

# FACULTAD DE INGENIERÍA



Carrera de Ingeniería de Minas

“INFLUENCIA DE LA TYPHA ANGUSTIFOLIA Y EL TIEMPO DE ADSORCIÓN SOBRE EL PH Y REMOCIÓN DE CU- FE EN EL DRENAJE ÁCIDO DE UN PASIVO AMBIENTAL EN HUALGAYOC 2019”

Tesis para optar el título profesional de:  
Ingeniero de Minas

Autor:

Bach. Isamar Quiliche Aguirre

Bach. Yahana Liz Gricet Saldaña Ortiz

Asesor:

Ing. Msc. Daniel Alejandro Alva Huamán

Cajamarca - Perú

2020

## DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a Dios por guiar mis pasos, a mi padre Edinson Saldaña Sánchez y a mi madre Luisa Irma Ortiz Zarate por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes que con su apoyo incondicional y confianza me permiten seguir y cumplir cada una de mis metas,

**Yahana Liz G. Saldaña Ortiz**

Dedico la presente tesis a Dios por guiar mis pasos, a mi padre Fernando Quiliche Pérez y a mi madre Jiani Magali Aguirre Gallardo por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ustedes que con su apoyo incondicional y confianza me permiten seguir y cumplir cada una de mis metas.

**Isamar Quiliche Aguirre**

## AGRADECIMIENTO

Agradecer a Dios, por permitirme culminar esta meta trazada en mi vida. Agradezco a mi madre por sus consejos, amor y fortaleza que me da día a día. A mis hermano, por estar siempre a mi lado. Finalmente agradecer a la Universidad Privada del Norte y profesores quienes nos brindaron sus valiosos conocimientos y experiencias que aportaron a nuestro desarrollo profesional.

Yahana Saldaña.

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas, a mis padres, quienes son mi motor, mi mayor inspiración y mi motivo para ser cada vez mejor y siempre se sientan orgullosos de mi, a la Universidad Privada Del Norte por haberme brindado las oportunidades y enriquecerme de conocimiento.

Isamar Quiliche.

## Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE FIGURAS .....	5
RESÚMEN.....	7
<b>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
1.1. Realidad problemática .....	8
1.2. Formulación del problema .....	13
1.3. Objetivos .....	13
1.4. Hipótesis .....	14
<b>CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
2.1. Tipo de investigación.....	15
2.2. Población y muestra.....	15
2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	15
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS.....</b>	<b>21</b>
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....</b>	<b>40</b>
6.1. Discusión .....	40
6.2. Conclusiones .....	41
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>43</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>45</b>

## Índice De Tablas.

<b>Tabla 1:</b> Ubicación de los humedales artificiales .....	16
<b>Tabla 2.</b> Tratamientos en estudios .....	20
<b>Tabla 4</b> Evaluación de influencia de 50 plantas y tiempo de adsorción sobre el pH. ....	22
<b>Tabla 5</b> Evaluación de influencia de 100 plantas y tiempo de adsorción sobre el pH.....	23
<b>Tabla 6</b> Evaluación de la Concentración Fe con 50 plantas .....	25
<b>Tabla 7</b> Concentración de Fe con 100 plantas .....	26
<b>Tabla 8</b> Evaluación de Remoción de Fe con 50 plantas.....	27
<b>Tabla 9</b> Evaluación de Remoción de Fe con 100 plantas .....	28
<b>Tabla 10</b> Concentración de Cu con 50 plantas.....	29
<b>Tabla 11</b> Concentración de Cu con 100 plantas.....	30
<b>Tabla 12</b> Remoción de Cu con 50 plantas.....	31
<b>Tabla 13</b> Remoción de Cu con 100 plantas .....	32

## RESUMEN

Los metales pesados constituyen un riesgo grave para la salud porque se acumulan en los suelos y el agua. Siendo este el caso de los drenajes circundantes a las minas en la provincia de Hualgayoc. La finalidad de la investigación fue determinar la influencia de la cantidad de *Typha angustifolia* y del tiempo de adsorción sobre el pH y remoción de hierro y cobre del drenaje ácido de mina en Hualgayoc. Se trata de una investigación experimental donde se utilizó el método de la adsorción con la planta *Typha angustifolia* para las aguas ácidas provenientes de los relaves mineros de la mina Culquirrumi, se llevó a cabo en 2 pozas contenidas con las aguas ácidas donde la planta cumple la función de adsorber los metales pesados cambiando el pH y removiendo el hierro y el cobre en un tiempo determinado.

**Palabras clave:** Tiempo de adsorción, pH, hierro, cobre, drenaje ácido.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

De aproximadamente 180 minas operativas en el Perú (grande, mediana y pequeña minería) unas 25 a 30 presentan un declarado problema de drenaje ácido de mina. Es probable que existan otras concesiones que actualmente generen ácido, pero no se posee información al respecto. Con frecuencia, éste es el caso de las áreas antiguas y abandonadas de las minas activas y también de las áreas mineras de larga explotación como Cerro de Pasco, Huancavelica y Ayacucho. Hay pocas minas operativas que tienen un potencial muy bajo de drenaje ácido de mina debido tanto a la geología favorable como al hecho de que están localizadas en áreas con un balance neto de agua negativo. Para el remanente de las minas operativas, el potencial de generación ácida en el futuro no ha sido determinado (Nina, 2008).

En todo el país, el Ministerio de Energía y Minas (MINEM) ha registrado 6 847 pasivos ambientales mineros (PAM). Las regiones con mayor cantidad de PAM en su territorio son Ancash (1115), Cajamarca (1018), Huancavelica (830), Puno (522), Cusco (507), La Libertad (488) y Pasco (429). En el año 2000, un estudio del Banco Mundial estimó que las actividades mineras y metalúrgicas en conjunto descargan anualmente más de 13 billones de metros cúbicos de efluentes en los cuerpos de agua del país (Balta 2011), lo cual constituye un problema ambiental de enorme impacto ecológico que amerita encontrar alguna alternativa para prevenir, minimizar y mitigar sus efectos (Licapa, 2015).

Drenaje ácido de mina es el agua contaminada originada de la explotación minera, ya sea superficial o profunda, típicamente de alta acidez, rica en sulfato y con niveles

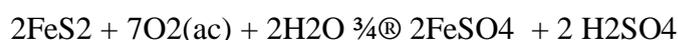
elevados de metales pesados, principalmente hierro, manganeso y aluminio. Debido a la alta cantidad de hierro oxidado, el drenaje ácido de la mina es a menudo rojizo coloreado (Gamonal 2001).

Son aguas que se producen como resultado de la oxidación química y biológica de sulfuros metálicos, especialmente pirita o pirrotita, que se pueden encontrar presentes o formando parte de botaderos, relaves, etc. La oxidación se produce cuando las rocas conteniendo sulfuros son expuestas al aire y al agua.

Las aguas ácidas de minas con pH bajo y altas concentraciones de hierro, azufre, aluminio y trazas de otros metales constituyen un problema grande de contaminación de las aguas en varias regiones del mundo dedicadas a la extracción de minerales metálicos y de carbón, entonces el uso de humedales artificiales es una solución muy interesante para este tipo de contaminación desde el punto de vista económico, técnico, de ocupación de terreno, ecológico y de mejora del ambiente (Villaruel 2005).

Las características de las aguas acidas son valores de pH por debajo de 7 hasta 1.5; Alcalinidad decreciente y acidez creciente; Concentraciones elevadas de sulfato; Concentraciones elevadas de metales (disueltos o totales); Concentraciones elevadas de sólidos disueltos totales.

La generación de aguas ácidas es el resultado de una serie compleja de reacciones químicas que involucra: Generación de ácido sulfúrico, debido a la oxidación de los sulfuros por acción combinada de agua y oxígeno. Reacciones autocatalíticas y cuya velocidad es acelerada por actividad bacteriana. (Escobar, 2013).



La generación del drenaje ácido de mina (DAM) es un problema común en los yacimientos polimetálicos peruanos que requiere de especial atención en áreas donde existe mineralización sulfurosa no protegida. El principal problema de la calidad del agua por la actividad minera es generalmente debido a los efectos del drenaje ácido de mina no controlado (Nina, 2008).

Los drenajes ácidos de mina, considerados en un rango de pH de 2 a 4, contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido en sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.); por tanto, son nocivos para la actividad biológica, contaminan los cauces, y pueden llegar a dañar la estructura y la cimentación de construcciones (López et al. 2002).

El pH, es la medida de la acidez del agua, expresada por una escala entre 1 y 14, de forma que el valor 1 indica condiciones de máxima acidez, y 14 de alcalinidad extrema. El valor de 7 indica la neutralidad y es el más deseable (Morales, 2005). Además, define como el logaritmo negativo de la concentración de ion hidrógeno.

Los metales son los elementos puros que se caracterizan por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad y son sólidos a temperatura ambiente y sus sales forman iones electropositivos (cationes) en disolución (Colin, 2011).

La concentración de una sustancia, elemento o compuesto en un líquido, es la relación existente entre su peso y el volumen del líquido que lo contiene (Marín, 2010).

La Remoción es el término aplicado para describir que las concentraciones totales de hierro y cobre son disminuidas del agua mediante procesos biológicos, químicos y físicos (Leyva et al. 2001).

Uno de los mayores problemas que plantea la minería es el drenaje ácido. Para su tratamiento se pueden emplear dos grupos de técnicas: las activas y las pasivas.

Las técnicas pasivas: Son las que se emplean para el tratamiento de grandes volúmenes, y se basan en la puesta en contacto del DAM con "reactivos" naturales o con condiciones adecuadas para evitar el desarrollo del proceso. Estas técnicas pueden ser muy variadas (Villaseñor, 2002)

Mecanismos y rendimiento en la eliminación de contaminantes: En un humedal artificial se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual y/o industrial. Un amplio rango de procesos biológicos, físicos y químicos tienen lugar, por lo tanto, la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja (Delgadillo, 2010).

En la "Evaluación de Mecanismos de Adsorción y Acumulación Intracelular de Plomo, en Sistemas Continuos de Fitorremediación con *Salvinia Mínima*" se demostró que la *Salvinia mínima*, tiene la capacidad de remover entre 70 -90% de plomo y de zinc en dos días, cuando la expusieron a concentraciones de los metales de 1 a 8 mg/l. también se demostró que esta planta era capaz de remover hasta un 89.7% de plomo en solo 24 horas. (Vidal, 2009).

Fitorremediación proviene del griego de *Phyto* que significa "planta" y *remedium* que significa "recuperar el equilibrio" y es una técnica que aprovecha la capacidad de

algunas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como metales pesados, elementos radiactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo.

Mientras que los métodos convencionales pueden alterar de manera irreversible las propiedades del suelo, el agua y de los seres vivos que viven en ellos, suelen ser muy costosos y tienen una limitada eficacia, la fitorremediación se presenta como una alternativa sustentable, de bajo costo y con una alta aplicabilidad para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminación natural y antropogénica (Vega, 2014).

En el Perú se realizó la "evaluación de la aplicabilidad de especies forestales de la serranía peruana en fitorremediación de relaves mineros" según el estudio del autor Javier paredes: "la fitorremediación es una tecnología alternativa de bajo costo utilizada para descontaminar suelos con metales pesados. En este ensayo se realizó el uso de especies forestales en la sierra peruana (*Acacia visco*, *Buddleja coriacea*, *Eucalyptus globulus*, *Myoporum laetum*, *Polylepis racemosa* y *Schinus molle*) para el tratamiento de relaves mineros. Se evaluó el desarrollo de las especies plantadas en relave minero durante 27 semanas y se hizo un análisis fisicoquímico al relave para determinar el pH y la concentración de elementos químicos. Las especies forestales demostraron tener gran tolerancia a suelos contaminados y se obtuvo una remoción de los elementos químicos: antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plata (Ag) y plomo (Pb). Descriptores: relaves mineros" (Paredes, 2015).

La creciente aceptación de la fitorremediación está basada en parte en su relativo bajo costo en comparación a las tecnologías convencionales, debido principalmente a que

se hace uso de la energía solar para la actividad remediadora. Otra ventaja es que tiene potencial para tratar una gama diversa de materiales tóxicos en concentraciones de bajas a moderadas. Asimismo, el hecho de que la fitorremediación sea llevada a cabo in situ también contribuye a su rentabilidad y a que puede reducir la exposición del sustrato contaminado a humanos, vida silvestre y al medio ambiente (Sánchez, 2010). Los humedales artificiales consisten en el diseño correcto de una "cubeta" que contiene agua, sustrato, vegetación emergente y otros componentes como los microorganismos e invertebrados acuáticos (Villarroel, 2005).

Los sistemas de tratamiento construidos con humedales artificiales han sido generalmente utilizados para el tratamiento de aguas residuales municipales, sin embargo han sido aplicados para la depuración de aguas industriales, esorrentías de aguas agrícolas y de lluvia, lixiviados de vertederos, rebose de alcantarillados, combinados, drenajes de mina y aguas residuales domésticas en pequeñas humedales tras tanques sépticos convencionales.

Según Rodríguez et al. (2008), los sustratos en los humedales construidos incluyen suelo, arena, grava, roca. Algunos sedimentos y restos de vegetación se acumulan en el humedal debido a la baja velocidad del agua y a la alta productividad típica de estos sistemas. El sustrato, sedimentos y los restos de vegetación en estos sistemas son importantes para varias razones: - Soportan a muchos de los organismos vivientes en el pantano. - La permeabilidad del sustrato afecta el movimiento del agua a través del pantano. - Muchas transformaciones químicas y biológicas (sobre todo microbianas) tienen lugar dentro del sustrato. - El sustrato proporciona almacenamiento para muchos contaminantes. - La acumulación de restos de vegetación aumenta la cantidad de

materia orgánica en el pantano. La materia orgánica da lugar al intercambio de materia, la fijación de microorganismos y es una fuente de carbono, que es la fuente de energía para algunos de las más importantes reacciones biológicas en el pantano. En cuanto a la selección de la vegetación se han utilizado la *typha angustifolia*.

Farfán (2012), indica que las plantas emergentes, flotantes y/o sumergidas permiten que se establezca la película microbiana y por medio de las raíces inyectan aire al soporte y a la fase acuosa, esto origina dentro del humedal, secciones aerobias y otras anaerobias favoreciendo así la existencia de una mayor variedad de microorganismos. Las plantas emergentes contribuyen al tratamiento de drenaje ácido de mina de varias maneras: - Estabilizan el sustrato y limitan la canalización del flujo. - Dan lugar a velocidades casi nulas y permiten que los materiales suspendidos se depositen. - Toman el carbono, nutrientes y elementos de traza y los incorporan a los tejidos de la planta. - El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos. - Cuando mueren se deterioran y dan lugar a restos de vegetación favoreciendo la formación de la película microbiana.

Lo característico de un humedal es la presencia de agua durante períodos lo bastante prolongados como para alterar los suelos, sus microorganismos y las comunidades de flora y fauna hasta el punto de que el suelo no actúa como en los hábitat acuáticos o terrestres. Las profundidades típicas de estas extensiones de tierras son menores a 0,60 m donde crecen plantas emergentes como juncos, *typha* «totora», duck weed «lenteja de agua» (Figura 1) que contribuyen a la reducción de contaminantes a través de procesos aerobios de degradación.

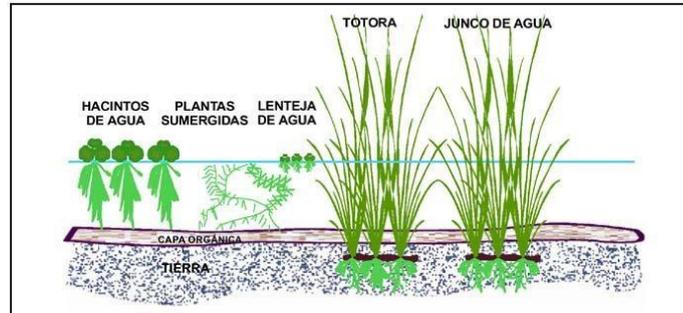


Figura 1. Plantas acuáticas posibles reductoras de contaminantes (adaptado de Tchobanoglous, 1994)

Los Humedales Artificiales son sistemas diseñados para imitar las características y procesos (químicos, físicos y biológicos) de un humedal natural son comúnmente conocidos como “humedales artificiales” o “humedales construidos”. Los humedales construidos son sistemas complejos e integrados en los que tienen lugar interacciones entre el agua, planta, animales, microorganismos, energía solar, suelo y aire con el propósito de mejorar la calidad del agua residual y promover un mejoramiento ambiental (EPA 1998).

Una ciénaga o laguna aeróbica consiste en un humedal de suficiente extensión con flujo superficial horizontal. El sistema (fig. 2) es especialmente eficiente en la reducción del contenido en hierro, pero el pH puede incrementar considerablemente debido a las reacciones de oxidación.

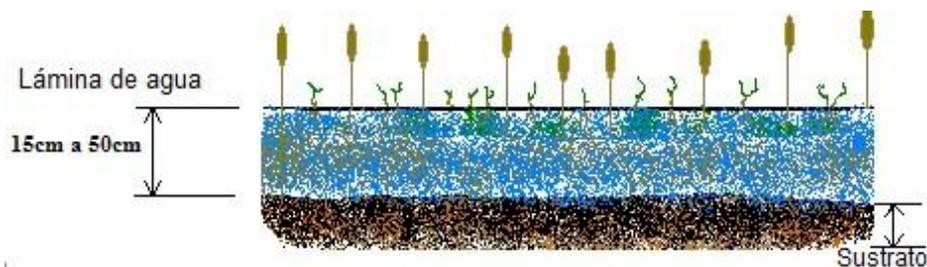


Figura 2. Sección típica de un humedal aeróbico (Villaseñor, 2002)

Las lagunas o ciénagas anaeróbicas (compost or anaerobic wetland), se trata de lagunas con una delgada lámina de agua sobre un sustrato rico en materia orgánica, que puede estar constituido por turba, u otros materiales orgánicos: compost usado de plantaciones de champiñones, virutas de madera, heno, etc., mezclado con un 10% de carbonato cálcico (fig. 3). A través de este sustrato se produce el flujo de las aguas a depurar, produciendo fundamentalmente la reducción de sulfatos, en aguas conteniendo oxígeno disuelto,  $Fe^{3+}$ ,  $Al^{3+}$ , y con acidez media o baja.

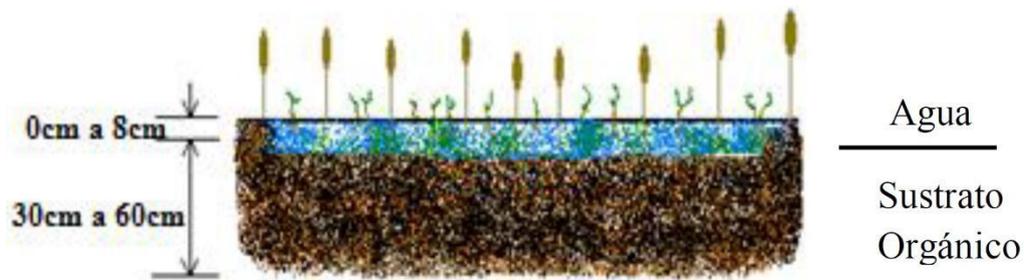


Figura 3. Sección Típica de un Humedal Artificial Anaerobio (Villaseñor, 2002)

Estudios realizados por Delgadillo et al. (2010) Sobre los humedales artificiales al igual que los naturales, demuestran que pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua (nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos), Sólidos en suspensión y mejorar la DBO, lo cual se logra a través de una variedad de procesos que incluyen la sedimentación, filtración, metabolismo microbiano (aerobio y anaerobio), absorción de la planta y respiración. El funcionamiento del humedal artificial se fundamenta en tres principios básicos: (a) La actividad bioquímica de los microorganismos, (b) Aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día y (c) El apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como filtrante.

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren un potencial atractivo para el tratamiento de aguas residuales: (1) Fijan físicamente los contaminantes a la superficie del suelo y la materia orgánica, (2) Utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y (3) Logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento (EPA 1993).

Los humedales son capaces de proporcionar una alta eficiencia física en la remoción de contaminantes asociado con material particulado. El agua superficial se mueve muy lentamente a través de los humedales, debido al flujo laminar característico y la resistencia proporcionada por las raíces y las plantas flotantes. La sedimentación de los sólidos suspendidos se promueve por la baja velocidad de flujo y por el hecho de que el flujo es con frecuencia laminar. Las esteras de plantas en humedales pueden servir como trampas de sedimentos, pero su rol primario es la remoción de sólidos suspendidos para limitar la resuspensión de material particulado. El desprendimiento de gas resulta a partir de gases como el oxígeno, a partir de la fotosíntesis del agua, metano y dióxido de carbono, producido por los microorganismos en el sedimento durante la descomposición de la materia orgánica (Benefield y Randall citado por Llagas y Guadalupe 2006).

La información que genere la investigación de ciertos parámetros del DAM, servirá como base para posteriores investigaciones a nivel piloto e industrial a fin de implementar esta tecnología en empresas mineras donde el drenaje ácido de mina, es uno de sus principales problemas ambientales. Otro problema que enfrentan las empresas mineras es el elevado costo operativo para el tratamiento de su drenaje ácido de mina a través de medios convencionales.

Desde el punto de vista económico, este tipo de tratamiento es ventajoso debido a su bajo costo de inversión tanto en la fase de construcción, mantenimiento y consumo de energía frente a los tratamientos convencionales que requieren de una fuerte inversión para la instalación, operación de los equipos y mantenimiento (Sotomayor, 2009).

La presente investigación sirve para remediar, mejorar el medioambiente con una baja inversión de manera natural sin el uso de químicos ya que esto ha generado un enorme interés en el ámbito científico y propiciando el desarrollo de diferentes sistemas para estimar y remediar la contaminación de metales en los suelos, la flora de zonas tropicales o andinas y en especial el tratamiento de aguas.

La información obtenida del estudio podrá ser de utilidad para empresarios del rubro minero, investigadores y trabajadores ligados con este sector, además la metodología usada podrá ser usada en investigaciones similares con fines de mejorar la calidad del agua proveniente de mina.

## 1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la cantidad y tiempo de adsorción de la *Typha angustifolia* sobre el pH y remoción de Fe-Cu en el drenaje ácido, Hualgayoc 2019?

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la cantidad y del tiempo de adsorción de la *Typha angustifolia* sobre el pH y remoción de Fe-Cu en el drenaje ácido, Hualgayoc 2019.

### 1.3.2. Objetivos específicos

- Determinar la influencia de la cantidad y tiempo de adsorción de *Typha angustifolia* para el aumentar el pH del drenaje ácido, Hualgayoc 2019.
- Determinar la influencia de la cantidad y tiempo de adsorción de *Thypha angustifolia* para la remoción de Fe-Cu, en el drenaje ácido, Hualgayoc 2019.

## 1.4. Hipótesis

### 1.4.1. Hipótesis general

El número de plantas y el tiempo de adsorción de *Thypha angustifolia* influye significativamente sobre el pH y en la remoción de Fe y Cu en el drenaje ácido en Hualgayoc.

### 1.4.2. Hipótesis específicas

- El número de plantas y tiempo de adsorción de *Typha angustifolia* influye significativamente sobre el pH del drenaje ácido, Hualgayoc 2019.
- El número de plantas y tiempo de adsorción de *Typha angustifolia* influye significativamente en la remoción de Fe-Cu en el drenaje ácido, Hualgayoc 2019.

## CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

### 2.1. Tipo de investigación

El tipo de investigación de acuerdo a la finalidad, es aplicada. De acuerdo a la técnica de contrastación, es experimental con diseño exploratorio.

Según Hernández, Fernández y Baptista (2010), la investigación es Experimental, porque se realiza manipulando deliberadamente variables; y es Longitudinal porque las muestras en estudio, ha sido tomadas para su medición respectiva en varios momentos del año.

### 2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

La población son todas las aguas ácidas proveniente de minas en Hualgayoc

La muestra es el agua ácida proveniente de relaves de mina Culquirrumi, Hualgayoc, recolectadas en los 2 humedales artificiales, Para la selección de la muestra se utilizó la técnica de muestreo no probabilístico por conveniencia.

**Tabla 1:** *Ubicación de los humedales artificiales*

Muestra	Descripción	Coordenadas UTM		Altitud (msnm)
		Norte	Este	
HA-1	Muestra del agua de drenaje ácido de mina a la salida de bocamina – Hualgayoc.	9253176	761143	3,665
HA-2	Muestra del agua de drenaje ácido de mina a la salida de bocamina – Hualgayoc.	9252971	760883	3,677

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

#### Las técnicas utilizadas son:

Observación, análisis documental y experimentación.

#### Instrumentos

- Ficha de observación.
- Fichas de resumen.

### 2.4. Materiales y equipos

- Botellas de plástico boca ancha de 500 ml para muestras líquidas.
- Etiquetas de identificación.
- Cadena de custodia.
- EPP (botas, chaleco, casco, guantes quirúrgicos).
- Ácido nítrico, ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluido para preservación de muestras líquidas.
- Caja cooler para trasladar las muestras.
- GPS Garmín.
- Equipo Multiparámetro.
- Libreta de notas.
- Fotocopias.
- USB.
- Laptops.
- Papel A4.
- Lapiceros y plumón indeleble fino.
- Cámara fotográfica.

- Wincha.
- Materiales de laboratorio

## 2.5. Procedimiento

Etapa pre-campo:

Se realizó una recopilación de la información histórica de la zona de investigación utilizando como fuente principal la data del ministerio del ambiente (MINAM)

Etapa de campo:

a. Construcción de pozas de relaves mineros

- Se realizaron salidas a la mina Culquirrumi para determinar la ubicación donde se llevó a cabo este sistema de tratamiento mediante la construcción de pozas de relaves mineros.

- Para dicha construcción se realizaron excavaciones de 1m de longitud 1m de ancho y 1m de profundidad para el sistema de tratamiento de aguas acidas.

- Para ello se recubrió esta excavación con geo membrana para evitar infiltraciones.

- Se colocó el agua acida proveniente de los relaves mineros de Culquirrumi, para luego suspender sobre el agua una red de 5 x 5 cm para realizar el trasplante de la *Thypha angustifolia* a un sistema flotante.

- Finalmente esperamos que la planta se adapte a sus nuevas condiciones de vida para poder extraer la red.

b. Recolección de muestras:

- Se realizó la recolección de 1500 L de drenaje acido de minas en Culquirrumi Hualgayoc para ser llevado a la poza mediante la utilización de un sistema de flotación.

Fase de laboratorio

- Para la determinación de metales pesados principalmente: cobre, cinc, hierro y sulfuros se realizaron los ensayos en los laboratorios de la Universidad Privada del Norte.

- Se determinó cuantitativamente el porcentaje de los metales pesados que hay en las aguas ácidas de la mina Culquirrumi con el uso del Espectrofotómetro de absorción atómica.

- Se realizó tanto el análisis de PH como también de los metales y sulfuros presentes en las aguas acidas.

#### Etapas de Gabinete

La información obtenida en los ensayos de laboratorio se procesó mediante las siguientes formulas:

PH: los valores de PH son obtenidos directamente con la ayuda de un PH-metro.

Concentración de cobre:

(1)

$$\frac{mg}{L}[Cu] = (L - Bk)$$

Donde:

Mg/L: concentración de cobre expresada en mg de cobre por litro

L: lectura de la muestra en Mg/L

Bk: Lectura del blanco reactivo sometido al mismo proceso

d: factor de dilución o concentración

Remoción de Fe y Cu

(2)

$$\%R = \frac{C_o - C_f}{C_o} \times 10$$

Donde:

%R = porcentaje de remoción.

Cf = Concentración de Fe y Cu después de cada tratamiento en el drenaje ácido de mina.

### Factores, niveles y tratamiento en estudio

Factores:

Factor "T": Tiempo de adsorción en meses

T<sub>1</sub>: 1 semana

T<sub>2</sub>: 2 semanas

T<sub>3</sub>: 3 semanas

T<sub>4</sub>: 4 semanas

T<sub>5</sub>: 5 semanas

Factor "C": Cantidad de *Thypha angustifolia*

C<sub>1</sub>: 100 plantas de *Thypha angustifolia*

C<sub>2</sub>: 50 plantas de *Thypha angustifolia*

**Tabla 2. Tratamientos en estudios**

N°	Clave
T <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	1 semana
T <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	1 semana
T <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	2 semanas
T <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	2 semanas
T <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	3 semanas
T <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	3 semanas
T <sub>4</sub> C <sub>1</sub>	4 semanas
T <sub>4</sub> C <sub>2</sub>	4 semanas
T <sub>5</sub> C <sub>1</sub>	5 semanas
T <sub>5</sub> C <sub>2</sub>	5 semanas

## CAPÍTULO III. RESULTADOS

### 3.1. Ubicación del experimento



*Figura 4. Zona de investigación*

### 3.2. Accesibilidad al depósito mineral

Carretera Cajamarca – Hualgayoc

Trocha Hualgayoc – Zona de investigación

### 3.3. Geología

El contexto geológico del depósito está conformado por estratos medios a gruesos bien estratificados del volcánico Huambos del Mioceno, y del cretácico a las formaciones Farrat, compuesta por areniscas, formación Inca con calizas masivas arenosas, brechas calcáreas, areniscas y lutitas ferruginosas en capas delgadas intercaladas con caliza impura, Chulec con Lutitas grises, margas amarillentas y calizas lutáceas delgadas y nodulares marrón crema. y Pariatambo con Calizas negras, bituminosas, con olor fétido intercaladas con delgados niveles de lutitas negras, grupo Puylucana con Intercalación

de calizas grises, lutitas friables gris oscuras a negras y niveles de margas. mientras que la mineralización está relacionada con Dacita.

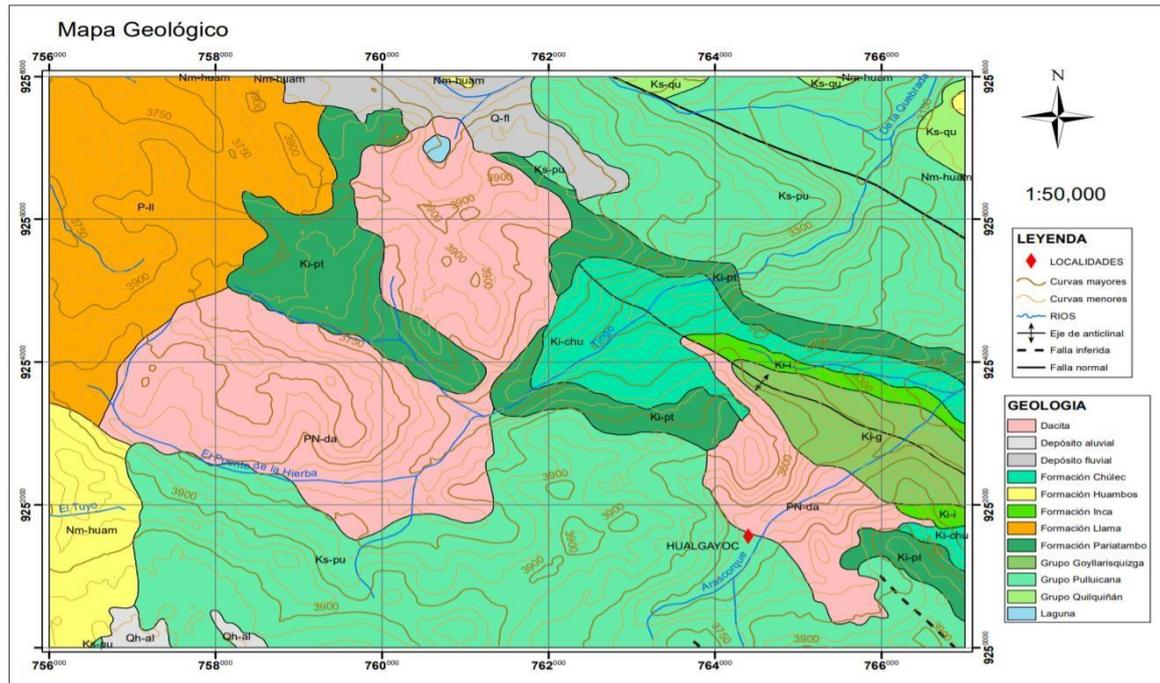


Figura 5. Plano geológico de la zona de estudio

### 3.4. Influencia del tiempo de adsorción y cantidad de *Thypha angustifolia* sobre el pH de drenaje ácido

Tabla 3 Evaluación de influencia de 50 plantas y tiempo de adsorción sobre el pH.

	Ty: 50	Ty: 50	Ty: 50	Promedio	desv est	CV
inicio	2.4	2.39	2.41	2.40	0.010	0.42
1 semana	3.1	3.05	3.15	3.10	0.050	1.61
2 semana	3.9	3.8	3.95	3.88	0.076	1.97
3 semana	4.3	4.4	4.2	4.30	0.100	2.33
4 semana	5.1	5.2	5.05	5.12	0.076	1.49
5 semana y 4 días	6	5.9	6.1	6.00	0.100	1.67

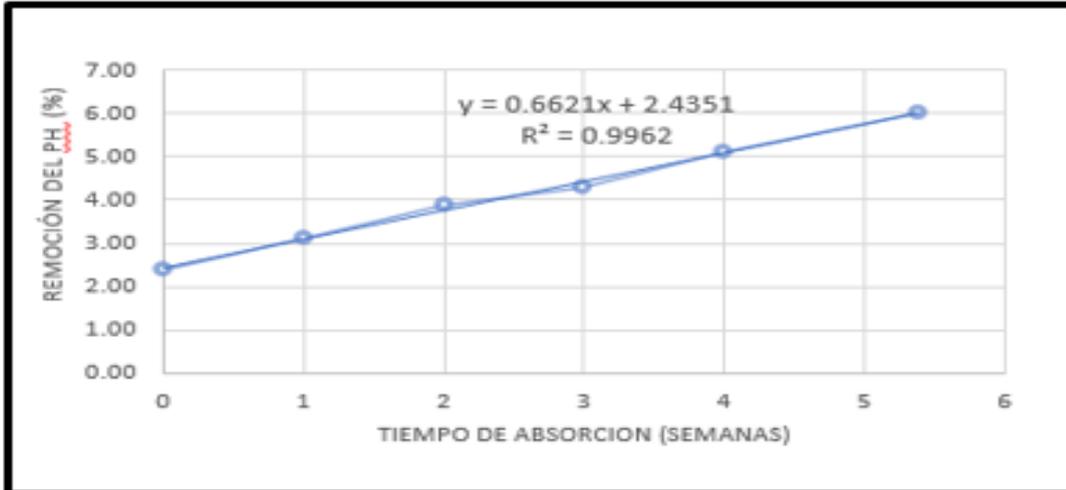


Figura 6. Análisis de Regresión lineal para muestra 1

Tabla 4 Evaluación de influencia de 100 plantas y tiempo de adsorción sobre el pH.

	Ty: 100	Ty: 100	Ty: 100	Promedio	desv est	CV
<b>inicio</b>	2.4	2.38	2.42	2.40	0.020	0.8333
<b>1 semana</b>	3.9	3.78	3.75	3.81	0.079	2.0833
<b>2 semana</b>	4.8	4.89	4.82	4.84	0.047	0.9771
<b>3 semana</b>	5.3	5.28	5.29	5.29	0.010	0.1890
<b>4 semana</b>	6.9	6.8	6.7	6.80	0.100	1.4706

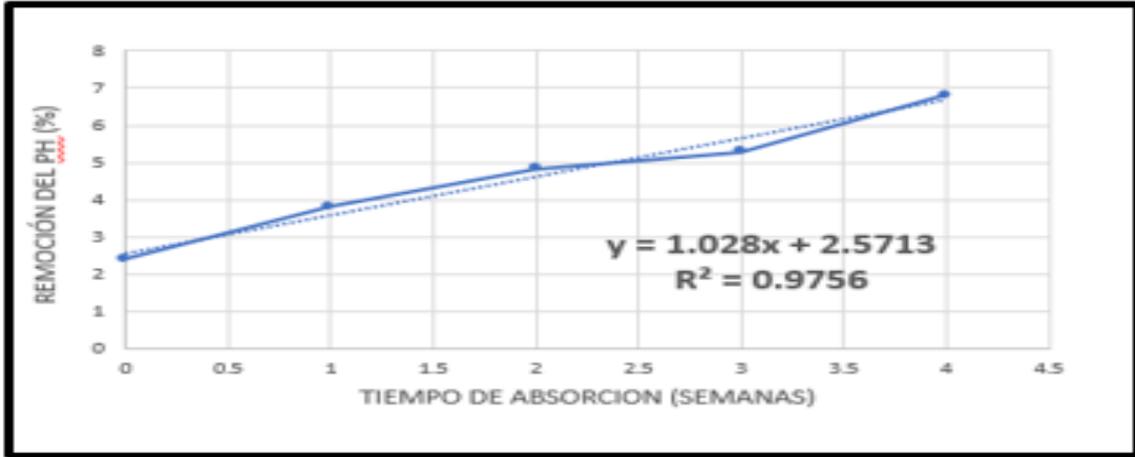


Figura 7. Análisis de Regresión lineal para muestra 2

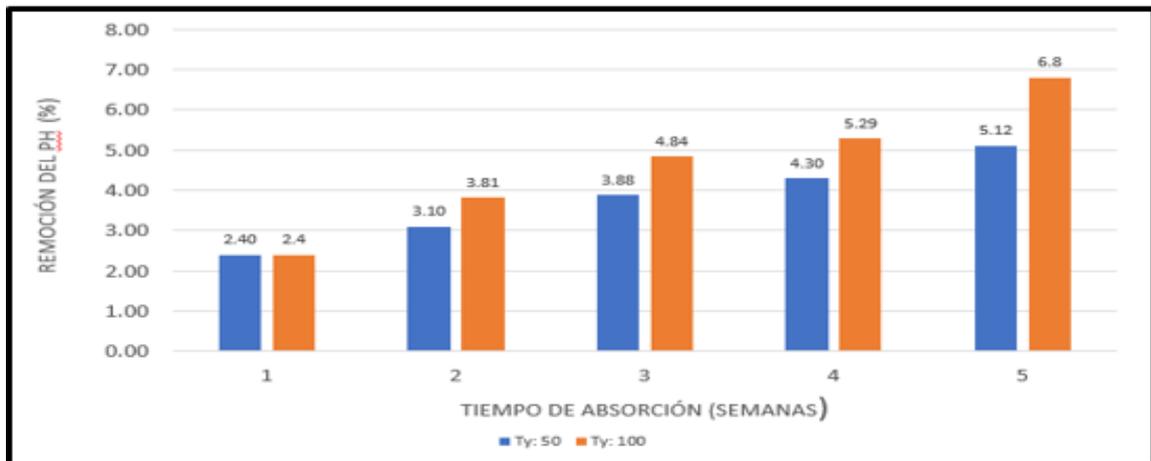


Figura 8. Nivel de pH en el drenaje ácido a diferentes tiempos de adsorción y cantidad de *typha angustifolia*.

Observamos en la figura que a mayor tiempo de tratamiento el pH va aumentando. Inició con un Ph de 2.4 mg/L y aumento a 6 mg/L esto con un tratamiento de 50 plantas y con 100 plantas aumento a 6.9 mg/L.

### 3.5. Influencia del tiempo de adsorción y cantidad de *Thypha angustifolia* en la **remoción de hierro** del drenaje ácido.

**Tabla 5:** Evaluación de la Concentración Fe con 50 plantas

	Ty: 50	Ty: 50	Ty: 50	Promedio	desv est	CV
inicio	105.49	105.45	105.47	105.47	0.020	0.0190
1 semana	96.42	96.41	96.4	96.41	0.010	0.0104
2 semanas	83.69	83.7	83.71	83.70	0.010	0.0119
3 semanas	73.35	73.35	73.33	73.35	0.010	0.0134

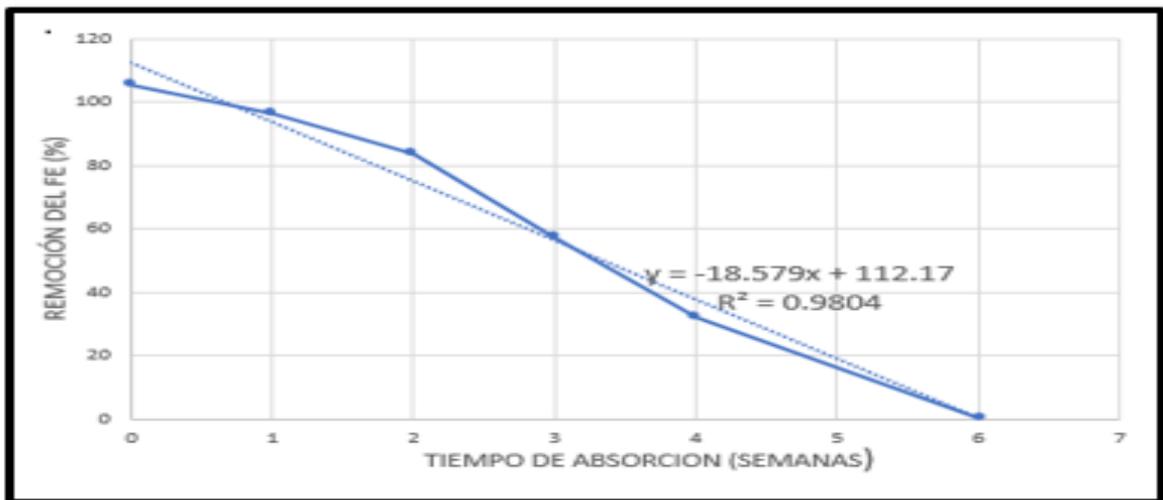


Figura 9. Análisis de Regresión lineal del tiempo sobre el Fe de la muestra 1 (50 plantas).

**Tabla 6:** Concentración de Fe con 100 plantas

	Ty: 100	Ty: 100	Ty: 100	Promedio	desv est	CV
inicio	105.49	105.45	105.47	105.47	0.020	0.0190
1 semana	94.15	94.1	94.12	94.12	0.025	0.0267
2 semana	78.25	78.15	78.17	78.19	0.053	0.0677
3 semana	51.79	51.75	51.77	51.77	0.020	0.0386
4 semana	29.14	29.12	29.13	29.13	0.010	0.0343
5 semanas y 6 días.	0.30	0.29	0.31	0.30	0.010	3.3333
LMP Fe:	0.30	ppm				

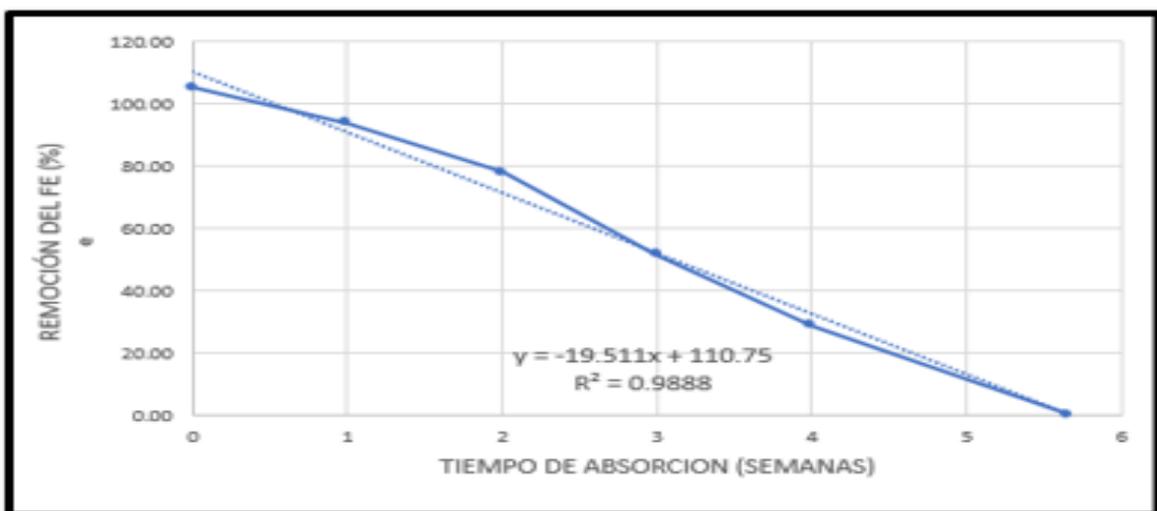


Figura 10. Análisis de Regresión lineal del tiempo sobre el Fe de la muestra 2 (100 plantas).

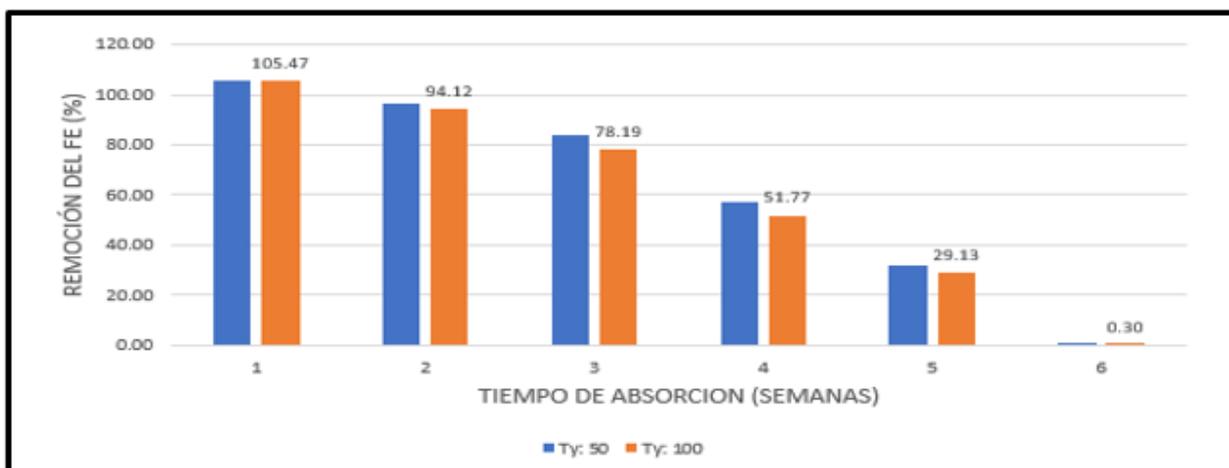


Figura 11. Concentraciones promedio de hierro (mg/L) en el drenaje ácido de mina a diferentes tiempos de adsorción y distintas cantidades de *typha angustifolia*.

Se observa que a mayor cantidad de tiempo de adsorción la concentración de hierro decrece desde 105.59 mg/L que fue al inicio de la investigación hasta 0.31mg/L para 30 Kg de *Thypha angustifolia* y 0.30 mg/L para 60 Kg de *Thypha angustifolia*.

### 3.6. Influencia del tiempo de adsorción y cantidad de *Thypha angustifolia* en la **remoción de cobre** del drenaje ácido.

**Tabla 7:** *Evaluación de la Remoción Cu con 50 plantas.*

	Ty: 50	Ty: 50	Ty: 50	Promedio	desv est	CV
<b>inicio</b>	0.65	0.64	0.66	0.65	0.010	0.0000
<b>1 semana</b>	0.52	0.5	0.54	0.52	0.020	3.8462
<b>2 semana</b>	0.41	0.39	0.43	0.41	0.020	4.8780
<b>3 semana</b>	0.26	0.24	0.28	0.26	0.020	7.6923
<b>4 semana</b>	0.18	0.2	0.16	0.18	0.020	11.1111
<b>Lmp CU</b>	0.5					

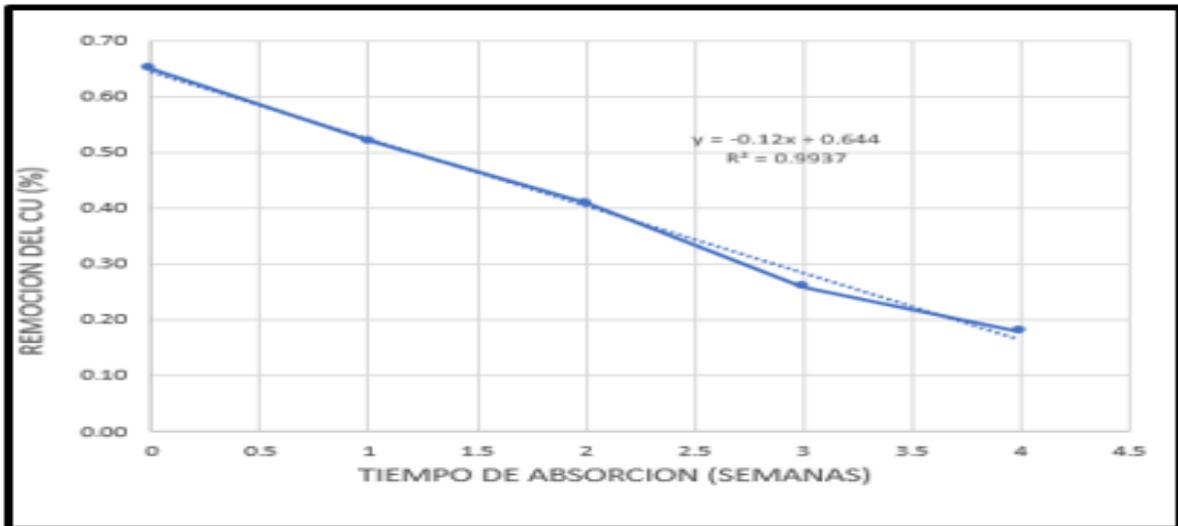


Figura 12. Análisis de Regresión lineal del tiempo sobre el Cu de la muestra 1 (50 plantas).

Tabla 8: Evaluación de la Remoción Cu con 100 plantas.

	Ty: 100	Ty: 100	Ty: 100	Promedio	desv est	CV
inicio	0.65	0.64	0.66	0.65	0.010	0.0000
1 semana	0.51	0.5	0.52	0.51	0.010	1.9608
2 semana	0.37	0.4	0.35	0.37	0.025	6.7409
3 semana	0.21	0.24	0.19	0.21	0.025	11.7966
4 semana	0.11	0.13	0.1	0.11	0.015	13.4782

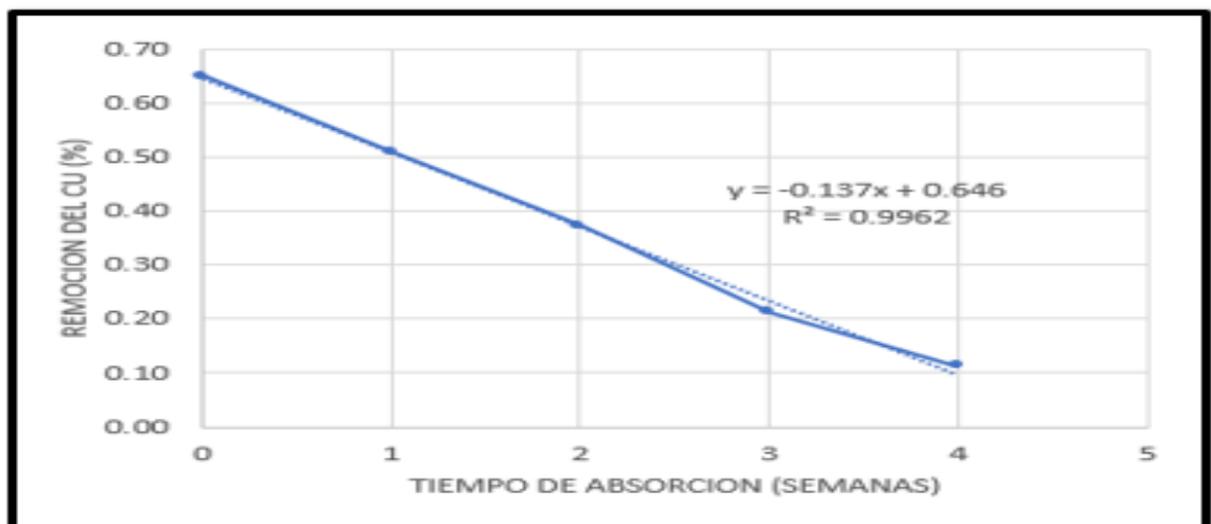


Figura 13. Análisis de Regresión lineal del tiempo sobre el Cu de la muestra 2 (100 plantas).

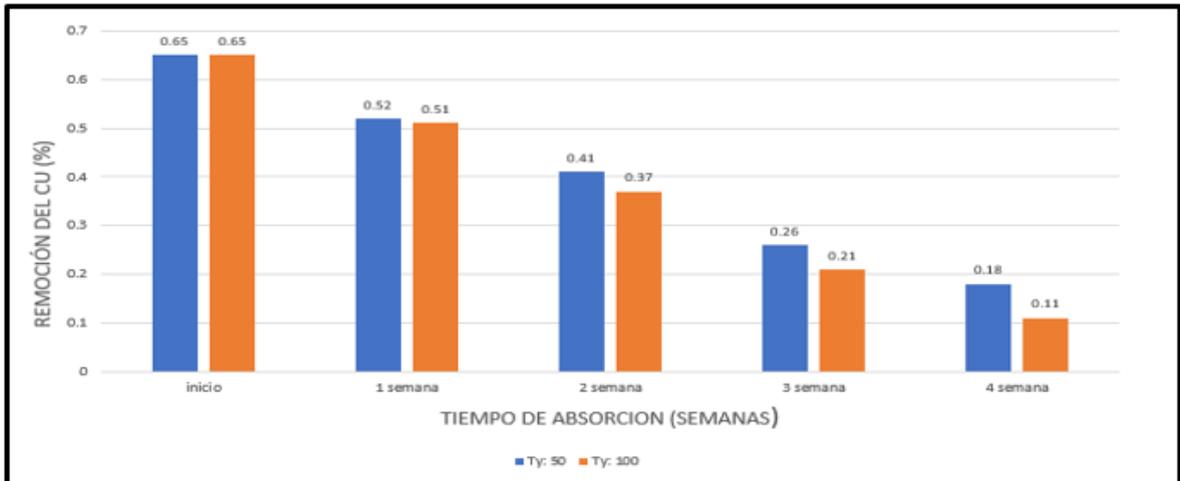


Figura 14. Concentraciones promedio de cobre (mg/L) del drenaje ácido de mina a diferentes tiempos de adsorción y distintas cantidades de *typha angustifolia*.

Se observa que la remoción del cobre llegó a su límite permisible (0.30 mg/L) en la primera semana con 50 plantas y 100 plantas, es decir, que el momento lineal llegó satisfactoriamente logrando más de los que se esperaba.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Discusión

En concordancia con Gamonal (2001), sobre el drenaje ácido de mina, lo que se genera en Hualgayoc es agua contaminada originada de la explotación minera, típicamente de alta acidez, rica en sulfato y con niveles elevados de metales pesados, principalmente hierro, manganeso y aluminio y por la alta cantidad de hierro oxidado, el drenaje ácido de la mina es a menudo rojizo coloreado

En la investigación se hizo uso de humedales artificiales y como menciona Villarroel (2005), esto es una solución muy interesante para este tipo de contaminación desde el punto de vista económico, técnico, de ocupación de terreno, ecológico y de mejora del ambiente.

Nina (2008) menciona que la generación del drenaje ácido de mina (DAM) es un problema común en los yacimientos polimetálicos peruanos que requiere de especial atención en áreas donde existe mineralización sulfurosa no protegida. Muchas minas en Hualgayoc están abandonadas y siguen generando pasivos ambientales tal como los drenajes ácidos que se han evaluado en esta investigación.

López et al. (2002). Nos dice que los drenajes ácidos de mina, considerados en un rango de pH de 2 a 4, contienen una gran cantidad de sólidos en suspensión y un alto contenido en sulfatos y metales disueltos (Fe, Al, Mn, Zn, Cu, Pb, etc.); de igual manera el drenaje ácido de Hualgayoc presenta un pH, de 2.4 a 2.6 antes de ser tratado con la *Typha Angustifolia*.

## 4.2. Conclusiones

El número de plantas y el tiempo de adsorción de *Thypha angustifolia* influyen significativamente sobre el nivel de pH, la remoción de hierro y cobre de drenaje ácido de mina.

El aumento de pH se da en la semana 5 con un aumento de 5.12 para 50 plantas y 6.8 para 100 plantas de *typha angustifolia*.

El mejor tiempo de adsorción del drenaje ácido de mina para la remoción de hierro se da en la semana 5 con una remoción total de 90% con 50 plantas y 92.28% con 100 plantas de *typha angustifolia*.

El mejor tiempo de adsorción del drenaje ácido de mina para la remoción de cobre se da en la semana 5 con una remoción total de 72% con 50 plantas y 83.08% con 100 plantas de *typha angustifolia*.

## REFERENCIAS

Albarrán, E; Camerino, B; Guzmán, M. 2006. Desarrollo de un sistema biológico para remover cobre de drenaje ácido de minas. Proyecto Iztapalapa. MX. Universidad Autónoma Metropolitana. 59 p.

APHA-AWWA-WEF. 2005. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21th Edition. New York, US, 4-90 a 4-94, method 4500-H+.

Balta, J. 2011. Pasivos Ambientales en Perú: Bombas de tiempo de las que nadie se hace responsable. CIPER. Santiago, CL, nov. 17. p 7-9.

Bros, T. 2006. Utilización de los sistemas pasivos para mejorar la calidad de las aguas en lagos mineros. Tesis. Dr. Oviedo. ES. Universidad de Oviedo. 230p.

Colin, B. 2011. Química Ambiental. 2 ed. ES. Reverté, S.A. 648p.

Devore, Jay (2008). "*Probabilidad y Estadística, para Ingeniería y Ciencias*", International Thomson Editores Séptima Edición. México.

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. *Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR), para el sector Vivienda. Ministerio del Ambiente - MINAM*. Perú.

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias.*  
Ministerio del Ambiente – MINAM. Perú.

Definición de ECA (Estándar de calidad ambiental). MINAM (2017), recuperado de:

<http://www.minam.gob.pe/estandares-de-calidad-ambiental/wp-content/uploads/sites/146/2017/06/Preguntas-frecuentes.pdf>

Delgadillo, O; Camacho, A; Pérez, L; Andrade, M. 2010. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. GOV-AGUA, ISBN: 978-99954 – 766 – 2 - 5. Cochabamba. BO. Universidad Nacional de San Simón. p. 50- 52.

EPA (U.S. Environmental Protection Agency). 1993. Guía para el diseño y construcción de un humedal construido con flujos subsuperficiales. (en línea) consultados el 11 de ago. 2014. Disponible en [http://www.epa.gov/owow/wetlads/pdf/Design\\_guia1993.pdf](http://www.epa.gov/owow/wetlads/pdf/Design_guia1993.pdf)

Farfán, G. 2012. Influencia del tiempo de retención del drenaje ácido de mina sobre la concentración de hierro total y sólidos suspendidos. Tesis. Mg Sc. Trujillo. PE. Universidad Nacional de Trujillo. 87p.

Gamonal, P. 2001. Tratamiento de drenaje ácido de mina en humedales construidos. PE. SEDAPAL. 2,1.10. 16 p. 70

IMCL-LIMEISA. 2005. Alternative options for passive treatment systems of acid coal mine drainage. EPM-IST- ECSC Agreement n° 7220- AF/ 015. (en línea). Consultado el 16 de

ago. 2014. Disponible <http://es.scribd.com/doc/91255519/Ciclo-HierroAmbientes-Organicos#download>.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. & Baptista Lucio, P. (2010). *Metodología de la Investigación*. 5ta Edición, McGraw-Hill / Interamericana Editores, Chile.

Hinojosa Mercedes (2002). *Drenaje ácido de San Quintín: estudio y alternativas de remediación*. Escuela Universitaria Politécnica de Almadén. España.

Lara, J. 1999. Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. Tesis Mg. Sc. Barcelona. ES. Universidad Politécnica de Cataluña. 122 p.

Leyva, R; Sánchez, M; Hernández, M; Guerrero, R. 2001. Remoción de metales pesados de solución acuosa por medio de Clinoptilolitas naturales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 17(3): 129- 136.

Muñoz y Zhang (2011). *Medios, oportunidades y gestión: la duración de los conflictos mineros en el Perú*. Lima: Consorcio de Investigación Económica y Social (CIES). Universidad del Pacífico. Perú.

Pérez (2018). *Los pasivos ambientales mineros y su influencia en la salud de la comunidad campesina el tingo, Hualgayoc, Cajamarca*. (Tesis pregrado). Universidad César Vallejo. Lima, Perú.

Oliás, M, Nieto, J, Sarmiento, A, Ruíz, C, (2010). *Contaminación minera de los ríos Tinto y Odiel*. Universidad de Huelva. España.

Sánchez Ibáñez (2010). *Minera San Nicolás*. Gerencia Regional de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente.

Walpole y Myers (2007). *Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias*"  
PRENTICE HALL, INC. Octava Edición. México.

# ANEXOS

**ANEXO N°1:**

**Ubicación de la extracción de drenaje ácido en mina**



**ANEXO N°2:**

**Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicas (D.S. N° 010-2010-MINAM)**

<b>LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA LA DESCARGA DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE ACTIVIDADES MINERO - METALÚRGICAS</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite en cualquier momento</b>	<b>Límite para el Promedio anual</b>
pH		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	0,2	0,16
Mercurio Total	mg/L	0,002	0,0016
Zinc Total	mg/L	1,5	1,2

**ANEXO N° :3**

**Drenaje ácido de la mina Culquirrumi – Hualgayoc donde crece la *Typha Angustifolia***





**ANEXO N° :4**

**Fosa de 1m de longitud por 1 m de ancho y 1m de profundidad para el sistema de tratamiento de aguas ácidas.**



**ANEXO N° :5**

**Toma de muestra del agua ácida en el proceso de fitorremediación con la typha *Angustifolia* para remoción de Cu – Fe.**

