo modo

obtener un uso más eficiente y responsable con el medio ambiente en la explotación de este recurso, sin embargo para los tratamientos de aguas de drenajes de mina de carbón hay diferentes métodos de tratamiento, uno de los cuales es la aplicación de humedales artificiales aerobios que vienen a ser la mejor alternativa de solución gracias a su bajo costo de instalación y mantenimiento y a la eficacia de remoción de los contaminantes. Fernández, Beascochea, Muñoz y Fernández (2010).

Varios estudios referentes a humedales construidos para el tratamiento de drenajes de mina demuestran resultados satisfactorios en la reducción de la cantidad de metales pesados. Los procesos aeróbicos y anaeróbicos apuntan a quitar este agente contaminador, pero principalmente los procesos anaerobios tales como reducción bacteriana del sulfato muestran un mejor funcionamiento. La presencia de plantas, microorganismos y sustancias orgánicas es esencial para alcanzar un tratamiento acertado. Las plantas sirven como hábitat para poblaciones microbianas que actúan en el proceso de remoción y las sustancias orgánicas proporcionan una fuente de carbón para plantas y microorganismos, de tal modo realzan el proceso de remoción también, siendo un método efectivo y de bajo costo. (Gamonal, 2012).

En los estudios de Aguilar y Aguilar (2017), se aplicó un sistema piloto de humedales con especies vegetales: *Typha spp* (Totorá), *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) con los cuales se removió metales dañinos para tratar el agua ácida de la quebrada Mesa de Plata en la Provincia de Hualgayoc. En este trabajo de tesis se logró determinar la absorción que tienen las plantas para reducir la concentración de contaminantes de agua ácida de la quebrada

producto de los pasivos ambientales. La especie vegetal *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) dio una acumulación de 452,1 mg/kg Al y 547,4 mg/kg Fe que son los metales que nos interesan, por otro lado la especie vegetal *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) resultó con una acumulación de 20,7 mg/kg Fe. Obteniendo así que la mayor asimilación de metales tóxicos en 19 días de tratamiento de esta agua ácida con flujo continuo es la *Cortaderia selloana* (Pasto de pampas) es la especie que asimila mejor los metales tóxicos durante 19 días de tratamiento del agua ácida con flujo continuo. En conclusión, se redujo en un 97 % de Aluminio y 99 % de Hierro, con un tiempo de residencia hidráulica equivalente a 2 días e incrementándose un pH de 4,79 a 7,16 comprobando así que las concentraciones están por debajo de los estándares de calidad ambiental (ECA) para aguas - categoría 3.

De la misma forma, Mendoza, Salazar y Bravo (2016) menciona en la investigación “Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* (Cola de zorro acuática) para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualyagoc – Cajamarca” se determinó que dicha planta tolera rangos de unidades de pH 4 a 7, desarrollándose mejor a un pH de 4; además se comprobó que esta especie soporta concentraciones menores de 100 ppm de Zn y menores de 1000 ppm de Fe sin embargo para un crecimiento óptimo es de < 30 ppm de Zn y < 600 ppm de Fe. También se logró reconocer el alto potencial de acumulación y fitoacumulación de Fe y Zn y fueron removidos en porcentajes mayores al 90% mientras que el DQO se removió en un 77,71%.

En el trabajo de (Palomino 2007) se implementó sistemas de humedales con especies Fitoremediadoras en las quebradas Planta Concentradora de Mesapata, Pasivo Minero de Huancapetí y Rúrec y Quilcayhuanca, donde se analizaron metales pesados, luego se realizó el estudio donde se determinó que la capacidad de biorremediación del sistema de humedales en la remoción de metales pesados estuvo entre 23 % y 98 % demostrando que las plantas logran remover gran porcentaje de metales pesados, principalmente hierro y cadmio, habiendo removido un 90 % para el hierro con la especie *Articus willdenow* (*Juncus*).

Por otro lado, (Huamán, 2018) en la tesis desarrollada para el “tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte unsuitable IV Yanacocha norte por el proceso de humedales en serpentín”. Donde se realizó un primer experimento utilizando compost, agua acida y tres plantas: *Hydrilla verticillata*, *Phragmites australis*, *Scirpus holoschoenus* y después de ocho horas con el pH que aumento de 3,4 a 7,2 se desarrolló la segunda fase en la que se diseñó dos humedales adicionales para certificar resultados con tres caudales de 25, 30 y 35 mL/min respectivamente. Los humedales fueron construidos con modelo serpentín con cuatro celdas colocándose una lámina de cuarzo en la base para evitar la saturación de lodos y sobre esta se colocó 15 cm de altura de Yanahumus, y se colocaron las especies antes mencionadas en sistema tres bolillos encontrándose inundadas entre 4 y 6 cm. La experimentación se realizó en un periodo de 60 días, tomando muestras de pH, y metales totales cada cuatro días. Los resultados más excelentes se obtuvieron a los cuatro días con el flujo de 25 mL/min. En la disminución de metales existieron diferencias significativas en los tratamientos con

caudal de 25, 30 y 35 mL/min. La disminución de la concentración del metal de nuestro interés es de Fe 97,9 %.

A continuación, presentamos algunas definiciones conceptuales que nos ayudarán a entender mejor el trabajo de investigación:

DRENAJE DE MINA DE CARBÓN: Son aguas procedentes de las actividades mineras de carbón de piedra que se caracterizan principalmente por contener contaminantes de Fe, Mn, Al, SS (partículas de carbón) con bajo pH, y su flujo de descarga es relativamente alto (INGEMMET, 2016).

CARBÓN DE PIEDRA: El carbón es un combustible fósil, de forma rocosa sedimentaria organoclastica de color negro, constituido en lo fundamental por restos vegetales litificados, depositados inicialmente en ambientes palustres, lagunares o deltaicos. (Mendiola et al.,2013).

REMOCIÓN DE METALES CON PLANTAS: En la actualidad la remoción de metales con plantas ha conseguido gran notoriedad en la investigación, estas plantas remueven materia orgánica, nitrógeno, fosforo, sólidos y metales, siendo estos últimos aplicados a escala real muy eficientes; las tasas de remoción de metales en los humedales dependen mucho del tipo de elemento, sus formas iónicas, la temporada, las condiciones del sustrato y las especies de plantas según la tolerancia de algunos metales, que generalmente se acumula en el sistema reticular de la planta, que más adelante pasan a las partes aéreas. Caviedes, Delgado y Olaya (2016).

Para saber el porcentaje de metales removidos de un agua contaminada se aplica la fórmula de eficiencia de eliminación según López, Aduvire, y Baretino (2002).

Ecuación 1. *Eficiencia de la eliminación de metales*

$$E\% = \frac{C_{in} - C_{out}}{C_{in}} \times 100\%$$

Donde:

$E\%$ = Eficiencia de la eliminación

C_{in} = Concentración química en la entrada (mg/L)

C_{out} = Concentración química en la salida (mg/L)

López, Aduvire, y Baretino (2002).

HUMEDALES ARTIFICIALES: Son sistemas de depuración de aguas contaminadas donde se desarrolla un cultivo de macrofitas sujetas a un lecho de grava impermeabilizado donde se da lugar la actividad bioquímica de microorganismos, aporte físico de un sustrato inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las macrofitas y también como un medio filtrante, también se realiza el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día. Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2010).

A. HUMEDALES ANAERÓBIOS: En estos humedales no hay contacto entre agua y atmósfera de manera que se crea condiciones anóxicas que favorecen la reducción Fe^{3+} a Fe^{2+} generando alcalinidad mediante procesos químicos o con la participación de los microorganismos (Aduvire, 2006).

B. HUMEDALES AERÒBIOS: Estos humedales tienen una delgada capa de agua que inundan el sustrato sobre la cual crecen las plantas en contacto con la atmósfera, es conveniente no superar los 30 centímetros de profundidad (Aduvire, 2006).

a) HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL

En este tipo de sistema el agua circula a través de los tallos de las plantas y el agua está en contacto con la atmosfera este sistema es recomendable por la capacidad de albergar diferentes especies (Delgadillo et al., 2010).

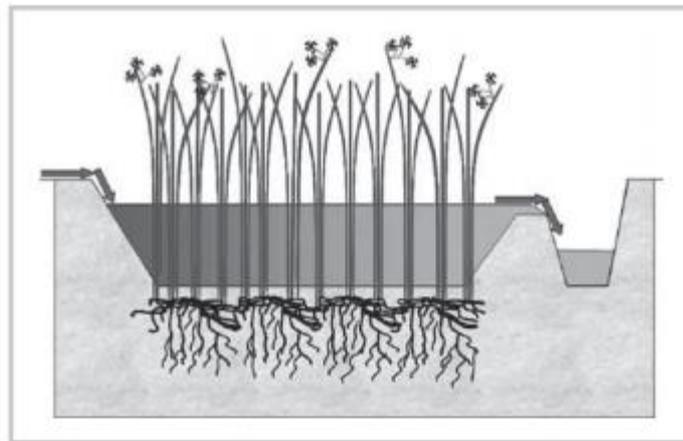


Figura 1. Humedal artificial de flujo superficial

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

b) HUMEDAL DE FLUJO SUB SUPERFICIAL

En este humedal el agua circula a través de un medio granular (subterránea) y solo está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Este a la vez puede

ser de 2 tipos subsuperficial horizontal y subsuperficial vertical (Delgadillo et al., 2010).

1. HUMEDAL SUBSUPERFICIAL DE FLUJO HORIZONTAL

El diseño de este humedal consiste en una cama cubierta con una membrana impermeable, el agua ingresa por la parte superior de un extremo y es recogida por la parte opuesta inferior, la profundidad varía entre 0,45 metros a un 1 metro con una pendiente entre 0,5 % a 1 %. El diámetro de la grava que se coloca en la entrada y salida varía entre el 50 mm a 100mm, sin embargo, en la zona de plantación el diámetro es entre 3mm a 32 mm, y el agua debe mantenerse en un nivel inferior a la superficie (5-10 cm). (Delgadillo et al., 2010).

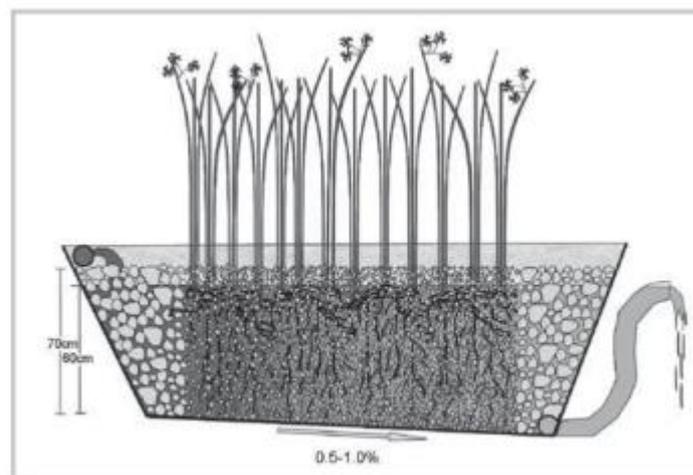


Figura 2. Humedal subsuperficial de flujo horizontal

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

2. HUMEDALES SUB SUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL

Estos sistemas son cargados intermitentemente recibiendo agua de arriba así abajo a través de un sistema de tubería, en este el sustrato se encuentra en varias capas desde las finas en la parte superior a las más gruesas en la parte del fondo (Delgadillo et al., 2010).

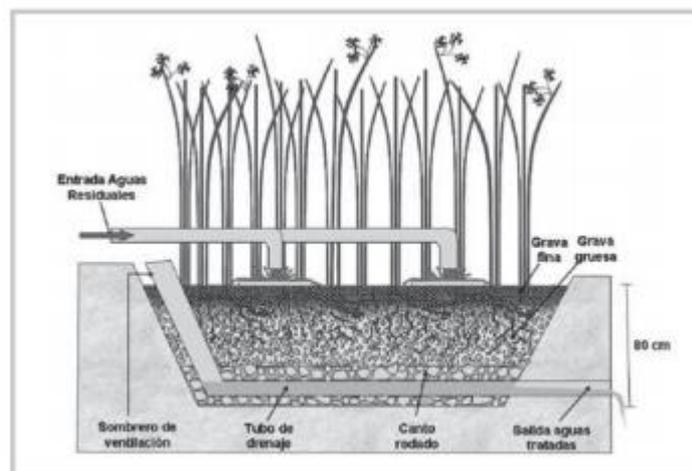


Figura 3. Humedal subsuperficial de flujo vertical

Fuente: (Delgadillo et al., 2010).

DISEÑO DE HUMEDAL DE FLUJO SUPERFICIAL

Según (Aduvire, 2006) Para hallar la dimensión del humedal aerobio a construir para un agua de mina la principal variable que se tiene en cuenta es la carga metálica que se quiere tratar, la fórmula es la siguiente:

Ecuación 2. Carga metálica

$$q \text{ (g/día)} = Q \text{ (L/min)} \times C_m \text{ (mg/L)} \times (1 \text{ g}/103 \text{ mg}) \times (1440 \text{ min}/1\text{día}) = 1,44 \times Q \times C_m.$$

(Aduvire, 2006)

El criterio más utilizado para determinar la superficie mínima de un humedal aerobio se determina en función a la eliminación de hierro y manganeso por unidad de superficie y día

Eliminación de hierro: 20 a 40 g/m²-día.

Eliminación de manganeso: 5 a 10 g/m²-día.

Para eliminar el Mn se necesita una superficie mucho mayor que para eliminar el Fe, ya que la velocidad de oxidación e hidrólisis del Mn es de entre 20 y 40 veces más lenta que la del Fe. para que sea efectiva su superficie total, ésta debe ser igual a la suma de las superficies parciales necesarias para eliminar cada uno de ellos. (Aduvire, 2006).

Ecuación 3. *Dimensionamiento del sistema*

Superficie (m²) = (g Fe/día) / 10 a 20 g/m²-día + (g Mn/día) / 0,5 a 1,0 g/m²-día
(Aduvire, 2006)

VEGETACIÓN (MACROFITAS): Las plantas que se utilizan en los humedales pueden ser macrofitas fijas al sustrato(enraizadas) o macrofitas flotantes libres y según su forma de vida se clasifican en macrofitas de hojas flotantes como el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y la lenteja de agua (*Lemna sp.*) por otro lado tenemos las macrofitas sumergidas como los helechos, musgos, carofitas y muchas angiospermas y por último se encuentran las macrofitas enraizadas emergentes que son plantas perennes (Delgadillo et al., 2010).

JACINTO DE AGUA (*EICHHORNIA CRASSIPES*)

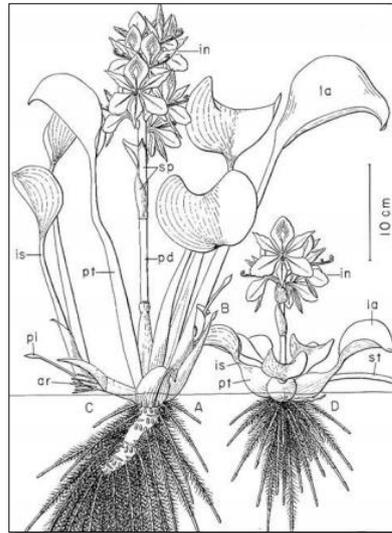


Figura 4. Representación de *Eichhornia crassipes*

Fuente: (Camacho y Ordoñez 2008).

Pertenece a la familia Pontederiaceae, es una macrofito acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce (Camacho y Ordoñez 2008). Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática. Se originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Jaramillo y Flores, 2012). Tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados.

COLA SE ZORRO (*MYRIOPHYLLUM AQUATICUM*)

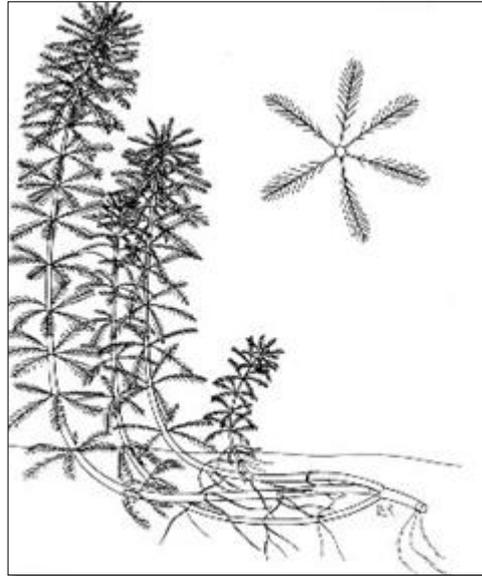


Figura 5. Representación de *Myriophyllum aquaticum*

Fuente: (Lansdown, 2011)

Planta perenne de tallo erguido, con hojas pinnadas, dispuestas alrededor de un tallo robusto en grupos de 4 a 6 hojas. Las hojas miden de 1,5 a 3,5 cm, y tienen de 20 a 30 divisiones (segmentos filiformes) por hoja, lo que le confiere un aspecto plumoso. La distancia entre verticilos es mayor en la base y se va acortando a medida que llega a la punta. Aparte del sistema de raíces que desarrolla para anclarse al substrato, puede desarrollar raíces adventicias. Puede emerger del agua, en cuyo caso cambia su morfología, con menos divisiones por hoja (de 6 a 18), más rígidas, y de un verde más oscuro que las sumergidas, de tacto suave y color verde claro. Las flores femeninas, de 1,5 mm, son blancas, sin pétalos y con 4 sépalos. Nacen en las axilas de las hojas emergidas (Lansdown, 2011).

RESOLUCIÓN SUPREMA N°194-2010 PCM

Contiene los límites máximos permisibles para descargas de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico, que son indicadores de calidad que miden la concentración de sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni el ambiente.

Tabla 1

Límites máximos permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades Minero Metalúrgicas.

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
pH	mg/L	6 - 9	6 - 9
Sólidos totales en suspensión	mg/L	50	25
Aceites y grasas	mg/L	20	16
Cianuro Total	mg/L	1	0,8
Arsénico Total	mg/L	0,1	0,08
Cadmio Total	mg/L	0,05	0,04
Cromo Hexavalente	mg/L	0,1	0,08
Cobre Total	mg/L	0,5	0,4
Hierro (disuelto)	mg/L	2	1,6
Plomo Total	mg/L	2,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

Fuente: Estos valores fueron sacados de la Resolución Suprema N°194-2010-PCM

1.2. Formulación del problema

¿Se podrá evaluar la capacidad de remoción del Hierro y Aluminio en efluente de mina de carbón, utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de remoción del Hierro y Aluminio en el efluente de mina de carbón, utilizando humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*.

1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la concentración del Hierro y Aluminio en el efluente de los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*.
- Determinar el porcentaje de remoción del Hierro y Aluminio en humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*.
- Analizar la capacidad de absorción de las especies vegetales *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, aplicadas en el tratamiento de los humedales artificiales en el efluente de la mina de carbón.
- Comparar los resultados iniciales y finales obtenidos con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* permiten evaluar la capacidad de remoción del Hierro y Aluminio en el efluente de mina de carbón.

1.4.2. Hipótesis específicas

- La concentración del Hierro y Aluminio en el efluente de los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* disminuye durante el monitoreo.
- El porcentaje de remoción del Hierro y Aluminio en humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* aumentan durante el monitoreo.
- La capacidad de absorción de las especies vegetales *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*, aplicadas en el tratamiento de los humedales artificiales en el efluente de la mina de carbón es alta.
- Los resultados obtenidos no superan los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

La investigación realizada es de tipo cuasi- experimental ya que existe poco control en las variables extrañas que están relacionadas con la remoción de metales tóxicos durante el proceso de fitorremediación del drenaje de la mina de carbón. Los datos que obtuvimos de los análisis químicos realizados son comparativos con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM.

2.2. Población y muestra

2.2.1. Población: Todos los efluentes de la mina de carbón del caserío Santa Rosa.

2.2.2. Muestra: En la presente investigación la muestra se realizó en un efluente de la mina de carbón.

2.3. Materiales, instrumentos y métodos

2.3.1. Trabajo de gabinete. En gabinete se usaron algunos equipos y softwares con los que se procesó la información y que se mencionan a continuación.

Equipos:

- Laptop
- Calculadora
- USB 32GB

Softwares:

- Microsoft 2013
- ArcGis 10.3

2.3.2. Trabajo en campo. Para el trabajo en campo se usaron algunos materiales, herramientas, reactivos e instrumentos con los que se pudo llevar acabo el trabajo de investigación y los mencionamos a continuación.

Materiales:

- Frascos de plástico de 500 mL
- Tubos, codos, tes
- pegamento
- Lapiceros y libretas de apuntes
- Caños
- Mangueras
- Wincha
- Malla

Herramientas:

- Pico
- Pala
- Barreta
- sierra

Reactivo:

- HNO₃ 3 M

Instrumentos:

- Cámara fotográfica
- Multiparámetro
- GPS

2.3.3. Análisis en laboratorio. Para el análisis de las muestras usamos materiales, instrumentos y reactivos que fueron esenciales para obtener finalmente los resultados del trabajo de investigación y los mencionamos a continuación.

Materiales:

- Mufla Thermo Scientific Termolyne
- Mortero
- Crisol de 100 mL
- Tubos graduados de 50 mL

Instrumentos:

- Espectrofotómetro UV Único
- Estufa INCUCCELL
- Colorímetro HACH DR 890

Reactivos

- HCl 0,3M
- Kits HACH Fe y Al
- Aurín tricarboxilato de amonio ($C_{22}H_{23}N_3O_9$)
- Goma de acacia o arábica
- Acetato de amonio (CH_3COONH_4)
- Aluminón.
- Aurlo tricarboxilato de amonio
- Ácido tioglicólico ($HSCH_2COOH$) 1%
- Etanol absoluto.
- Fenolftaleína 1 %.
- Hidróxido de Amonio (NH_4OH) 1 %

- Ácido perclórico (HClO_4).
- Soluciones patrón de Aluminio.

2.3.4. Métodos

Nuestro análisis estadístico se realizó usando las técnicas de la estadística descriptiva que son: medidas de tendencia central, medidas de dispersión, de igual modo la estadística inferencial para la contrastación de la significancia estadística de la hipótesis, a través de la prueba estadística “Z”

Ecuación 4. *Media*

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i * f_i}{n}$$

Donde:

x_i =todo y cada uno de los elementos de la muestra

n =total de elementos de la muestra

f_i =frecuencia de la clase

(Rosas, 2001).

Ecuación 5. *Desviación estándar de la distribución muestral de la media*

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

S_x = Desviación estándar de la distribución muestral de la media

S = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

(Rosas, 2001).

Ecuación 6. *Desviación estándar de la muestra*

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N}}$$

Donde:

n = Tamaño de la muestra

x_i = Valor de cada una de las observaciones

\bar{x} = Media de la muestra

(Rosas, 2001).

Ecuación 7. *Prueba "Z"*

$$Z = \frac{X_i - X}{S_x}$$

Donde:

Z = Puntuación de la medición transformada a unidades de desviación estándar

X_i = Valor de medición para transformar en unidades de desviación estándar.

S_x = Media de la distribución o el promedio de las mediciones $X = \sum X_i / n$

(Rosas, 2001).

2.4. Procedimiento

La metodología de esta investigación constó de varias actividades que comprenden en los siguientes aspectos.

2.4.1. Identificación del área de estudio

El área de estudio se ubica en el distrito de Bambamarca en el caserío Santa Rosa, donde se obtuvieron las coordenadas para realizar los puntos de muestreo.

Tabla 2

Coordenadas del área de estudio

Vértices del área	COORDENADAS UTM WGS 84 17 S		
	Norte	Este	Altitud (m.s.n.m)
01	9,271,000.00	783,000.00	2200
02	9,270,000.00	783,000.00	2200
03	9,270,000.00	782,000.00	2200
04	9,271,000.00	782,000.00	2200

En la Tabla se presentan las coordenadas del área de estudio de la mina de carbón del caserío Santa Rosa.

2.4.2. Fase de campo. Esta fase comprende desde el diseño del humedal de flujo superficial hasta la toma de muestras para su posterior análisis en el laboratorio.

2.4.2.1. Humedal de flujo superficial

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó dos sistemas de tratamiento de flujo superficial de flujo horizontal libre que constará de seis humedales, tres para cada sistema, en estos sistemas se cultivó tres humedales de *Eichhornia crassipes* y tres humedales de *Myriophyllum aquaticum*.

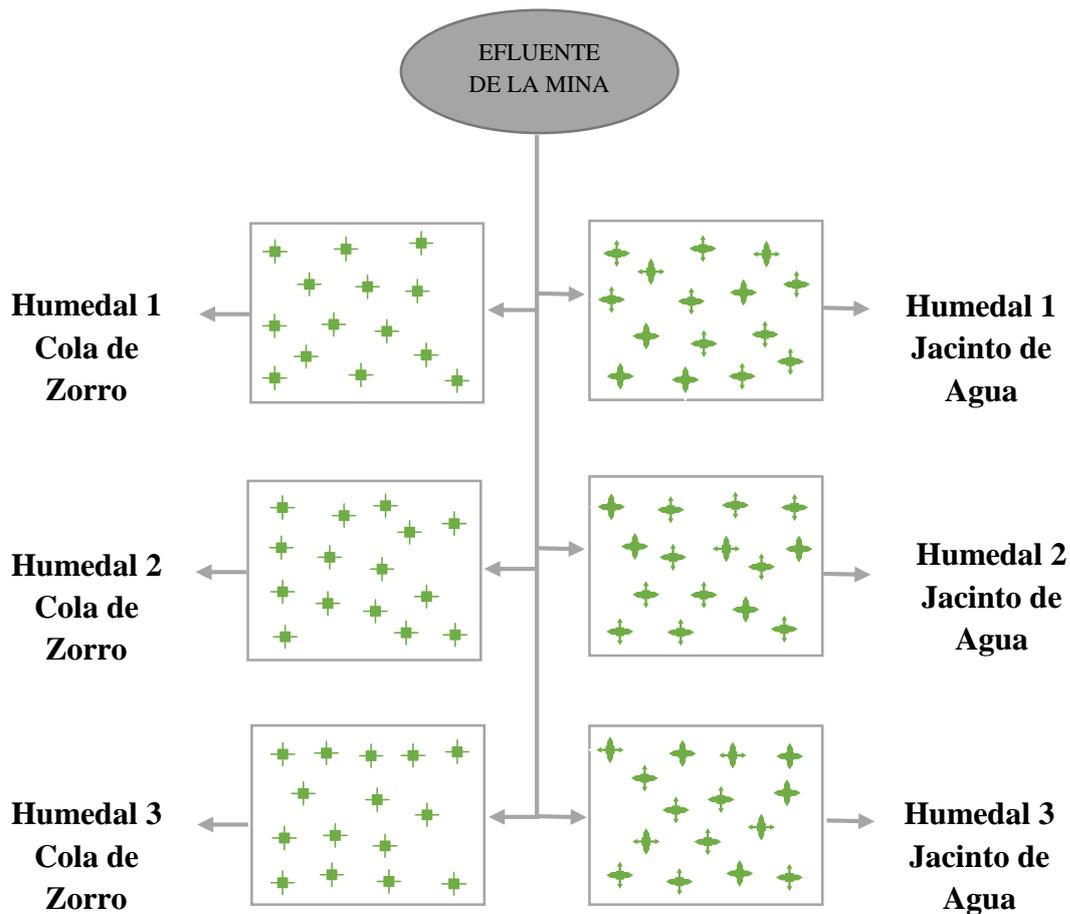


Figura 6. Diseño gráfico de los humedales artificiales de flujo superficial.

2.4.2.2. Dimensionamiento del sistema

Según (Aduvire, 2006) Para hallar la dimensión del humedal aerobio a construir para un agua de mina la principal variable que se tiene en cuenta es la carga metálica que se quiere tratar, la fórmula es la siguiente:

$$q \text{ (g/día)} = Q \text{ (L/min)} \times C_m \text{ (mg/L)} \times (1 \text{ g} / 103 \text{ mg}) (1440 \text{ min} / 1 \text{ día}) = 1,44 \times Q \times C_m.$$

C_m = concentración del metal.

Q = caudal de entrada.

C_{Fe} = concentración del hierro

C_{Mn} = Concentración del manganeso

$$q \text{ (g/día)} = Q \text{ (L/min)} \times C_m \text{ (mg/L)} \times (1 \text{ g} / 103 \text{ mg}) (1440 \text{ min} / 1 \text{ día}) = 1,44 \times Q \times C_m.$$

Nuestros datos:

$$Q = 0,3 \text{ L/min}$$

$$C_{Fe} = 25,33 \text{ mg/L}$$

$$C_{Mn} = 1,366 \text{ mg/L}$$

Para el Hierro:

$$q \text{ (g/día)} = 1,44 \times Q \times C_m.$$

$$Fe = 1,44 \times 0,3 \times 25,33$$

$$Fe = 10,9425 \text{ g Fe/día}$$

Para el Manganeso:

$$q \text{ (g/día)} = 1,44 \times Q \times C_m.$$

$$Mn = 1,44 \times 0,3 \times 1,366$$

$$Mn = 0,5901 \text{ g Mn/día}$$

Para hallar la superficie aplicamos:

$$\text{Superficie (m}^2\text{)} = (\text{g Fe/día}) / 10 \text{ a } 20 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día} + (\text{g Mn/día}) / 0,5 \text{ a } 1,0 \text{ g/m}^2 \cdot \text{día}$$

$$m^2 = \frac{10,9425 \text{ gFe/día}}{\frac{20m^2}{g}/día} + \frac{0,5901 \text{ gMn/día}}{1\frac{m^2}{g}/día}$$

$$m^2 = 1,137225m^2$$

2.4.2.3. Acondicionamiento del lugar

El espacio que se acondicionó para la instalación de los sistemas de tratamiento y el desarrollo de esta investigación, se ubicó a 20 metros de la descarga del efluente en investigación. Para acondicionar el espacio se limpió la vegetación y luego se aplanó el lugar.

2.4.2.4. Construcción de los humedales

Una vez aplanado el lugar donde se desarrolló el sistema, se procedió a excavar los hoyos a la dimensión obtenida y se colocó una Geo membrana de plástico a todo el sistema y se hicieron las conexiones de las tuberías que alimentaron a los humedales utilizando codos, tes y caños que nos permitieron controlar el flujo de agua.

2.4.2.5. Recolección de las especies de plantas acuáticas y sembrado

Las plantas de *Eichhornia crassipes*, se recolectaron de un acuífero ubicado a 200 metros del efluente de la mina de carbón del caserío Santa Rosa en el Distrito de Bambamarca ubicado a 2444 msnm; sin embargo las plantas de *Myriophyllum aquaticum* se recolectaron a 1 kilómetro de dicha localidad a una altura de 2446 m.s.n.m., donde se extrajeron plantas completas de 0,80 m de altura aproximadamente con rizoma desarrollado.

Para su conservación hasta el momento de su plantación, se introdujeron los rizomas en bolsas plásticas oscuras con agua limpia. Para realizar el sembrado se consideró un aproximado de 30 plantas para cada humedal y no se usó ningún sustrato.

2.4.2.6. Etapa de adaptación de las plantas y monitoreo

Para la adaptación de las plantas se las estancó con agua del efluente de la mina de carbón conducida a través de manguera y el sistema de tubos por un periodo de 20 días, luego se realizó el monitoreo por cuatro días cada 24 horas con un caudal del efluente de la mina de carbón de 0,3 L/min hacia los humedales donde se tomó una muestra de cada humedal y al final del monitoreo se tomó una muestra de cada especie de planta acuática para analizar la absorción de los metales.

2.4.2.7. Toma de muestras

Para la toma de muestras químicas: Se utilizó el protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos superficiales de la (Resolución Jefatura N° 010-2016-ANA).

- Se tomó la muestra solo de metales, donde se utilizó frascos de plástico de boca ancha esterilizados de 250 mL de capacidad donde se enjuago tres veces y se recogió el agua del efluente de cada humedal
- Se preservó las muestras con HNO₃ 3M
- Se rotuló las muestras y se hizo apuntes en la hoja de campo como lugar y hora y todas las observaciones encontradas.
- Posteriormente la muestra se llevó al laboratorio, donde serán analizadas.

Para la toma de muestras físicas: Para estos análisis se utilizó el equipo multiparámetro modelo Apera, facilitado por la universidad y se procedió a tomar datos de la siguiente manera, según el protocolo de monitoreo de la calidad de los recursos hídricos de la (Resolución Jefatura N° 010-2016-ANA) se siguió los siguientes pasos.

- Se calibró al multiparámetro con las 2 soluciones Buffer a temperatura ambiente, primero se calibra con la solución buffer pH = 4 y después con la solución buffer pH = 7 con el fin de que los resultados arrojados sean verdaderos.
- Antes de realizar la medición se enjuago los electrodos con la muestra de agua, estando el equipo apagado, agitamos el sensor antes de medir.
- Luego tomamos una muestra para ver el pH

2.4.3. Fase de laboratorio. Esta fase comprende todo el procedimiento que pasaron las muestras de agua y plantas para obtener los resultados de la investigación.

2.4.3.1. Análisis de las plantas

2.4.3.1.1. Preparación de la muestra de planta

Se llevó la muestra en el menor tiempo posible, para evitar cambios químicos en la muestra. La preparación incluyó la descontaminación o limpieza de la muestra para eliminar contaminantes de suelo, polvo o químicos. Si es necesario, se debe lavar las muestras con agua desionizada o en una disolución 0,1 % de detergente con bajo contenido de fósforo y luego se enjuaga con agua.

2.4.3.1.2. Descomposición de tejido vegetal

La destrucción de la materia orgánica del tejido es necesaria antes de analizar los elementos totales. Los varios procedimientos que se usan destruyen la materia orgánica convirtiendo los elementos en unas formas más solubles, esto se puede hacer de dos maneras principales: Digestión con ácidos o calcinación a una temperatura alta. Existen muchas variaciones en ambos métodos. Se puede digerir la muestra en una mezcla de varios ácidos, los más comunes son: ácido sulfúrico, ácido perclórico y ácido clorhídrico. Hay controversia entre las

ventajas y desventajas entre los dos métodos (Benton-Jones. 1989). Algunos elementos como el boro solo pueden ser analizados después de calcinación sin embargo otros como el azufre, a veces se volatilizan durante el proceso de calcinación y deben ser analizados después de digestión. La automatización del proceso de digestión se puede hacer con más facilidad, pero el proceso de calcinación usa menos reactivos.

El método que usamos fue mediante la calcinación y el procedimiento será el siguiente:

1. Medimos una masa de 0,25g de muestra en un crisol de porcelana.
2. Colocamos en una mufla a 500 °C por dos horas.
3. Sacamos las muestras de la mufla y dejamos enfriar.
4. Disolvemos la ceniza en 25 mL de HCl 0,3 M y transferimos a un tubo de ensayo.
5. Tapamos el tubo y agitamos la solución.
6. Tomamos alícuotas de la solución y analizamos mediante los métodos apropiados.

2.4.3.1.3. Determinación de aluminio

El procedimiento fue el siguiente:

1. Se transfirieron 2 mL del extracto del tejido a tubos graduados de 25 mL que contuvieron 2 gotas de fenoltaleína.
2. Agregamos 8 ml de NH_4OH y 1 mL de ácido tioglicólico al 1 %. Si al agregar 8 mL de NH_4OH , no se torna rosado, adicione NH_4OH gota a gota hasta decoloración.

3. Mezclamos y adicionamos 5 mL de Aluminón.
4. Se Calentó en baño María con agua hirviendo durante 16 minutos.
5. Enfriamos durante una hora y media.
6. Llevamos a un volumen de 25 mL con agua y agitamos bien.
7. Colocamos el espectrofotómetro a una longitud de onda de 537 nm y leemos la muestra, luego se calculamos la concentración.

2.4.3.1.4. Determinación de hierro

Se diluyó 1 mL de la solución a 100 mL y luego seguimos el procedimiento de lectura con el HACH DR890 y el kit de hierro.

2.4.3.2. Análisis de las aguas

2.4.3.2.1. Determinación de Hierro (Método de FerroZine)

Este método es válido de 0 a 1,300 mg L de hierro para agua dulce y agua de mar. A continuación, el procedimiento:

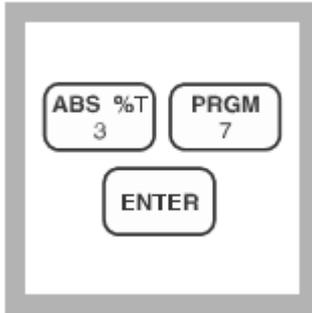


1. Se ingresó el número de programa almacenado para hierro (Fe).

Se presionó: PRGM

La pantalla mostró: PRGM

Nota: Se ajustó el pH de las muestras almacenadas antes del análisis.



2. Se presionó: 37 ENTER

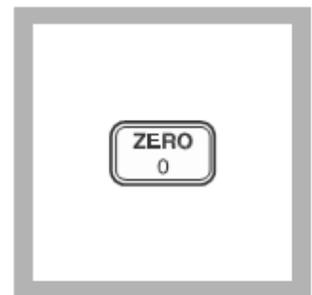
La pantalla mostró mg/L, Fe y el ícono CERO.



3. Se llenó una celda de muestra con 25 mL de muestra (el blanco).



4. Se insertó la muestra del blanco en el soporte de la celda. Se cubrió bien la celda de muestra con la tapa del instrumento.



5. Se presionó: CERO

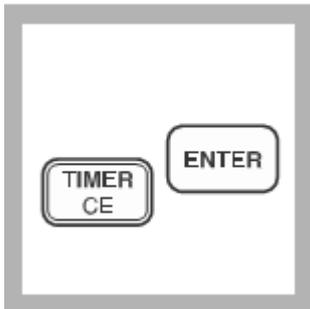
El cursor se movió hacia la derecha, luego la pantalla mostró: 0.000 mg / L Fe



6. Se llenó otra celda de muestra con 25 mL de muestra.



7. Se agregó el contenido de una almohada de solución de reactivo de hierro FerroZine a la celda (la muestra preparada). Se tapó y se invirtió para mezclar.

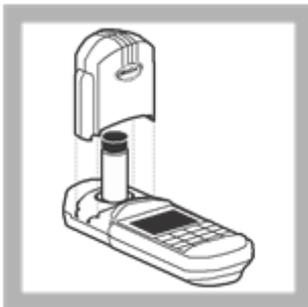


8. Se presionó:

TIMER ENTER

Se comenzó un período de reacción de cinco minutos.

Nota: Un color violeta indica si hay hierro.



9. Se colocó la muestra preparada en el soporte de la celda.
Se cubrió bien la celda de muestra con la tapa del instrumento.



10. Se presionó: READ

El cursor se movió hacia la derecha y se mostró el resultado en mg/L de hierro.

2.4.3.2.2. Determinación de Aluminio (Método Aluminon)

Este método es válido de 0 a 0.80 mg / l de Al para agua dulce y aguas residuales. A continuación, el procedimiento:



1. Se ingresó el número de programa almacenado para aluminio (Al). Presionamos: PRGM

La pantalla mostrará: PRGM

Nota: Ajuste el pH de las muestras almacenadas antes del análisis.

Nota: Para obtener resultados más precisos, realice una corrección de blanco de reactivo con agua desionizada.



2. Se presionó: 1 ENTER

La pantalla mostrará mg / L, Al y el ícono CERO.

Nota: La determinación total de aluminio requiere una digestión antes del análisis.

Nota: para forma alternativa

(Al₂O₃), presione CONC.

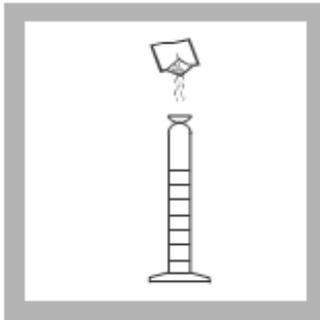


3. Se llenó un cilindro de mezcla graduado de 50 ml hasta la marca de 50 ml con muestra.

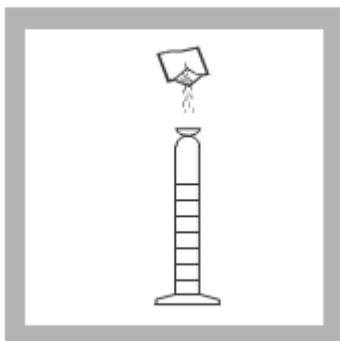
Nota: Enjuague el cilindro con Ácido clorhídrico 1: 1 y agua desionizada antes de su uso para evitar errores debidos a contaminantes absorbidos en el vidrio.

Nota: La temperatura de la muestra debe ser de 20-25 ° C (68-77 °

F) para obtener resultados precisos.



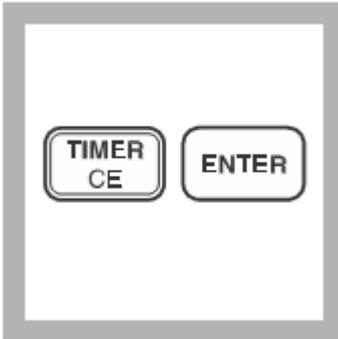
4. Se agregó el contenido de una almohada de polvo de ácido ascórbico. Tapamos e invertimos varias veces para disolver el polvo.



5. Se agregó el contenido de una almohada de reactivo de aluminio en polvo y tapar.

Nota: se desarrolla un color rojo anaranjado si el aluminio está presente.

Nota: Resultados inconsistentes ocurrirán si algún polvo no está disuelto



6. Se presionó

TIMER ENTER

Comenzó un período de reacción de tres minutos. Invertió el cilindro repetidamente durante los tres minutos.



7. Se vertió 25 ml de mezcla en una celda de muestra de 25 ml (la muestra preparada).



8. Se agregó el contenido de una almohada de polvo de reactivo de blanqueo 3 a los 25 ml restantes en el cilindro graduado de mezcla (el blanco). Tapamos el cilindro.



9. La pantalla mostrará: 00:30 Temporizador 2

Se presionó: ENTER

Comenzará un período de reacción de treinta segundos. Agite vigorosamente el cilindro durante el período de 30 segundos.

Nota: Esta solución debe volverse de color naranja claro a mediano al blanquear. No se volverá incoloro



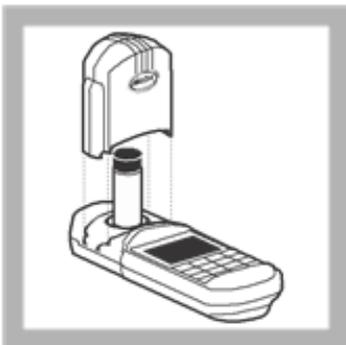
10. Se vertió los 25 ml de mezcla en el cilindro en una segunda celda de muestra de 25 ml (el blanco).



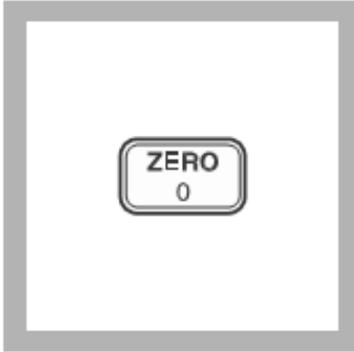
11. La pantalla mostró: 15:00 TIMER 3

Se presionó: ENTER

Comenzó un período de reacción de 15 minutos.



12. Dentro de los tres minutos posteriores al pitido del temporizador, se colocó el blanco en el soporte de la celda. Cubrimos bien la celda de muestra con la tapa del instrumento.



13. Se presionó: CERO

El cursor se moverá hacia la derecha, luego la pantalla mostrará: 0.000 mg / L Al

Nota: Si la corrección de blanco de reactivo está activada, la pantalla puede parpadear "límite".



14. Se colocó inmediatamente la muestra preparada en el soporte de la celda. Cubrimos bien la celda de muestra con la tapa del instrumento.



15. Se presionó: READ

El cursor se moverá hacia la derecha, luego se mostrará el resultado en mg / L de aluminio.

Nota: Limpie el cilindro graduado y las celdas de muestra con jabón y cepillo inmediatamente después de la prueba.

Nota: El ajuste estándar se puede realizar usando un estándar preparado.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1 Análisis iniciales de metales

Tabla 3

Primer análisis de Fe, Al del efluente

Parámetro	unidad	LCM	Resultados de metales totales
Hierro (Fe)	mg/L	<0,019	25,33
Aluminio (Al)	mg/L	<0,022	14,06

Nota: mg/L= miligramo/Litro

Estos resultados se obtuvieron al analizar el efluente de la mina de carbón Santa Rosa, en el Laboratorio Regional de Cajamarca.

3.2 Análisis de parámetros

Tabla 4

Primer análisis físico-químicos del efluente

Parámetro	Valor
T°	20,9 °C
pH	7,62
TDS	362 ppm
Conductividad	497 S/m

Nota: T°=temperatura, C°= Centígrados, Ph= Potencial de Hidrogeno, ppm= Partículas por millón, = Microsin, TDS= Solidos Totales Disueltos, S/m= Siemens por metro.

Estos resultados fueron obtenidos del primer análisis físico-químico realizado en el efluente donde los parámetros no sobrepasan los límites máximos permisibles.

3.3. Segundo análisis de metales

Tabla 5

Concentración de Fe y Al del efluente de la mina de carbón

Fecha	Repetición	Efluente de Mina	
		Fe (mg/L)	Al (mg/L)
17/02/2020	1	5,79	6,14
	2	5,65	6,22
	3	5,71	6,19
	Promedio	5,71	6,18
	LMP	2	-

Nota: mg/L= miligramo/Litro, LMP= Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas

Estos resultados se obtuvieron al analizar el efluente de la concesión minera Santa Rosa, antes que ingrese a los humedales artificiales realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

3.4. Análisis de metales durante el monitoreo

Tabla 6

Concentración de Fe y Al en los efluentes de los humedales artificiales

Fecha	Repetición	Efluente de Humedal <i>Eichhornia crassipes</i>		Efluente de Humedal <i>Myriophyllum aquaticum</i>	
		Fe (mg/L)	Al(mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
18/02/2020	1	1,24	3,26	2,42	1,01
	2	1,27	3,25	2,45	1,01
	3	1,22	3,16	2,40	1,01
19/02/2020	1	1,15	3,17	1,57	0,81
	2	1,16	3,15	1,54	0,81
	3	1,15	3,15	1,60	0,81
20/02/2020	1	1,04	3,09	0,45	0,30
	2	1,00	3,09	0,41	0,30
	3	1,01	3,08	0,39	0,31
21/02/2020	1	0,90	3,05	0,19	0,07
	2	0,95	3,01	0,15	0,07
	3	0,93	3,03	0,17	0,09

Nota: mg/L= miligramo/Litro

Estos resultados se obtuvieron al analizar el efluente de la concesión minera Santa Rosa, por un periodo de cuatro días consecutivos realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

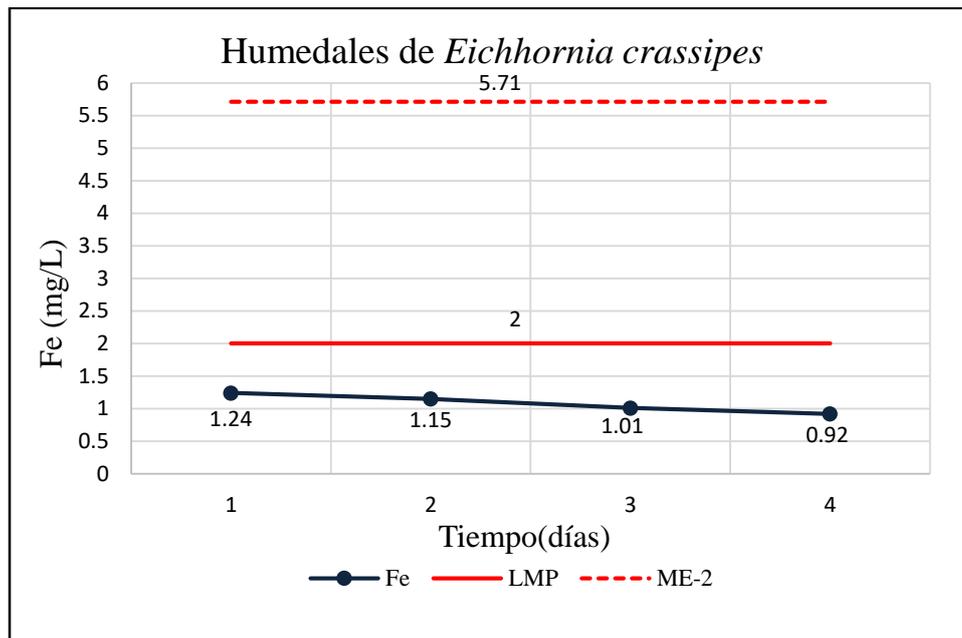


Figura 7. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes*.

En la figura mostrada se observa que LMP presenta un valor de 2 (mg/L) para el Hierro; es así que en el punto de muestreo en el efluente ME-1 sobrepasa los LMP con un valor de 5,71 mg/L, sin embargo, las concentraciones de Hierro disminuyen en el afluyente de los humedales de *Eichhornia crassipes* conforme pasan los días, mostrándonos concentraciones muy por debajo del Límite Máximo Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividad Minera-Metalúrgicas.

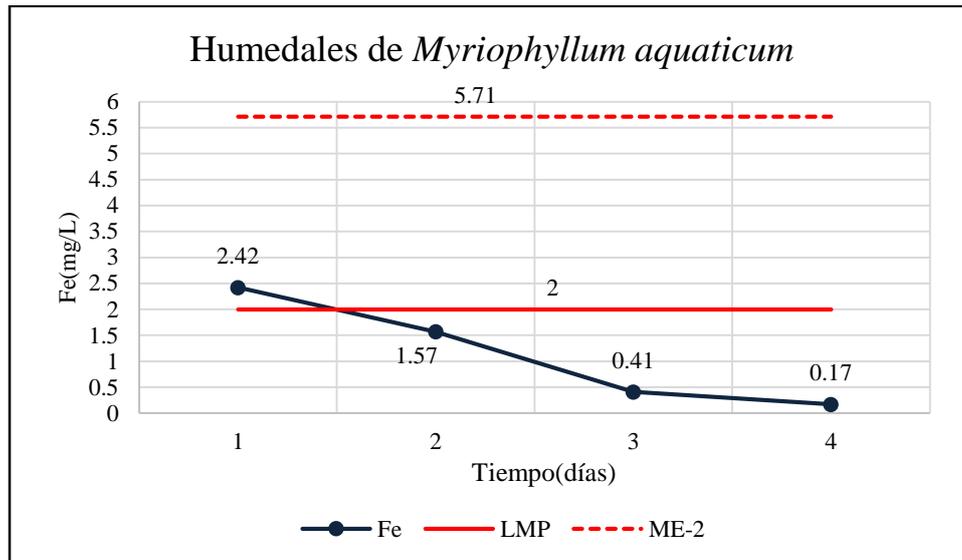


Figura 8. Concentraciones promedio de Hierro Fe(mg/L) en los efluentes de los humedales artificiales de *Myriophyllum aquaticum*.

En la figura mostrada se observa que LMP, presenta un valor de 2 (mg/L) para el Hierro; es así que en el punto de muestreo del efluente ME-1 sobrepasa los LMP con un valor de 5,71 mg/L, en día 1 en el efluente *Myriophyllum aquaticum* sobrepasa el límite con un valor de 2,42 mg/L; sin embargo, en los días 2,3,4 de tratamiento, desciende la concentración, cumpliendo así con Límite Máximo Permisible para la descarga de efluentes líquidos de Actividad Minera-Metalúrgicas.

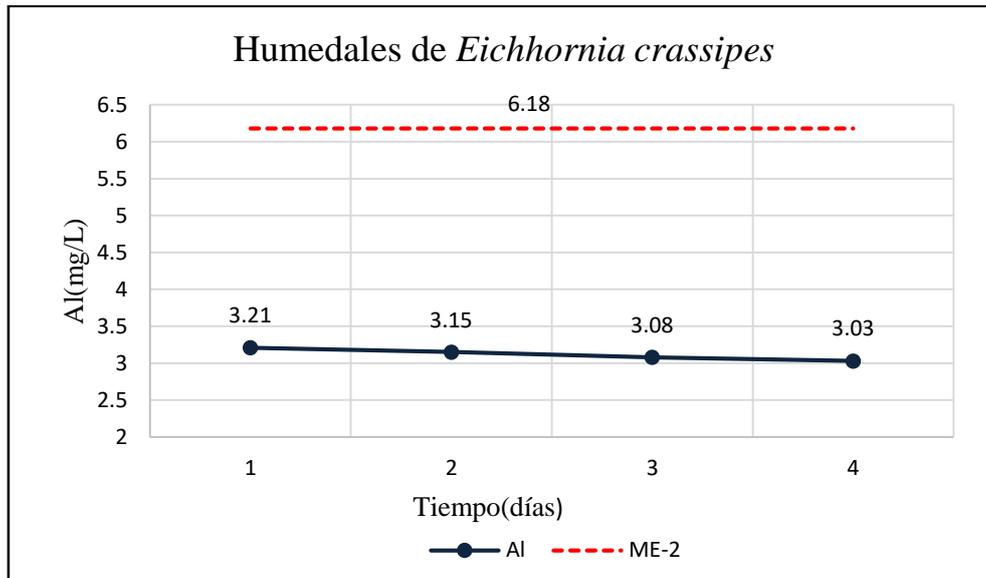


Figura 9. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de *Eichhornia crassipes*.

En la figura mostrada se observa que en el punto de muestreo del efluente ME-1 el valor es de 6,18 mg/L, en el día 1 el valor es de 3,21 mg/L, el día 2 de 3,15 mg/L, día 3 de 3,08 mg/L y el día 4 tiene un valor de 3,03 mg/L, de esta manera y aunque para este metal no haya aún un Límite Máximo Permisible para descarga de efluentes líquidos de Actividad Minera-Metalúrgicas vemos como ha disminuido la concentración en los cuatro días de monitoreo.

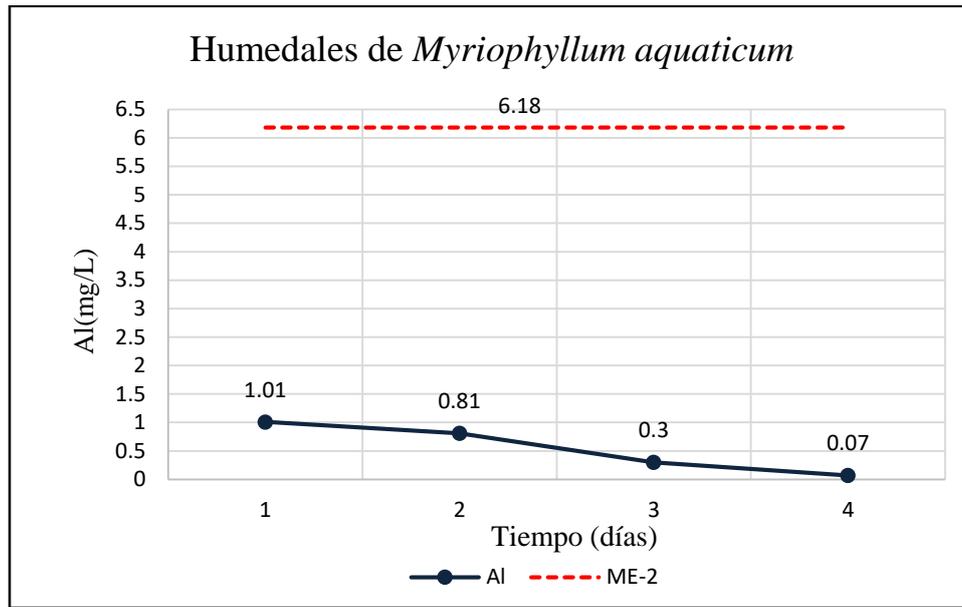


Figura 10. Concentraciones promedio de Aluminio Al (mg/L) en los efluentes de los humedales de *Myriophyllum aquaticum*.

En la figura mostrada se observa que en el punto de muestreo del efluente ME-1 tiene un valor de 6,18 mg/L, el día 1 tiene un valor de 1,01 mg/L, día 2 tiene un valor de 0,81 mg/L, día 3 tiene un valor de 0,30 mg/L, día 4 tiene un valor de 0,07 mg/L y vemos como disminuye la concentración durante los cuatro días de monitoreo, sin embargo para este metal no hay un valor aún en los Límite Máximo Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividad Minera- Metalúrgicas para realizar la comparación.

3.5. Análisis de plantas

Tabla 7

Concentración de Fe y Al en plantas antes de colocar en los humedales artificiales

Fecha	Repetición	<i>Eichhornia crassipes</i>		<i>Myriophyllum aquaticum</i>	
		Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)
17/02/2020	1	12,35	0,13	9,41	0,01
	2	12,30	0,14	9,71	0,01
	3	12,40	0,14	9,65	0,02
	Promedio	12,35	0,14	9,59	0,01

Nota: mg/L= miligramo/Litro

Estos resultados se obtuvieron al analizar las plantas antes que ingrese a los humedales artificiales realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

Tabla 8

Concentración de Fe y Al en plantas después del tratamiento

Fecha	Repetición	<i>Eichhornia crassipes</i>		<i>Myriophyllum aquaticum</i>	
		Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)
21/02/2020	1	12,77	0,31	11,51	0,90
	2	12,75	0,31	11,42	0,91
	3	12,70	0,29	11,45	0,91
	Promedio	12,74	0,30	11,46	0,90

Nota: mg/l= miligramo/litro

Estos resultados se obtuvieron al analizar las plantas después del tratamiento humedales artificiales realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Cajamarca.

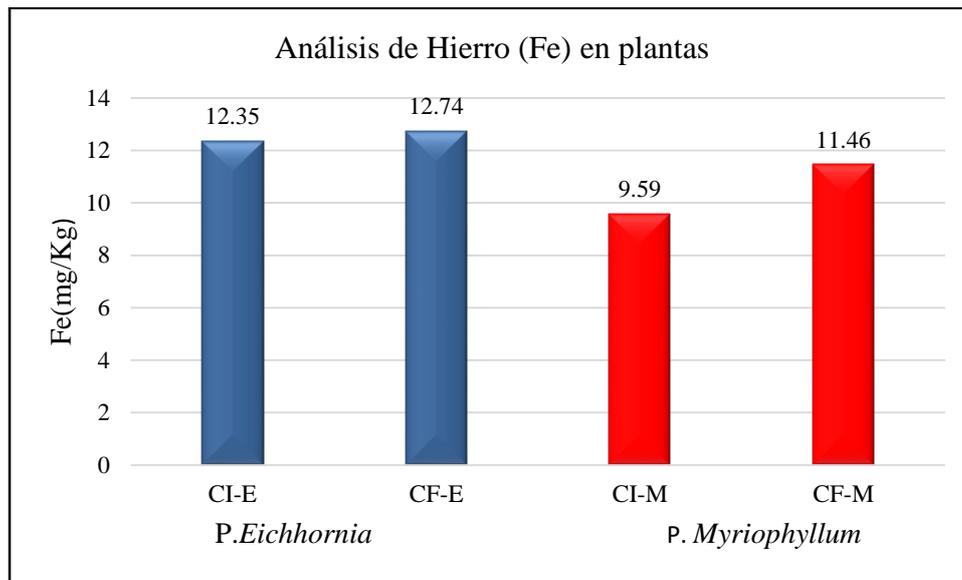


Figura 11. Análisis de la concentración de Hierro Fe (mg/Kg) en las plantas *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* antes y después del tratamiento.

En la figura mostrada se observa la concentración inicial promedio de *Eichhornia crassipes* CI-E es de 12,35 mg/kg y en la concentración final promedio CF-E es de 12,74 mg/kg dándonos una capacidad de absorción de 0,39 mg/kg, comparado con la concentración inicial promedio de *Myriophyllum aquaticum* CI-M que tiene un valor de 9,59 mg/kg y la concentración final CF-M de 11,46 mg/kg tenemos que su capacidad de absorción de 1,87 mg/kg, un poco más que la planta *Eichhornia crassipes*.

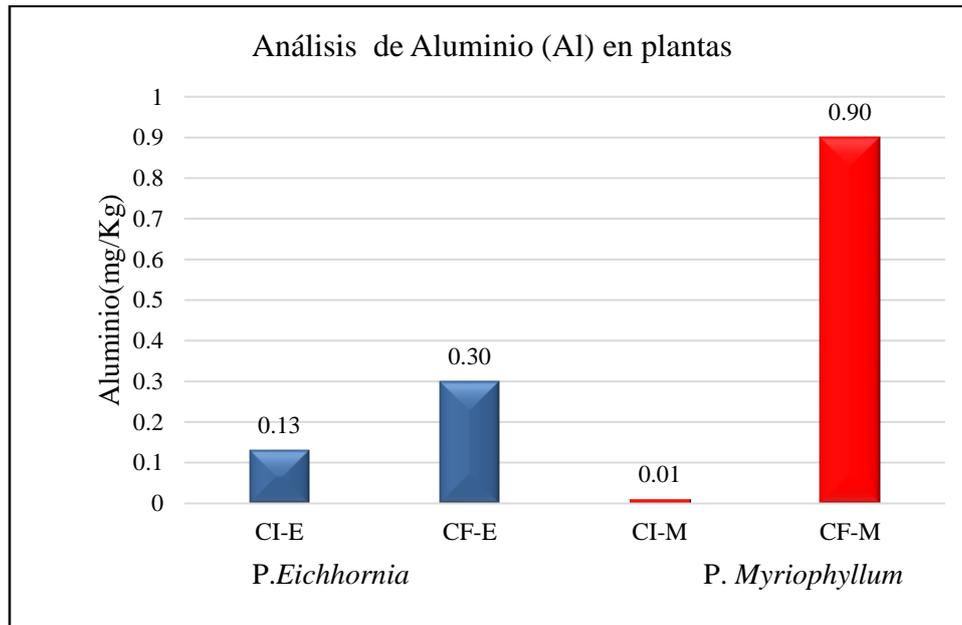


Figura 12. Análisis de la concentración de Aluminio Al (mg/kg) en las plantas *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* antes y después del tratamiento.

En la figura mostrada se observa que concentración inicial promedio de *Eichhornia crassipes* CI-E es de 0,13 mg/kg y en la concentración final promedio CF-E es de 0.30 mg/kg dándonos una capacidad de absorción de 0,17 mg/kg, por otro lado, la concentración inicial promedio de *Myriophyllum aquaticum* CI-M es de 0,01 mg/kg y su concentración final promedio CF-M es de 0,90 mg/kg siendo su capacidad de absorción de 0,89 mg/kg, 0,72 mg/kg más que la planta *Eichhornia crassipes*.

3.6. Remoción de metales en agua

Tabla 9

Remoción de metales en el agua

Plantas	Metales	Remoción %
<i>Eichhornia crassipes</i>		81
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Hierro (Fe)	80
<i>Eichhornia crassipes</i>		49
<i>Myriophyllum aquaticum</i>	Aluminio (Al)	91

Nota: *Eichhornia crassipes* = Jacinto de agua, *Myriophyllum aquaticum* = Cola de Zorro.

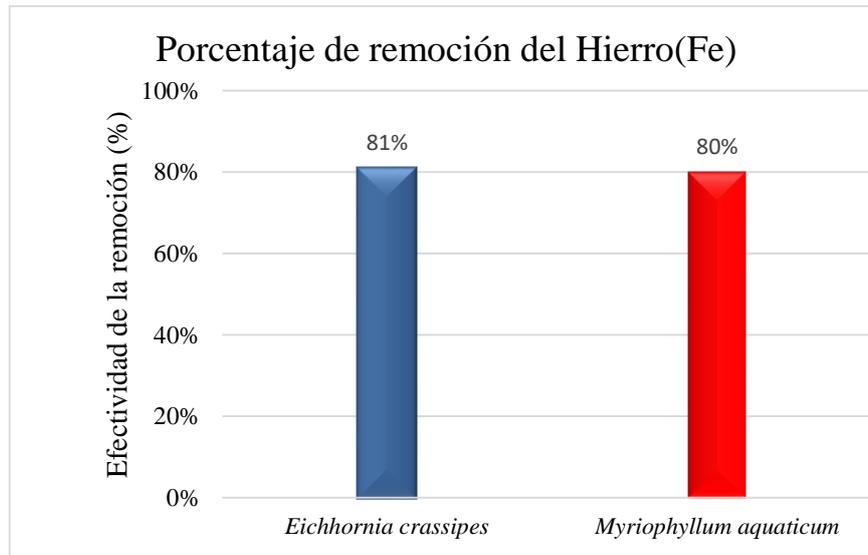


Figura 13. Porcentaje de remoción de Hierro Fe (mg/L) en *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*.

En la figura mostrada se observa el porcentaje de remoción de Hierro Fe (mg/L) en el efluente del humedal de *Eichhornia crassipes* es de 81 % y en el efluente del humedal de *Myriophyllum aquaticum* es de 80 %, los valores son casi cercanos, a lo que decimos que ambas plantas son eficaces para la remoción de Hierro.

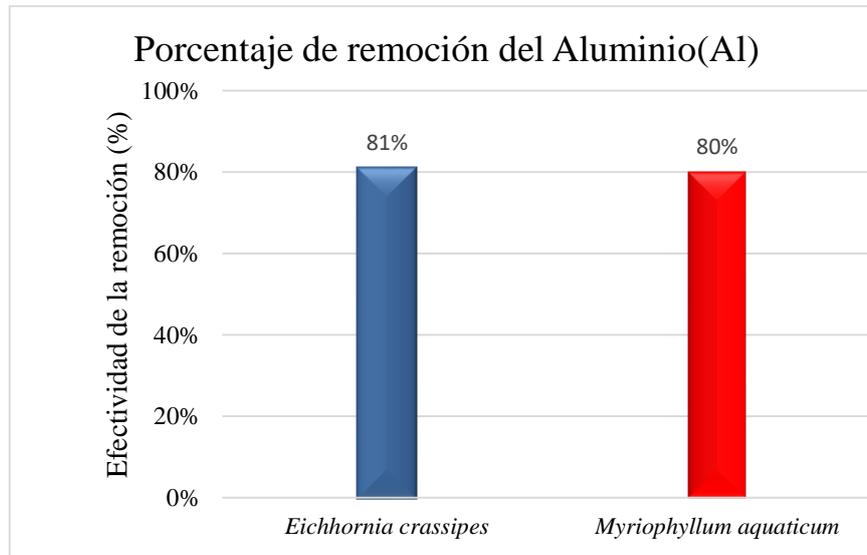


Figura 14. Porcentaje de eliminación de Aluminio (Al) en *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum*.

En la figura mostrada se observa que el porcentaje de remoción del Aluminio Al (mg/L) en el efluente del humedal de *Eichhornia crassipes* es de 49 %, sin embargo, en el efluente del humedal de *Myriophyllum aquaticum* el porcentaje de remoción es de 91 %, de esta manera podemos decir que para la remoción de Aluminio la planta *Myriophyllum aquaticum* es más efectiva.

3.7. Absorción de metales en plantas

Para conocer la capacidad de absorción de cada planta con el hierro y el aluminio aplicamos la siguiente ecuación

Ecuación 8. Capacidad de absorción de la planta

$$Abs = C_{fin} - C_{in}$$

Donde:

Abs = Capacidad de absorción de la planta (mg/kg)

C_{fin} = Concentración del metal después del tratamiento (mg/kg)

C_{in} = Concentración del metal antes del tratamiento (mg/kg)

(Aduvire, 2006)

Tabla 10
Resultados de absorción de metales en plantas

Metales	Absorción (mg/kg)	
	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Myriophyllum aquaticum</i>
Hierro (Fe)	0,39	1,87
Aluminio (Al)	0,17	0,89

Nota: mg/kg= miligramo/Kilogramos

Eichhornia crassipes. Esta planta fitorremediadora acumula 0,39 mg/kg Fe y 0,17 mg/kg Al.

Myriophyllum aquaticum. Esta planta fitorremediadora acumula 1,87 mg/kg Fe y 0,89 mg/kg Al.

3.8. Análisis estadístico

Empleamos la estadística descriptiva como: medidas de tendencia central, medidas de dispersión y también empleamos la estadística inferencial para ver la significancia de la hipótesis, mediante prueba estadística “Z”

3.8.1. Análisis de tendencia central y de dispersión.

Este análisis se hizo en base a la tabla 5 de la sección de resultados sobre los análisis de agua en la salida de los seis humedales por un periodo de cuatro días consecutivos.

Tabla 11
Análisis de tendencia central y dispersión

Parámetro	n	media	Desviación estándar
Fe	24	1,115	0,662564
Al	24	1,8375	1,343309
Total	48	1,47625	1,002936

Análisis de la prueba estadística “Z”

$$S_x = \frac{s}{\sqrt{n}}$$

Donde:

S_x = Desviación estándar de la distribución muestral de la media

S = Desviación estándar de la muestra

n = Tamaño de la muestra

$$S_x = \frac{1,47625}{48}$$

$$S_x = 0,30755$$

3.8.2. Calcular la prueba Z

$$Z = \frac{X_i - X}{S_x}$$

Donde:

Z = Puntuación de la medición transformada a unidades de desviación estándar X_i = Valor de medición para transformar en unidades de desviación estándar.

S_x = Media de la distribución o el promedio de las mediciones $X = \sum X_i / n$.

$$Z = \frac{[(1,47625 \times 48) - (1,47625)]}{0,30755}$$

$$Z = 225,601528$$

3.8.3. Distribución de muestreo para la estadística z a dos colas a un nivel de significancia de 0.05

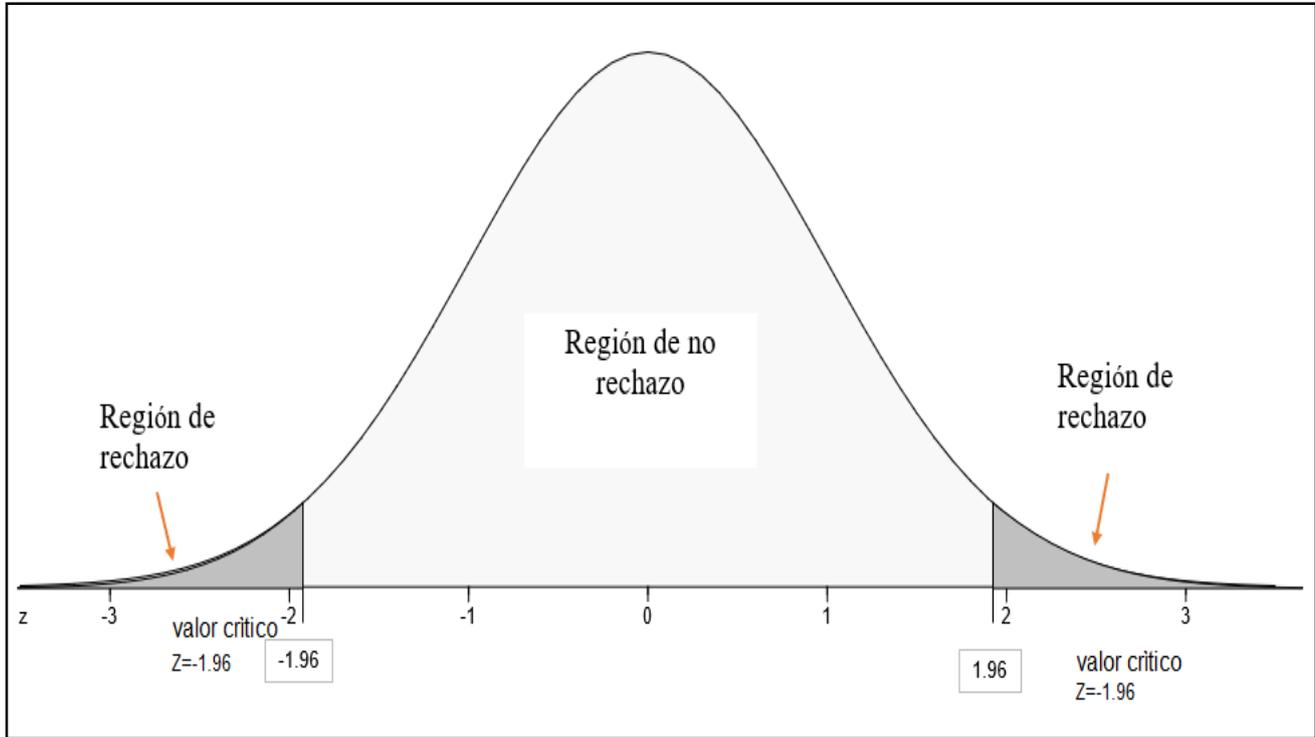


Figura 15. Distribución de muestreo Z para la prueba de hipótesis nula

Decisión

Como el valor de Z estimado ($Z=225.6015$) es mayor que el valor de Z crítico ($Z=1.96$), entonces se rechaza la hipótesis nula H_0 con un nivel de significancia $\alpha=0.05$ ó 95% de confianza, afirmando que el tratamiento utilizando humedales artificiales ha disminuido la concentración de los contaminantes en el efluente de la mina de carbón.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

Al final del monitoreo se obtuvieron los datos de las concentraciones de Hierro y Aluminio en los efluentes de los humedales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* construidos en el área de la mina de carbón en el caserío de Santa Rosa, Bambamarca.

Al comparar las concentraciones del efluente de los humedales artificiales con los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM se identificó que las concentraciones de Hierro no exceden el valor de 2 mg/L establecido, así mismo a pesar de no haber un límite máximo para el Aluminio, se redujo la concentración en el efluente de los humedales con respecto a la concentración que encontramos en el efluente de la mina de carbón.

A partir de los resultados obtenidos, aceptamos la hipótesis general que establece que Los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* remueven el Hierro y Aluminio en el efluente de mina de carbón, también que la concentración del Hierro y Aluminio en el efluente de los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* disminuye durante los cuatro días de monitoreo, que el porcentaje de remoción del Hierro y Aluminio en humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* aumenta durante los cuatro días de monitoreo y además que los resultados de las concentraciones no superan los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM.

Nuestros resultados obtenidos guardan relación con los resultados de (Mendoza, et al. 2016) y (Aguilar y Aguilar, 2017) que manifiestan la remoción de Fe y Al con plantas fitorremediadoras entre ellas, las que usamos nosotras para el tratamiento, sin embargo, el porcentaje de remoción que obtuvimos nosotras están por debajo de los resultados que obtuvieron ellos. (Mendoza, et al. 2016) obtuvo un 90 % de remoción para Hierro con la planta *Myriophyllum aquaticum*, por otro lado, los autores (Aguilar y Aguilar, 2017) obtuvieron un porcentaje de remoción con plantas fitorremediadoras, entre ellas *Eichhornia crassipes* para el Hierro y el Aluminio de 95 % y 92 % respectivamente, lo que hacen que sean valores de remoción muy altos respecto a nuestros porcentajes de remoción que obtuvimos en los cuatro días de monitoreo que duro la prueba y en su estudio (Aguilar y Aguilar, 2017) mencionan que el monitoreo fue de diecinueve días. Además, los autores han trabajado con efluentes generados por pasivos ambientales mineros, con pH bajos que demuestra que la planta *Myriophyllum aquaticum* se desarrolla mejor a un pH de 4, sin embargo, el agua con la que trabajamos posee un pH de 7,62.

4.2 Conclusiones

- Mediante la utilización de humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* y *Myriophyllum aquaticum* se logró evaluar la capacidad de remoción del hierro y aluminio en el efluente de la mina de carbón.
- En los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* durante los días de monitoreo la concentraciones del Hierro fueron: 1,24 mg/L, 1,15 mg/L, 1,01 mg/L, 0,92 mg/L respectivamente, las concentraciones del aluminio fueron de: 3,21 mg/L, 3,15 mg/L, 3,08 mg/L, 3,03 mg/L y en los humedales artificiales de *Myriophyllum aquaticum* las concentraciones de Hierro durante los días de monitoreo fueron: 2,42 mg/L, 1,57 mg/L, 0,41 mg/L, 0,17 mg/L respectivamente, mientras que las concentraciones del Aluminio fueron de: 0,01 mg/L, 0,81 mg/L, 0,3 mg/L y 0,07 mg/L.
- El porcentaje de remoción del Hierro con *Eichhornia crassipes* fue del 81 % y con *Myriophyllum aquaticum* fue del 80 %, mientras que el porcentaje de remoción del Aluminio con *Eichhornia crassipes* fue del 49 % y con *Myriophyllum aquaticum* fue del 91 %.
- La capacidad de absorción de Hierro en la planta *Eichhornia crassipes* fue de 0.39 mg/Kg y en la planta *Myriophyllum aquaticum* fue de 1.87 mg/Kg respectivamente, mientras que la absorción de Aluminio en la especie *Eichhornia crassipes* fue de 0.17 mg/Kg y en la especie *Myriophyllum aquaticum* fue de 0.89 mg/Kg.

- Las concentraciones de Hierro obtenidas en los efluentes de los humedales artificiales de *Eichhornia crassipes* son de: 1,24 mg/L, 1,15mg/L, 1,01mg/L, 0,92 mg/L y en el de *Myriophyllum aquaticum* son de 2,42 mg/L, 1,57 mg/L, 0,41 mg/L, 0,17 mg/L están muy por debajo de los límites máximos permisibles para descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgico establecido en la resolución suprema N°194-2010-PCM. Que establece un valor de 2 mg/L, cumpliendo así la norma.

REFERENCIAS

- Aguilar, A., & Aguilar, H. (2017). Sistema piloto de fitorremediación para el tratamiento de aguas ácidas de los pasivos ambientales mineros de la quebrada mesa de plata – Hualgayoc – 2017. (Tesis de título). Recuperado de <file:///C:/Users/USER/Desktop/INGENIERIA%20AMBIENTAL%20CURSOS/DECIMO%20CICLO/TESIS/Alejandro%20y%20Homero.pdf>
- Aduvire, O. (2006). Drenaje de Acido de Mina Generación y Tratamiento. Recuperado de http://info.igme.es/SIDIMAGENES/113000/258/113258_0000001.PDF
- Álvarez, V. y Zurita E. (2019). Diseño de cámaras y pilares para incrementar la producción de carbón antracita en la mina nueva esperanza – Bambamarca, 2019. (Tesis de título). Recuperado de <https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/21666/Jibaja%20Ruiz%20Araceli%20-%20Zurita%20Ram%c3%adrez%20Eli%20Sadam.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Caviedes, D., Delgado, D., & Olaya, A. (2016). Remoción de metales pesados generados por la actividad Industrial, empleando macrófitas neotropicales. En el artículo Producción más Limpia, *Vol,11(2)*, 129 - 130. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/313465622_Remocion_de_metales_pesados_comunmente_generados_por_la_actividad_industrial_empleando_macrofitas_neotropicales

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. En la revista Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA), pp 32-34. Recuperado de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

Gamonal, P. (2012). Tratamiento de drenajes de ácidos de mina en humedales construidos. En la revista IHE DELFT, pp 3. Recuperado de <http://biblioteca.unmsm.edu.pe/REdlieds/Recursos/archivos/MineriaDesarrolloSostenible/MedioAmbiente/DAMhumedales.pdf>

Fernández, J., Beascochea, E., Muñoz, J., Fernández, D. (2010). Manual de Fito depuración. Filtros de macrofitas en flotación. España. Recuperado de <https://fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%206.pdf>

Huamán, C. (2018). Tratamiento de drenaje ácido del depósito de desmonte unsuitable IV Yanacocha norte por el proceso de humedales en serpentín. (tesis de título). Recuperado de <http://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/13946/Huam%C3%A1n%20Ch%C3%A1vez%20Clinton%20Ener.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR2KMwtXSSJPMkFzcoCzGxt6Z2ralNeu9EuJzRppckstpGVKIISWnT-3bzI>

INGEMMET Perú. (23 septiembre de 2016). *Training “El agua subterránea y geoquímica ambiental”*. Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=Ca67fPamm4g&t=725s>

López, E., Aduvire, O; & Baretino, D (2002). Tratamientos pasivos de drenajes ácidos de mina: estado actual y perspectivas de futuro. *Boletín Geológico y Minero*, 113 (1): 3-21 p. Recuperado de http://aiplanetatierra.igme.es/Boletin/2002/113_1_2002/4-ARTICULO%20TRATAMIENTOS.pdf

Ministerio del ambiente (2010). Límites Máximos Permisibles para la Descarga de Efluentes Líquidos de Actividades Minero – Metalúrgico. Lima: Ministerio del ambiente. Recuperado de [file:///C:/Users/USER/Downloads/1378%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/1378%20(1).pdf)

Ministerio del ambiente (2016). Protocolo Nacional para el Monitoreo de la calidad de los Recursos Hídricos Superficiales. Lima: Ministerio del ambiente. Recuperado de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/protocolo_nacional_para_el_monitoreo_de_la_calidad_de_los_recursos_hidricos_superficiales.pdf

Mendiola, A., Aguirre, C., Chero, Y., Churampi, N., Quispe, J., & Sedano, R. (2013). *Explotación del carbón antracita: viabilidad del yacimiento Huayday-Ambara*. Perú: Editorial ESAN. Recuperado de

https://www.esan.edu.pe/publicaciones/2013/10/02/gerencia_desarrollo_31_exp lotacion_carbon_antracita.pdf

Mendoza, D., Salazar, K., & Bravo, L. (2016). Fitorremediación acuática con *Myriophyllum aquaticum* para el tratamiento de efluentes generados por pasivos ambientales mineros de Hualgayoc-Cajamarca. (Tesis de Título). Recuperado de [file:///C:/Users/USER/Downloads/Diego_Tesis_t%C3%ADtuloprofesional_2016%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/Diego_Tesis_t%C3%ADtuloprofesional_2016%20(1).pdf)

Novara, J. (2012). Facultad de Ciencias Naturales Universidad Nacional de Salta. *Aportes Botánicos de Salta*. Recuperado de <http://eprints.natura.unsa.edu.ar/279/1/JUNCACEAE.pdf>

Palomino, E. (2007). Sistemas de Humedales para la Biorremediación de Drenajes Ácidos de Mina o Roca en Ancash – Perú. (Tesis de doctor). Recuperado de http://dspace.unitru.edu.pe/bitstream/handle/UNITRU/5359/Tesis%20Doctorado%20-%20Edwin%20Palomino%20Cadenas.pdf?sequence=1&isAllowed=y&fbclid=IwAR0qRWuTYOpIOucoyc1Cu5_yK-pa-43fxpbknVEgkIpiKRu74F1D_WmSr7I

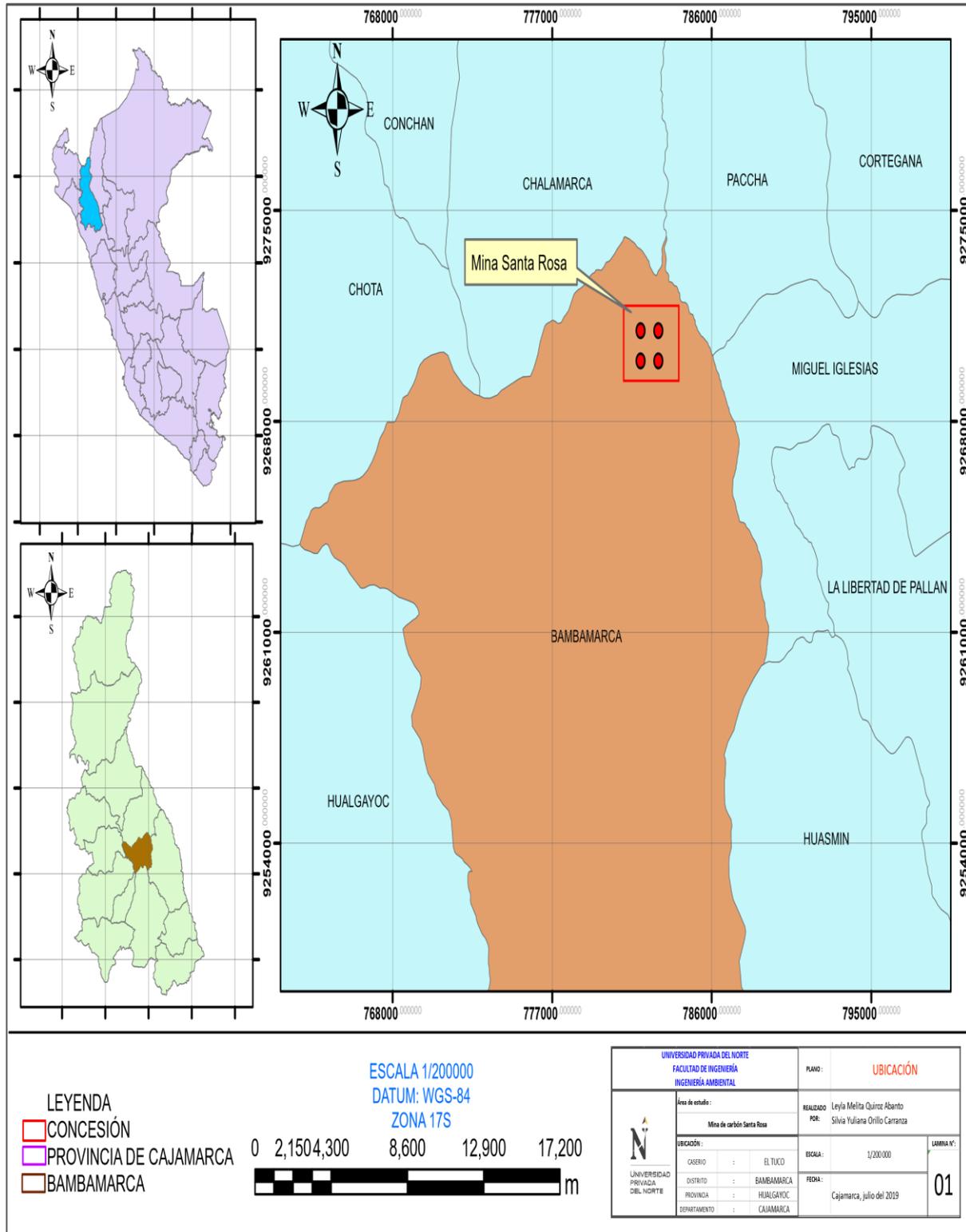
Rosas, A (2001). Estadístico descriptiva e inferencial I. Recuperado de https://www.conevyt.org.mx/bachillerato/material_bachilleres/cb6/5sempdf/edi n1/edi1_f04.pdf

Suffyanazwan, M. (2009) Aluminum, method 8012. (9 th Ed). ESCRIBD. Recuperado
de [https://es.scribd.com/document/367505974/Aluminum-Method-8012-02-
2009-9th-Ed-pdf](https://es.scribd.com/document/367505974/Aluminum-Method-8012-02-2009-9th-Ed-pdf)

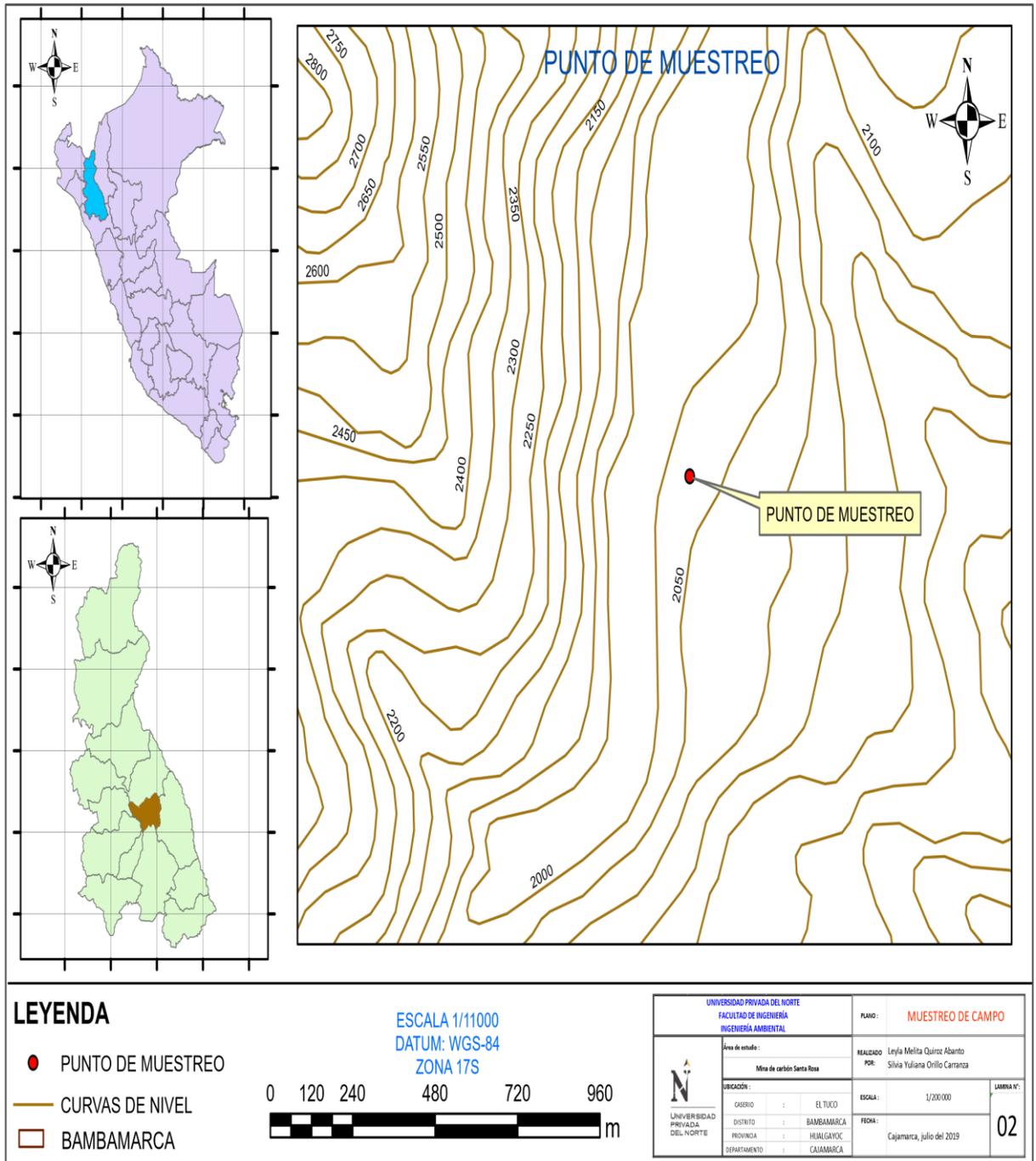
Suffyanazwan, M. (2009) Iron, Ferrozine method 8147. (9 th Ed). ESCRIBD.
Recuperado de de
[file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Iron,%20FerroZine%20Method%208147,%
2002-2009,%209th%20Ed%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/Iron,%20FerroZine%20Method%208147,%202002-2009,%209th%20Ed%20(1).pdf)

ANEXOS

ANEXO N° 1. Mapa topográfico del área de estudio de la Mina de Carbón.



ANEXO 2: Punto de muestreo del efluente de la mina de carbón.



ANEXO N° 3. Ubicación del lugar de estudio mediante de una Imágenes Satelitales.



ANEXO N° 4. Efluente de la mina de carbón en Santa Rosa, Bambamarca



ANEXO N° 5. Toma de muestra del efluente de mina de carbón antes del tratamiento.



ANEXO N° 6. Análisis in situ con el multiparámetro en el efluente de la mina de Carbón.



ANEXO N° 7. Extracción de *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Myriophyllum aquaticum* (Cola de zorro).



ANEXO N° 8. Construcción del sistema de tratamiento



ANEXO N° 9. Sistema de tratamiento



ANEXO N° 10. Toma de muestras de los efluentes de los humedales artificiales durante el tratamiento.



ANEXO N° 11. Muestras de los 6 humedales después del tratamiento



ANEXO N° 12. Toma de muestras de las plantas después del tratamiento



ANEXO N° 13. Colorímetro HACH DR 890 utilizado en la experimentación



ANEXO N° 14. Resultados del primer análisis del Laboratorio Regional del Agua.

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA			
			
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA CON REGISTRO N° LE-084			
INFORME DE ENSAYO N°		IE 0419273	
DATOS DEL CLIENTE/USUARIO			
Razon Social/Usuario	SILVIA YULIANA ORILLO CARRANZA		
Dirección	SANCHES HOYOS # H-2		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	yoliarri@gmail.com
DATOS DE LA MUESTRA			
Fecha del Muestreo	28.04.19	Hora de Muestreo	16:24
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de Muestras	01 Muestra	N° Frascos x muestra	01
Ensayos solicitados	Químicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.		
Responsable de la toma de muestra	Las muestras fueron tomadas por el personal Usuario		
Procedencia de la Muestra:	SANTA ROSA - HUALGAYOC - BAMBAMARCA		
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO			
N° Contrato	SC - 362	Cadena de Custodia	CC - 273 - 19
Fecha y Hora de Recepción	29.04.19	11:00	Inicio de Ensayo 29.04.19 15:00
Reporte Final de Resultados	09.05.19	17:00	
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA Ing. Qro. Freddy H. López León Responsable del Laboratorio(s) CIP: 198264			
Cajamarca, 09 de Mayo de 2019.			

ANEXO N° 15. Resultados del primer análisis del Laboratorio Regional del Agua.

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código Cliente	BOCA MINA DE CARBÓN DE PIEDRA		-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	0419273-01		-	-	-	-	-	-
Matriz	NATURAL		-	-	-	-	-	-
Descripción	Subterránea		-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	HUALGAYOC-BAMBAMARCA		-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Metales Totales					
Plata (Ag)	mg/L	0.017	<LCM	-	-	-	-	-
Aluminio (Al)	mg/L	0.022	14.06	-	-	-	-	-
Arsénico (As)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Boro (B)	mg/L	0.021	0.046	-	-	-	-	-
Bario (Ba)	mg/L	0.002	0.144	-	-	-	-	-
Berilio (Be)	mg/L	0.002	<LCM	-	-	-	-	-
Bismuto (Bi)	mg/L	0.018	<LCM	-	-	-	-	-
Calcio (Ca)	mg/L	0.070	74.04	-	-	-	-	-
Cadmio (Cd)	mg/L	0.002	0.006	-	-	-	-	-
Cobalto (Co)	mg/L	0.002	0.058	-	-	-	-	-
Cromo (Cr)	mg/L	0.002	0.011	-	-	-	-	-
Cobre (Cu)	mg/L	0.014	0.635	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0.019	25.33	-	-	-	-	-
Potasio (K)	mg/L	0.049	4.555	-	-	-	-	-
Litio (Li)	mg/L	0.004	0.082	-	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	mg/L	0.017	45.14	-	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	mg/L	0.002	1.366	-	-	-	-	-
Molibdeno (Mo)	mg/L	0.002	0.003	-	-	-	-	-
Sodio (Na)	mg/L	0.018	1.094	-	-	-	-	-
Níquel (Ni)	mg/L	0.002	0.023	-	-	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0.020	0.144	-	-	-	-	-
Plomo (Pb)	mg/L	0.003	0.185	-	-	-	-	-
Azufre (S)	mg/L	0.085	87.33	-	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	mg/L	0.005	<LCM	-	-	-	-	-
Selenio (Se)	mg/L	0.017	<LCM	-	-	-	-	-
Silicio (Si)	mg/L	0.085	12.93	-	-	-	-	-
Estroncio (Sr)	mg/L	0.002	0.463	-	-	-	-	-
Titanio (Ti)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Talio (Tl)	mg/L	0.003	<LCM	-	-	-	-	-
Uranio (U)	mg/L	0.004	<LCM	-	-	-	-	-
Vanadio (V)	mg/L	0.003	0.035	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0.016	2.330	-	-	-	-	-

Cajamarca, 09 de Mayo de 2019.

ANEXO N° 16. Resultados de análisis de plantas durante el monitoreo realizados en la Universidad Nacional de Cajamarca



Universidad Nacional de Cajamarca

Facultad de Educación

Departamento Académico de Ciencias Químicas y Dinámicas

Laboratorio de Química Orgánica



Reporte de Análisis Químico – Hierro y Aluminio en Plantas

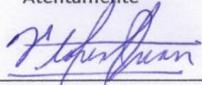
SOLICITANTES: Leyla Melita Quiroz Abanto
Silvia Yuliana Orrillo Carranza

INVESTIGACIÓN: “REMOCION DE HIERRO Y ALUMINIO EN EFLUENTE DE MINA DE CARBÓN, UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES DE EICHHORNIA CRASSIPES Y MYRIOPHYLLUM AQUATICUM”

MUESTRA: Entregada por las solicitantes

Fecha	Repetición	Jacinto de Agua		Cola de Zorro	
		Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Al (mg/kg)
17/02/2020	1	12,35	0,135	9,41	0,012
	2	12,30	0,142	9,71	0,015
	3	12,40	0,137	9,65	0,017
22/02/2020	1	12,77	0,312	11,51	0,905
	2	12,75	0,311	11,42	0,910
	3	12,70	0,289	11,45	0,906

Atentamente



M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna

ANEXO N° 17. Resultados de análisis de agua durante el monitoreo realizados en la Universidad Nacional de Cajamarca



Universidad Nacional de Cajamarca

Facultad de Educación



Departamento Académico de Ciencias Químicas y Dinámicas

Laboratorio de Química Orgánica

Reporte de Análisis Químico – Efluentes de Mina de Carbón

SOLICITANTES: Leyla Melita Quiroz Abanto
Silvia Yuliana Orrillo Carranza

INVESTIGACIÓN: “REMOCION DE HIERRO Y ALUMINIO EN EFLUENTE DE MINA DE CARBÓN, UTILIZANDO HUMEDALES ARTIFICIALES DE EICHHORNIA CRASSIPES Y MYRIOPHYLLUM AQUATICUM”

MUESTRA: Entregada por las solicitantes

Fecha	Repetición	Efluente de Mina			
		Fe (mg/L)		Al (mg/L)	
17/02/2020	1	5,79		6,14	
	2	5,65		6,22	
	3	5,71		6,19	
Fecha	Repetición	Efluente de Humedal Jacinto de agua		Efluente de Humedal Cola de zorro	
		Fe (mg/L)	Al (mg/L)	Fe (mg/L)	Al (mg/L)
18/02/2020	1	1,24	3,26	2,42	1,015
	2	1,27	3,25	2,45	1,009
	3	1,22	3,26	2,40	1,012
19/02/2020	1	1,15	3,17	1,57	0,809
	2	1,16	3,15	1,54	0,810
	3	1,15	3,15	1,60	0,814
20/02/2020	1	1,04	3,09	0,45	0,301
	2	1,00	3,09	0,41	0,305
	3	1,01	3,08	0,39	0,307
21/02/2020	1	0,90	3,05	0,19	0,068
	2	0,95	3,01	0,15	0,070
	3	0,93	3,03	0,17	0,090

Atentamente

M.Sc. Juan Carlos Flores Cerna