

UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA VIDA



ESCUELA DE INGENIERÍA AMBIENTAL
PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO AMBIENTAL

**“DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE ALUMINIO POR LA ESPECIE
ELEOCHARIS ELEGANS (JUNQUILLO) Y SU ABSORCIÓN EN UN
HUMEDAL ARTIFICIAL MEDIANTE ANÁLISIS DE
ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA”**

AUTORES:

IBETH ALEXANDRA BURGOS TAPUY

JUAN CARLOS VALLEJO VALLEJO

DIRECTOR DEL PROYECTO:

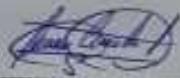
MSC. CARLOS RAÚL VALVERDE LARA

PUYO – ECUADOR

2019

DECLARACIÓN DE AUTORÍA DE LA INVESTIGACIÓN DE LOS ESTUDIANTES

Nosotros Ibeth Alexandra Burgos Tapuy y Juan Carlos Vallejo Vallejo estudiantes de la Universidad Estatal Amazónica de la carrera de Ingeniería Ambiental declaramos que la presente investigación es original, de nuestra autoría.



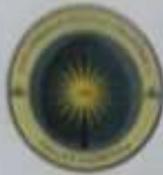
Juan Carlos Vallejo Vallejo

CI: 1600508327



Ibeth Alexandra Burgos Tapuy

CI: 1500591647



UNIVERSIDAD ESTATAL AMAZÓNICA
SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND



Oficio No. 082-SAU-UEA-2019

Puyo, 19 de julio de 2019

Por medio del presente **CERTIFICO** que:

El Proyecto de Investigación correspondiente a los egresados BURGOS TAPUY IBETH ALEXANDRA con C.I. 1500591647, y VALLEJO VALLEJO JUAN CARLOS con C.I. 1600508327, con el Tema: "Determinación de la remoción de aluminio por la especie *Eleocharis elegans* (Junquillo) y su absorción en un humedal artificial mediante análisis de espectrofotometría de absorción atómica", de la carrera Ingeniería Ambiental, Director de proyecto Dr. Carlos Raúl Valverde Lara, MSc, ha sido revisado mediante el sistema antiplagio URKUND, reportando una similitud del 2%, Informe generado con fecha 18 de julio de 2019 por parte del director, conforme archivo adjunto.

Particular que comunico a usted para los fines pertinentes

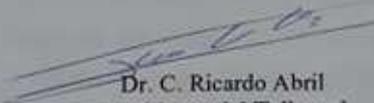
Atentamente,

Ing. Italo Marcelo Lara Pilco MSc.
ADMINISTRADOR DEL SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND - UEA - .

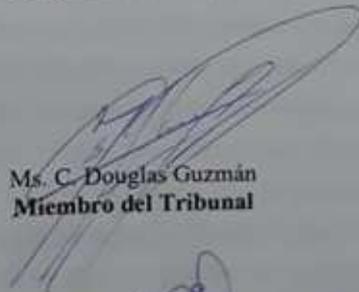
CERTIFICADO DE APROBACIÓN POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

El proyecto de investigación y desarrollo, titulado "DETERMINACIÓN DE LA REMOCIÓN DE ALUMINIO POR LA ESPECIE *ELEOCHARIS ELEGANS* (JUNQUILLO) Y SU ABSORCIÓN EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL MEDIANTE ANÁLISIS DE ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA" fue aprobado por los siguientes miembros del tribunal.

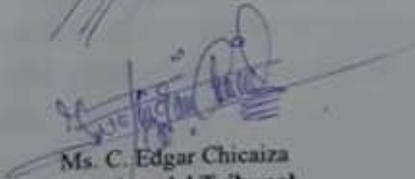
Para constancia firman:



Dr. C. Ricardo Abril
Presidente del Tribunal



Ms. C. Douglas Guzmán
Miembro del Tribunal



Ms. C. Edgar Chicaiza
Miembro del Tribunal

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser quien guía mi camino en cada paso dado durante toda la etapa vivida, por ser quien me llena de fuerza y convicción para cumplir mis metas.

A la Universidad Estatal Amazónica por acogerme en sus instalaciones y dotarme de conocimiento a través de sus catedráticos.

A mis docentes Msc. Carlos Raúl Valverde Lara y Ing. Ricardo Abril por haber trabajado y guiado en la elaboración de la presente investigación.

A mis hermanos y madre por haberme apoyado tanto económicamente como emocionalmente durante los 5 años de estudio.

A mi amiga y compañera de proyecto Ibeth Alexandra Burgos Tapuy quien me brindó durante la duración de carrera y ejecución del proyecto de investigación su amistad y apoyo incondicional.

Juan Vallejo Vallejo

Ante todo, le agradezco Dios por bendecirme, por guiarme a lo largo de mi vida, por ser mi fuerza y fortaleza día a día.

A mis abuelos Jorge y Carmela, a mi tía Carmen, por ser aquellos que siempre confiaron en mí, en mi capacidad.

A mi amigo y compañero Juan Vallejo por la amistad, apoyo y lealtad que me supo demostrar en estos cinco años de carrera universitaria.

Agradezco a los docentes de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Estatal Amazónica, por haberme impartido sus conocimientos en estos cinco años de carrera universitaria, al Ing. Ricardo Abril por su apoyo y de manera especial, al Msc. Carlos Raúl Valverde Lara tutor de proyecto de investigación, quien con su dedicación y paciencia nos ayudó a concluir satisfactoriamente el proyecto.

Ibeth Burgos

DEDICATORIA

Quiero dedicar toda la gloria a Dios por ser la guía de mi vida.
A mis hermanos y madre con quienes vivo por brindarme su apoyo incondicional durante el transcurso de mi etapa estudiantil; A mi hermano Telmo Roque Vallejo Vallejo en especial por haberme brindado su apoyo económico durante toda mi faceta de estudiante.

Juan Vallejo Vallejo

Este trabajo de investigación lo dedico en primera instancia a Dios, por ser mi creador y centro de inspiración.

A mi persona, por mi perseverancia, dedicación y amor a la carrera, por seguir adelante ante las adversidades y dificultades, por siempre mantener mis valores y principios.

A mi familia, por su confianza, amor, apoyo moral y sacrificio durante estos años; gracias a ustedes por no permitirme caer y creer en mí, en mis sueños y mis anhelos.

A todas las personas que formaron parte de mi vida estudiantil y formación profesional, y que han hecho que esta investigación se realice con éxito, en especial a aquellas personas que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Ibeth Burgos

RESUMEN

Este estudio se enfocó en determinar la capacidad de absorción del metal Aluminio presente en aguas residuales resultado de las actividades humanas con el uso de una especie macrófita. Se llevo a cabo la búsqueda de información en fuentes primarias y secundarias, el cual permitió el desarrollo de la investigación. Esta investigación pretende evaluar la capacidad de la especie *Eleocharis elegans* (Junquillo), en la remoción de Al; para el proceso de remoción de Aluminio se construyó humedales pilotos con sus respectivas réplicas (40 centímetros de largo, 21 centímetros de alto, 30 centímetros de ancho), los cuales abarcan 0,10 L/h de caudal. Además, después del trasplante de las especies *Eleocharis elegans* se llevó a cabo un control de crecimiento, coloración, entre otros aspectos. Se determino la eficiencia de especie macrófita *Eleocharis elegans* empleando el análisis de espectrofotometría de absorción atómica, el en cual se observó que el Al ingresado en los humedales y sus réplicas se redujo de la concentración I de 6,27 ppm a 1,18 – 1,77 – 1,94 ppm y concentración II de 17,03 a 3,38 – 2,38 y 3,05 en los humedales réplicas A1, A2, A3 y B1, B2, B3 respectivamente, dando una eficiencia de 73,% para la concentración I y 82,75% para la concentración II, aceptando las hipótesis planteadas.

Palabras claves: Eficiencia, fitodepuración, agua, muestreo, macrófita, metal

ABSTRACT

The aim of this study was to determine the capacity of absorption of the metal Aluminium with the use of macrophyte species on the residual water produced by human activities. There was a searching on primary and secondary sources, which enabled the development of this investigation. This research pretends to evaluate the capacity of species *Eleocharis elegans* (Junquillo) on removal Aluminium. For the removal process of Aluminium pilot wetlands were build with their respective réplicas (40 centimeters long; 21 cm. height, 30 cm. wide), which covered 0.10 L/h of the flow. Additionally, after the transplant of the species *Eleocharis elegans* a control of growing, coloring and other aspects was applied. The efficiency of the macrophyte species *Eleocharis elegans* was proven using the analysis of atomic absorption spectrophotometry, in which was observed that the Aluminium joined on the wetlands and their replicas was reduced from concentration I from 6.27 ppm to 1.18 – 1.77 – 1.94 ppm and concentration II from 17.03 to 3.38 – 2.38 - 3.05 on the replica wetlands A1, A2, A3 and B1, B2, B3, respectively. This gave an efficiency of 73% for the concentration I and 82.75% for the concentration II, which demonstrates the proposed hypothesis.

Keywords: Efficiency, phytodepuration, water, sampling, macrophyte, metal.

TABLA DE CONTENIDO

CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 JUSTIFICACIÓN	1
1.2. PROBLEMA.....	2
1.3 HIPÓTESIS	3
1.4 VARIABLES	3
1.5 OBJETIVOS.....	3
1.5.1 Objetivo general	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO II	4
2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	4
2.1 TRATAMIENTOS DE AGUA	4
2.2 FITODEPURACIÓN	4
2.3 MACRÓFITAS.....	4
2.4 FITORREMEDIACIÓN.....	4
2.4.1 Características	5
2.4.2 Tipos de fitorremediación	5
2.5 HUMEDALES ARTIFICIALES.....	5
2.5.1 Características	6
2.5.2 Funciones de los humedales artificiales	6
2.5.3 Tipos de humedales artificiales.....	7
2.5.4 Componentes del Humedal	8
2.6 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA	9
2.6.1 Descripción técnica Espectrofotometría de absorción atómica	9
2.7 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS	10
2.8 MARCO LEGAL	11
2.8.1 Constitución de la República del Ecuador.....	11
2.8.2 Acuerdo Ministerial 061 – REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA	12
CAPÍTULO III:.....	13
3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	13

3.1 LOCALIZACIÓN	13
3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN	13
3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	13
3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	14
3.4.1 Objetivo 1 Diseñar un humedal artificial piloto.	14
3.4.2 Objetivo 2 Determinar el Aluminio presente en el efluente mediante el análisis de espectrofotometría de absorción atómica.	17
3.4.3 Objetivo 3 Establecer la eficiencia de la especie <i>Eleocharis elegans</i> en la absorción Aluminio (Al) dentro del humedal artificial	22
3.5 MATERIALES	23
3.5.1 Herramientas	23
3.5.2 Materiales del humedal.....	23
3.5.3 Materiales para muestreo	23
3.5.4 Equipos y materiales de laboratorio	24
 CAPÍTULO IV.....	 25
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	25
4.1 OBJETIVO 1 DISEÑAR UN HUMEDAL ARTIFICIAL PILOTO.....	25
4.1.1 Resultados de cálculos de diseño:	25
4.1.2 Monitoreo de las especies y su adaptabilidad	27
4.2 OBJETIVO 2 DETERMINAR EL ALUMINIO PRESENTE EN EL EFLUENTE MEDIANTE EL ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.....	28
4.2.1 Resultados de análisis de las variables del afluente.....	28
4.2.2 Resultados del análisis de las variables el efluente	28
4.2.3 Análisis de espectrofotometría de Absorción atómica	29
4.2.4 Resultados de análisis de Al en el suelo mediante Método de Titulación	31
4.3 OBJETIVO 3 ESTABLECER LA EFICIENCIA DE LA ESPECIE <i>ELEOCHARIS ELEGANS</i> EN LA ABSORCIÓN ALUMINIO (AL) DENTRO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.....	32
4.3.1 Determinación de la eficiencia.....	32
 CAPÍTULO V.....	 34
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	34
5.1 CONCLUSIONES	34

5.2 RECOMENDACIONES	34
CAPÍTULO VI	35
6. BIBLIOGRAFÍA	35
CAPITULO VII.....	39
7. ANEXOS:.....	39

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1: Características de humedales de flujo subsuperficial	15
Tabla 2: Taxonomía de Junquillo de agua (<i>Eleocharis elegans</i>).	16
Tabla 3: Estándares	20
Tabla 4: Datos de consumo de NaOH	22
Tabla 5: Toma de pH y Temp. del hábitat natural y del hábitat artificial	27
Tabla 6: Medición de variables de muestras de agua de los H.A A0 y B0 del afluente	28
Tabla 7: Medición de pH.....	28
Tabla 8: Medición de conductividad	29
Tabla 9: Medición de Oxígeno disuelto	29
Tabla 10: Resultados de análisis mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica	30
Tabla 11: Resultado de $Al + 3 = Al + 3 + H + - H +$	31
Tabla 12: Resultado del análisis de agua H.A.1	32
Tabla 13: Resultado del análisis de agua H.A.2	32

ÍNDICE DE FIGURA

Figura 1: Delimitación del área de estudio	13
Figura 2: Diseño de humedal	14
Figura 3: <i>Eleocharis elegans</i>	15
Figura 4: Distribución de la especie	16
Figura 5: Diseño de humedal	25
Figura 6: humedales y sus respectivas réplicas	27
Figura 7: Detalle del sustrato utilizado.....	27
Figura 8: Resultados de análisis de espectrofotometría de absorción atómica de 10ppm.....	30
Figura 9: Resultados de análisis de espectrofotometría de absorción atómica de 20ppm.....	30

INDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1: Caudal	14
Ecuación 2 : TRH.....	15
Ecuación 3: Acidez intercambiable	21
Ecuación 4: Aluminio intercambiable	21
Ecuación 5: Eficiencia de remoción	22
Ecuación 6: Transformación a PMM.....	31

INDICE DE ANEXO

Anexo 1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público	39
Anexo 2: Límites de descarga para cuerpos de agua dulce	40
Anexo 3: Tabla de parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A 1	42
Anexo 4: Tabla de parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A 2	43
Anexo 5: Tipos de agua y su conductividad.....	44
Anexo 6: Tabla de resultados de determinación de acidez intercambiable.....	45
Anexo 7: Tabla de resultados de determinación de aluminio intercambiable.....	45
Anexo 8: Anexo Fotográficos de proyecto.....	46

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el aluminio tiene una amplia aplicación en las industrias alimenticia, farmacéutica, del papel y de la construcción, y en el tratamiento de agua para beber y agua residual. El aluminio es el tercer elemento más abundante de la corteza terrestre (8 %), después del silicio (27,7 %) y el oxígeno (46,6 %). En su estado natural nunca se encuentra libre, sino combinado con elementos como el oxígeno, el flúor y el silicio, formando así minerales (Torrellas, 2013). El aluminio se encuentra en el medio natural en la forma de la especie iónica Al^{3+} . En los suelos está combinado en minerales y rocas de aluminosilicatos (feldespatos, imogolita, caolinita), fosfatos (variscita), sulfatos (jurbanita) e hidróxidos (gibbsita); Es liberado al medio por procesos naturales, procesos de erosión del suelo y erupciones volcánicas y por acciones antropogénicas. El incremento de uso de metales y sustancias químicas en los procesos industriales ha resultado en la generación de grandes cantidades de efluentes acuíferos que contienen bajos y altos niveles de contaminantes orgánicos e inorgánicos, lo cual ocasiona severos daños a la vida acuática, además de que elimina microorganismos durante los tratamientos biológicos de aguas residuales, lo que, a su vez, ocasiona que el proceso de purificación decaiga. Mencionado lo anterior, las sales de estos metales pesados son solubles en agua y, en consecuencia, no pueden ser separadas por métodos ordinarios (Álvarez, Acevedo, & Severiche, 2014). Por lo cual la fitodepuración pretende depurar aguas contaminada por medio de plantas macrófitas en humedales artificiales o sistemas acuáticos.

1.1 JUSTIFICACIÓN

Las aguas naturales no tratadas pueden presentar cantidades significativas de aluminio, provenientes de la meteorización de las rocas y minerales, y de la acidificación de los suelos. La concentración del ión Al^{3+} en las aguas es mucho mayor que la de otros cationes biológicamente importantes como el Mg^{2+} , Fe^{3+} o Zn^{2+} . El aluminio no es un elemento esencial para los organismos vivos de los ecosistemas y se ha encontrado que es un agente tóxico (Torrellas, 2013).

Aunque la solubilidad del aluminio en agua es muy baja, la acidificación del suelo, por efecto de la migración del aluminio presente en los sedimentos a los cuerpos de agua, se ha determinado que cuando este elemento alcanza aguas superficiales y subterráneas se observa una disminución de peces y anfibios, debido, entre otros efectos, a que los iones de aluminio pueden reaccionar con los fosfatos, impidiendo su disponibilidad para los organismos

acuáticos. También, los pájaros y otros animales que se alimentan de peces contaminados sufren las secuelas de su toxicidad. La acumulación de aluminio en las plantas causa problemas de salud a los animales que las consumen, constituyendo la entrada de este elemento a las cadenas tróficas terrestres. La presencia de altas concentraciones de aluminio en los suelos, tanto de origen natural como antropogénico, representa un factor ecológicamente significativo.

En la Amazonia en especial la Provincia de Pastaza, según (C & Pérez, 2009) la mayoría de los suelos corresponde al orden Inceptisoles, caracterizados por una baja fertilidad, alta acidez y toxicidad causadas por el aluminio, deficiencia de fósforo, además de problemas físicos, estructura no definida y alta saturación de humedad, lo que provoca una gran acumulación de materia orgánica de baja calidad (C & Pérez, 2009).

La fitorremediación y la ósmosis inversa son métodos para la eliminación del aluminio del agua; los humedales artificiales pertenecen al sistema de fitorremediación por lo cual la importancia y trascendencia de los humedales artificiales, radica fundamentalmente en que son una alternativa viable y sustentable para la depuración de aguas residuales de tipo industrial, agropecuaria y doméstica. Su implementación tiene un menor costo en comparación con los sistemas de tratamiento convencional, son amigables con el entorno paisajístico, no generan subproductos nocivos y se adaptan a las condiciones tanto climáticas como urbanas (Luna & Aburto, 2014). Los humedales artificiales son sistemas de tratamiento de aguas residuales, que se basan en la absorción de contaminantes generados de forma natural y antrópica. El presente proyecto tiene como finalidad investigar la capacidad de la especie *Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult. en la absorción de un metal pesado como el aluminio (Al) presentes en aguas residuales dentro de un humedal artificial; los resultados de la investigación realizada permitirán conocer si la especie (*Eleocharis elegans*) es una especie apta para la absorción de Al para la implementación en humedales artificiales.

1.2. PROBLEMA

El agua ya sea para uso doméstico o industrial, está siendo punto de contaminación lo que genera problemas y deterioro del ambiente; a consecuencia de la existencia de vertidos directos de aguas alteradas y contaminadas con metales sin previo tratamiento, además por la falta de aplicación de nuevas tecnologías ambientalmente eficientes para la recuperación del agua y suelo.

La presencia de Al en el agua por efecto de la migración del mismo presente en los sedimentos a los cuerpos de agua, alcanza aguas superficiales y subterráneas alterando la vida acuática y limitando el crecimiento de las plantas; el Aluminio (Al) al ser un metal pesado no puede ser degradado, pero si absorbido, por el cual se ve la necesidad de incorporar tratamientos que puedan absorber el (Al) presente en el agua.

1.3 HIPÓTESIS

Hipótesis de la investigación

1. La especie *Eleocharis elegans* (Junquillo) absorberá el metal Aluminio de las aguas con diferentes concentraciones de éste, generando la disminución de concentración.
2. El tratamiento biológico por humedales artificiales con el uso de la macrófita *Eleocharis elegans* mediante análisis de espectrofotometría de absorción atómica, revelará una disminución del metal aluminio (Al) existente en el agua.

1.4 VARIABLES

Variable independiente

El tratamiento biológico por humedales artificiales con el uso de la macrófita *Eleocharis elegans*

Variable dependiente

Concentración de los parámetros

- Potencial Hidrogeno (pH)
- Conductividad Eléctrica (CE)
- Oxígeno disuelto (OD)
- Aluminio (Al)

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo general

Determinar la remoción de Aluminio por la especie *Eleocharis elegans* (Junquillo) y su absorción en un humedal artificial mediante análisis de Espectrofotometría de absorción atómica.

1.5.2 Objetivos específicos

- Diseñar un humedal artificial piloto.
- Determinar el Aluminio presente en el efluente mediante el análisis de espectrofotometría de absorción atómica.
- Determinar la eficiencia de la especie *Eleocharis elegans* en la absorción Aluminio (Al) dentro del humedal artificial.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 TRATAMIENTOS DE AGUA

El tratamiento de agua es un conjunto de operaciones de carácter físico, químico o biológico que tiene como finalidad la eliminación o reducción de la contaminación o características no deseables de las aguas (Muñoz, 2010).

2.2 FITODEPURACIÓN

La fitodepuración, en este caso, se refiere a la depuración de aguas contaminadas por medio de plantas superiores (macrófitas) en los humedales o sistemas acuáticos, ya sean estos naturales o artificiales. El término macrófitas, dado su uso en el lenguaje científico, abarca a las plantas acuáticas visibles a simple vista, incluye plantas acuáticas vasculares, musgos, algas y helechos. Constituyen fitosistemas, porque emplean la energía solar a través de la fotosíntesis. Básicamente, se trata de captar la luz solar y transformarla en energía química, que es usada en su metabolismo para realizar funciones vitales. Al realizar la planta sus funciones vitales, colabora en el tratamiento de las aguas (Zapata, 2014).

2.3 MACRÓFITAS

Debido a la habilidad que tienen las macrófitas acuáticas para asimilar hasta cierto punto, todos los constituyentes del agua considerados como contaminantes, estas se han empleado en la detección y remoción de sustancias en efluentes de aguas residuales domésticas e industriales. El uso de las plantas acuáticas en tratamientos secundarios y terciarios de aguas residuales, han demostrado ser eficientes en la remoción de una amplia gama de sustancias orgánicas, así como nutrientes y metales pesados (Martelo. & Lara, 2012).

2.4 FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es un proceso de descontaminación que involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta.

Conjunto de métodos para remover o tratar metales pesados y compuestos orgánicos por medio de la utilización de plantas. Es el empleo de vegetación in situ de suelos, sedimentos y aguas contaminadas.

2.4.1 Características

La fitorremediación emplea plantas para eliminar la contaminación del medio ambiente; las plantas ayudan a eliminar muchos tipos de contaminantes como metales, plaguicidas, explosivos y el petróleo en el suelo y aguas subterráneas. Las plantas también contribuyen a impedir que el viento, la lluvia y las aguas subterráneas extiendan la contaminación a otras zonas. La fitorremediación es más eficaz en los sitios donde hay baja concentración de contaminantes.

La fitorremediación aprovecha procesos naturales de las plantas. Requiere menos equipamiento y trabajo que otros métodos ya que las plantas hacen la mayor parte de las tareas. Además, los árboles y las plantas pueden hacer más atractivos los sitios. Se puede limpiar un sitio sin necesidad de cambiar el suelo contaminado ni extraer el agua subterránea contaminada por bombeo (Muñoz, 2010).

2.4.2 Tipos de fitorremediación

Existen varios tipos de remediación de aguas y suelos contaminados basados en la utilización de especies vegetales:

- Fitoextracción
- Rizofiltración
- Fitoestimulación
- Fitoestabilización
- Biotransformación
- Humedal artificial

Los humedales artificiales sirven para una amplia gama de contaminantes orgánicos e inorgánicos.

2.5 HUMEDALES ARTIFICIALES

Los humedales artificiales son sistemas de fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. La acción de las macrófitas hace posible una serie de complejas interacciones físicas, químicas y biológicas a través de las cuales el agua residual afluyente es depurada progresiva y lentamente (Zapata, 2014).

Los humedales artificiales están específicamente contruidos con el propósito de controlar la contaminación del agua, han recibido gran cantidad de nombres en las distintas partes del mundo donde han sido usados. En depuración de aguas residuales, generalmente se consideran humedales aquellos sistemas que usan macrófitas. Son diseñados para imitar los

procesos que ocurren en los pantanos naturales, en consecuencia, utilizan plantas y suelo propios de pantanos.

Las macrófitas acuáticas son el principal componente en la mayoría de humedales de tratamientos de aguas contaminadas. Los sistemas de depuración basados en macrófitas consisten generalmente en un monocultivo o policultivo de macrófitas, dispuestos en estanques, lagunas o zanjas poco profundas y con un tiempo de retención superior al de los sistemas convencionales. La elección del tipo de planta depende de su adaptabilidad al clima de la región, de su capacidad de transporte de oxígeno de la superficie a la rizosfera, de su tolerancia a altas concentraciones de contaminantes, así como de su capacidad de asimilarlo, de su alta presencia en la zona donde se va a instalar el sistema, de la facilidad para recolectarlas y posterior transporte y su fácil autogeneración. La eliminación de metales pesados en humedales artificiales es el resultado de diferentes procesos biogeoquímicos, que incluyen procesos aeróbicos y anaeróbicos en la columna de agua, en la superficie de plantas vivas y en descomposición, y en el sustrato (Muñoz, 2010).

2.5.1 Características

- Sustrato casi siempre artificial o muy modificado
- Vegetación implantada
- Especies vegetales elegida según el tipo y función del humedal
- Afluentes líquidos contaminados con diversos productos
- Gestión de la vegetación (Podas periódicas, extracción y cambio de pies, etc.)
- Gestión del sustrato (limpieza, adición de fertilizante, adición de componente del sustrato para su renovación, etc.)

2.5.2 Funciones de los humedales artificiales

Los humedales tienen tres funciones básicas que les confieren atractivo potencial para el tratamiento de aguas residuales: fijan físicamente los contaminantes en la superficie del suelo y la materia orgánica, utilizan y transforman los elementos por medio de los microorganismos y logran niveles de tratamiento consistentes con un bajo consumo de energía y poco mantenimiento.

2.5.3 Tipos de humedales artificiales

Considerando la forma de vida de las macrófitas, los humedales artificiales pueden ser clasificados en:

- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas de hojas flotantes: principalmente angiospermas sobre suelos anegados. Los órganos reproductores son flotantes o aéreos.
- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas sumergidas: comprenden algunos helechos, numerosos musgos y carófitas y muchas angiospermas. Se encuentran en toda la zona fótica (a la cual llega la luz solar), aunque las angiospermas vasculares sólo viven hasta los 10 m de profundidad aproximadamente. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos.
- Sistemas de tratamiento basados en macrófitas enraizadas emergentes: en suelos anegados permanente o temporalmente; en general son plantas perennes, con órganos reproductores aéreos (Zapata, 2014).

Existen dos tipos de Humedales específicos que se diferencian según sea el sistema de circulación de las aguas, si hay o no la presencia de una superficie libre de agua en contacto con la atmosfera, y son los siguientes:

- Humedales de flujo libre o FWS
- Humedales subsuperficiales, VSB O SFS

Humedales de flujo libre o FWS

La superficie del agua está expuesta a la atmosfera, las plantas acuáticas están enraizadas en el fondo del humedal y el flujo de agua se hace a través de las hojas y tallos de las plantas.

Algunas características:

- Flujo de circulación del agua, en lámina libre sobre un lecho en que enraízan los vegetales del humedal.
- Son más frecuentes
- Menor coste de instalación
- Hidráulica sencilla
- Tiene gran parte de las propiedades de los humedales naturales
- Favorecen la vida animal
- Las bajas temperatura provocan descensos en el rendimiento

Humedales subsuperficiales, VSB O SFS

La lámina de agua no es visible, y el flujo atraviesa un lecho relleno de arena, grava o suelo, en donde crecen plantas, que solo tienen las raíces y rizomas en contacto con el agua. Tiene

la ventaja de no producir olores ni mosquitos y de ocupar menos terreno, pero los procesos en su interior son anaerobios.

Algunas características:

- Flujo sumergido, a través de un medio granular
- Hidráulica más complicada
- Son menos frecuentes
- Tratamiento más eficaz
- Necesita poco espacio
- Flujo oculto
- Sin olores
- Soportan bien temperaturas bajas
- Son un poco más caros que los FWS
- Pocos problemas con la fauna

2.5.4 Componentes del Humedal

Los humedales construidos consisten en el diseño correcto de una cubeta que contiene agua, sustrato, y plantas acuáticas, otros componentes importantes de los humedales, como las comunidades de microorganismos y los invertebrados acuáticos, se desarrollan naturalmente.

- **Agua**

La hidrología es el factor de diseño más importante en un humedal artificial, porque reúne todas las funciones del humedal y porque es a menudo el factor primario en el éxito o fracaso del sistema de tratamiento.

- **Sustrato**

Los sustratos en los humedales artificiales incluyen suelo, arena, grava, roca y materiales orgánicos como el compost. 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.

- **Vegetación**

El mayor beneficio de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de la raíz. Su sistema físico permite la penetración a la tierra o medio de apoyo y transporta el oxígeno de manera más profunda, de lo que llegaría naturalmente a través de la sola difusión.

- **Microorganismos**

Las funciones de los humedales son reguladas principalmente por los microorganismos y su metabolismo. En los microorganismos se incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios; la biomasa microbiana consume gran parte del carbono orgánico y muchos nutrientes.

Humedales de flujo subsuperficial de flujo horizontal

Los humedales de flujo subsuperficial se encuentran formados por una o más cuencas o canales de poca profundidad de fondo recubiertos para prevenir la percolación. El tipo de recubrimiento depende de las condiciones del suelo en el cual se vaya a construir el humedal. En este tipo de humedales el agua fluye por debajo de la superficie de un medio poroso sembrado de plantas emergentes. La vegetación es semejante a la de los humedales superficiales y requiere un mantenimiento anual. El agua residual circula a través del medio poroso y siempre por debajo de la superficie del mismo. Como medio poroso, se suele utilizar rocas o grava. La circulación del agua a través del suelo o material de soporte presenta mayor efectividad que la circulación de superficie durante el paso del agua residual a través del lecho poroso, se produce un contacto con zonas aerobias, anóxicas y anaerobias. La zona aerobia se encuentra en las zonas muy cercanas a la superficie y alrededor de las raíces y rizomas de las plantas. Los microorganismos que degradan la materia orgánica se encuentran formando una biopelícula alrededor de la grava y de las raíces de las plantas. En este tipo de sistemas el agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas. La recogida del agua depurada se realiza en la parte inferior del lado opuesto al de la alimentación (García & Ludizaca, 2017).

2.6 ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

La espectrofotometría de absorción atómica, es una técnica instrumental en la cual, los átomos presentes en la llama absorben parte de la radiación, por lo tanto, la señal disminuye y ese dato es lo que mide el detector, el cual posteriormente es transformado en una concentración. De acuerdo con la medición de la cantidad de luz absorbida, se puede hacer una determinación cuantitativa de la cantidad de analito. El uso de fuentes de luz especiales y una cuidadosa selección de las longitudes de onda permiten determinar elementos específicos (Pérez & Alvarado, 2018).

2.6.1 Descripción técnica Espectrofotometría de absorción atómica

La técnica de Espectrofotometría de absorción atómica con llama se la detalla de la siguiente manera: la muestra en forma líquida es absorbida a través de un tubo capilar y conducida a

un nebulizador donde esta se descompone y forma un rocío o pequeñas gotas de líquido. Las gotas formadas son conducidas a una llama, donde se produce una serie de sucesos que originan la formación de átomos. Dichos átomos absorben cualitativamente la radiación emitida por la lámpara y la cantidad de radiación absorbida está en función de su concentración. La señal de la lámpara una vez que pasa por la llama llega a un monocromador, que tiene como finalidad de separar todas las señales que acompañan la línea de interés. Esta señal de radiación electromagnética llega a un detector o transductor y pasa a un amplificador y por último a un sistema de lectura (Gonzaga, 2016).

2.7 DETERMINACIÓN DE ACIDEZ Y ALUMINIO INTERCAMBIABLE EN SUELOS

La determinación de la acidez intercambiable se basa en el uso de una sal neutra como el Cloruro de Potasio (KCl) con un ión desplazante (K^+) el cual provoca que los iones ácidos (Aluminio (Al^{3+}) e Hidronios (H^+)) pasen a la solución. Esta acidez es luego titulada con una solución básica, de modo que la cantidad de acidez será igual a la cantidad de base usada entre los puntos de neutralización con fenolftaleína. Para determinar la cantidad de acidez que corresponde al Aluminio, se procede a realizar una retrotitulación con una solución ácida. En este caso, se añade Fluoruro de Potasio (KF) al 4 % para disolver los hidróxidos de aluminio ($Al(OH)_3$) formados previamente, los cuales, luego de la reacción, liberan iones hidroxilo (OH^-) al medio que son titulados con ácido clorhídrico (HCl).

2.7.1 Acidez intercambiable

La acidez intercambiable es aquella producida por H^+ retenidos por enlaces iónicos en las moléculas que aportan acidez al suelo, por disociación del grupo ácido de la materia orgánica y por hidrólisis causada por cationes metálicos. La acidez intercambiable está conformada por los iones Al^{3+} , $Al(OH)^{2+}$, $Al(OH)^{+}$, que son retenidos por fuerzas electroestáticas en los coloides. La acidez por aluminio surge en pH menor a 6, cuando el Al^{3+} de las láminas octaédricas de las arcillas se vuelven inestable y es absorbido como Al^{3+} intercambiable (Posada, 2016).

Se ha comprobado que en algunos suelos el Al^{3+} intercambiable es el catión dominante asociado con la acidez del suelo. Por tanto, en estos suelos la acidez intercambiable está formada por $Al^{3+} + H^+$ en diferentes proporciones. La acidez intercambiable en los suelos es el resultado de la presencia de hidrógeno (H^+) y Aluminio (Al^{3+}) que causan una disminución en el pH. La alta concentración de Al^{3+} genera toxicidad para las plantas, además de tener un efecto negativo sobre las propiedades químicas del suelo como

solubilización, disponibilidad y absorción de nutrimentos, físicas como estructura y estabilidad de agregados y biológicas como tipo de organismos presentes en el suelo, ocasionando así una reducción en el crecimiento de las raíces lo cual afecta en forma negativa el crecimiento del cultivo. También reduce la calidad de las cosechas e induce deficiencias nutricionales de: Ca, Mg, P, S y Zn entre otros, por lo cual es indispensable conocer la acidez intercambiable de los suelos y relacionarla con el pH, textura y materia orgánica entre otros (Oliva, 2009).

2.8 MARCO LEGAL

2.8.1 Constitución de la República del Ecuador

En la constitución de la República del Ecuador se establece en el Título II de Derechos en el Capítulo segundo sobre derechos de buen vivir en la Sección segunda sobre Ambiente sano, en los artículos 14 y 15 se menciona lo siguiente:

Art. 14.- Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*.

Art. 15.- El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. La soberanía energética no se alcanzará en detrimento de la soberanía alimentaria, ni afectará el derecho al agua.

En el Capítulo séptimo de derechos de la naturaleza en el artículo 71 se menciona que:

Art. 71.- La naturaleza o *Pacha Mama*, donde se reproduce y realiza la vida, tiene derecho a que se respete integralmente su existencia y el mantenimiento y regeneración de sus ciclos vitales, estructura, funciones y procesos evolutivos.

En el Título VII sobre régimen de buen vivir en el Capítulo segundo sobre Biodiversidad y Recursos Naturales, en su Sección quinta sobre Suelo en los artículos 409 y 411 establece lo siguiente:

Art. 409.- Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.

Sección sexta Agua

Art. 411.- El Estado garantizará la conservación, recuperación y manejo integral de los recursos hídricos, cuencas hidrográficas y caudales ecológicos asociados al ciclo hidrológico. Se regulará toda actividad que pueda afectar la calidad y cantidad de agua, y el

equilibrio de los ecosistemas, en especial en las fuentes y zonas de recarga de agua (Asamblea Constituyente de Montecristi, 2008).

2.8.2 Acuerdo Ministerial 061 – REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO

UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA

Según el Acuerdo Ministerial 061 en el Capítulo VIII sobre Calidad de los componentes Bióticos y Abióticos, en su sección II de Calidad de Componentes Bióticos, en el Parágrafo 1 del agua, menciona en sus artículos del 209, 210 y 211 respectivamente lo siguiente:

Art. 209 De la calidad del agua: Son las características físicas, químicas y biológicas que establecen la composición del agua y la hacen apta para satisfacer la salud, el bienestar de la población y el equilibrio ecológico. La evaluación y control de la calidad de agua, se la realizará con procedimientos analíticos, muestreos y monitoreos de descargas, vertidos y cuerpos receptores; dichos lineamientos se encuentran detallados en el Anexo I.

En cualquier caso, la Autoridad Ambiental Competente, podrá disponer al Sujeto de Control responsable de las descargas y vertidos, que realice muestreos de sus descargas, así como del cuerpo de agua receptor.

Toda actividad antrópica deberá realizar las acciones preventivas necesarias para no alterar y asegurar la calidad y cantidad de agua de las cuencas hídricas, la alteración de la composición físico-química y biológica de fuentes de agua por efecto de descargas y vertidos líquidos o disposición de desechos en general u otras acciones negativas sobre sus componentes, conllevará las sanciones que correspondan a cada caso

Art. 210 Prohibición. - De conformidad con la normativa legal vigente en el literal b: se prohíbe la descarga y vertido que sobrepase los límites permisibles o criterios de calidad correspondientes establecidos en este Libro, en las normas técnicas o anexos de aplicación.

Art. 211 Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. - La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados (Ministerio del Ambiente, 2015).

2.8.3 TABLAS DE NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA

LIBRO VI ANEXO 1

Ver Anexo 1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Ver Anexo 2: Límites de descarga para cuerpos de agua dulce

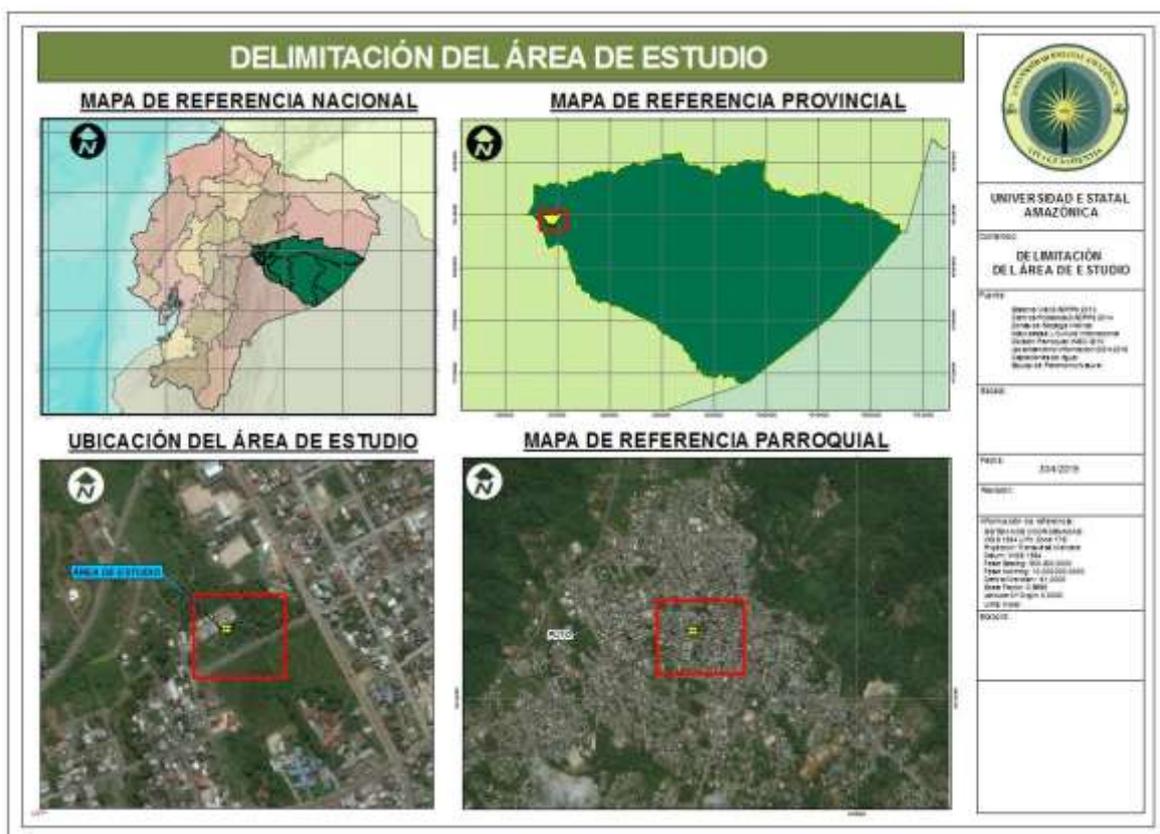
CAPÍTULO III:

3. MATERIALES Y MÉTODOS

A continuación, se presenta la metodología que se desarrollará en el proyecto.

3.1 LOCALIZACIÓN

El presente trabajo de investigación se realizó en el conjunto Social Esperanza en el barrio Miraflores del Cantón y Provincia Pastaza en las siguientes coordenadas UTM 832666.156 E -9835554.185 que cuenta con una altura de 950 msnm, temperatura media de 21,4°C y una precipitación media aproximada de 5120,2 mm (INAMHI, 2014).



**Figura 1: Delimitación del área de estudio
Elaborados por (Burgos & Vallejo, 2019)**

3.2 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La presente investigación desarrollada es de tipo experimental ya que pretende conocer por medio de análisis atómico si la especie (*Eleocharis elegans*) puede absorber metales pesados como Aluminio (Al) dentro de un humedal artificial y descriptivo debido a que se detallarán las características de especie en la absorción del metal.

3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Los métodos de investigación a realizar será el descriptivo ya que los resultados obtenidos se interpretarán y analizarán en referencia a los objetivos planteados.

3.4 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

3.4.1 Objetivo 1 Diseñar un humedal artificial piloto.

En el proceso de diseño del humedal se tomó en consideración las medidas implementadas por (Chiriboga, 2016) en fitorremediación usando la especie *Eleocharis elegans*, donde obtuvo una eficiencia del 60% en un humedal artificial con dimensiones de 52 cm de ancho, 115 de largo y 62 cm de profundidad para un caudal de 0,423 L/s; por lo cual se propone trabajar con las dimensiones expresadas en la (figura 2) tomando en cuenta que la presente investigación se realizará en humedales pilotos.

Selección de dimensiones del H.A según las consideraciones de los autores.

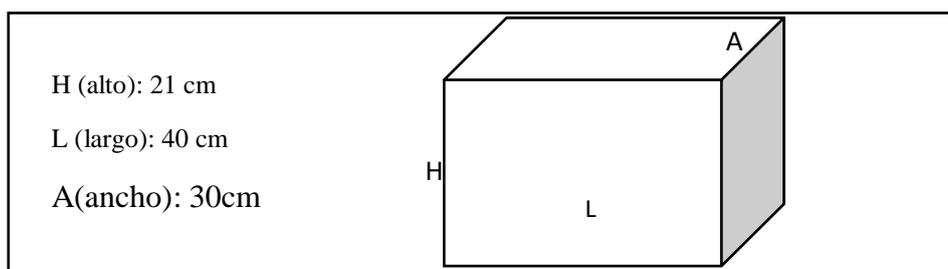


Figura 2: Diseño de humedal

Elaborado por: Autores

Estratos:

- 4 cm materia orgánica
- 8 cm de triturado de 4cm
- 4 cm de triturado de 1cm

Fórmulas para el cálculo de Caudal y Tiempo de retención hidráulica:

- Para calcular el volumen del efluente que requiere el H.A se utilizó el método volumétrico que consta en:
 - Llenado del recipiente
 - Medición de la cantidad de efluente que ingresa en el recipiente

Adicional se toma el tiempo (T) para determinar el caudal (Q)

$$Q = \frac{V}{T}$$

Ecuación 1: Caudal

Q: Caudal

V: Volumen

T: Tiempo

- Según (Lara B. J., 1999) se puede utilizar la siguiente fórmula para determinar el tiempo de retención:

$$TRH = \frac{LWyn}{Q} \quad \text{Ecuación 2 : TRH}$$

L: Largo (m)

W: Ancho (m)

y: profundidad (m)

n: porosidad o espacio utilizado por el agua para fluir a través del H.A. La porosidad es un porcentaje y se expresa en forma decimal (Ver Tabla 1).

Q: caudal

Tabla 1: Características de humedales de flujo subsuperficial

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad, n (%)	Conductividad hidráulica, Ks(m ³ /m ² /d)
Arena gruesa	2	28-32	100-1.000
Arena gravosa	8	30-35	500-5.000
Grava fina	16	35-38	1.000-10.000
Grava media	32	36-40	10.000-50.000
Roca gruesa	128	38-45	50.000-250.000

Fuente: Lara, 1999.

El diseño pretende generar un tiempo de retención hidráulico óptimo, que garantice que la especie a usar pueda realizar la fitorremediación al actuar absorbiendo el Al; por lo cual se considera el parámetro de diseño de humedal subsuperficial de flujo horizontal de (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) los cuales establecen que un intervalo de 4 a 15 días como tiempo de retención hidráulico.

Selección de especie

En la presente investigación se trabajó con la especie acuática Junquillo de agua (*Eleocharis elegans*) misma que intervendrá en la remoción de Aluminio (Al) ya que la planta se desarrolla en pantanos contaminados.



Figura 3: *Eleocharis elegans*

Elaborado por: Autores

Morfología y características de la especie *Eleocharis elegans*

La especie (*Eleocharis elegans* (Kunth) Roem. & Schult.) perteneciente a la familia Cyperaceae, es una hierba acuática y subacuática; presenta tallo verde, rectos, tubulares y huecos con membranas frágiles por dentro que se rompen al presionarlos, llegan a medir hasta un metro altura, además su inflorescencia es una pequeña espiguilla solitaria densa y corta de color café, situada en la punta del tallo (Chiriboga, 2016).

Tabla 2: Taxonomía de Junquillo de agua (*Eleocharis elegans*).

Reino	Plantae
Subreino	Traqueobionta
Superdivisión	Spermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Subclase	Commelinidae
Orden	Cyperales
Familia	Cyperaceae
Género	Eleocharis
Especie	Elegans
Nombre Científico	<i>Eleocharis elegans</i> . (Kunth) Roem. & Schult
Nombre Común	Junquillo de agua, Fosforito
Distribución	Amazonia

Elaborado por: Autores

Trasplante y distribución de la especie

La especie fue tomada con raíz y materia orgánica para garantizar su rápida adaptación en su nuevo hábitat, el cual presenta condiciones normales. En cada uno de los humedales se implantó seis plantas de *Eleocharis elegans* con una separación de 10 cm de ancho y 6 cm de entre planta de la siguiente manera ver (Fig. 4)

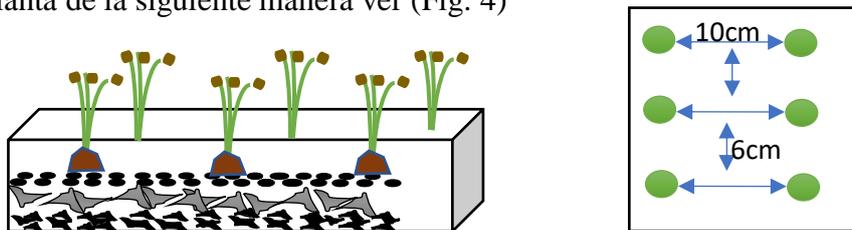


Figura 4: Distribución de la especie

Elaborado por: Autores

Monitoreo de las especies

Para el monitoreo de cada uno de los humedales implementados, se consideró monitorear la temperatura, el clima (lluvia o sol), el color de las plántulas, el crecimiento de la raíz, los individuos vivos, nuevos y muertos. Para ellos se estableció una tabla de datos en la cual se registró los datos monitoreados por semana durante los meses abril y mayo antes y posterior al ingreso de las soluciones con presencia de Aluminio.

3.4.2 Objetivo 2 Determinar el Aluminio presente en el efluente mediante el análisis de espectrofotometría de absorción atómica.

Calculo y preparación de soluciones

Realizado los cálculos correspondientes, se procede a realizar la medición de los pesos en gramo de $Al_2(SO_4)_3$ a utilizar en la solución que contendría 10 ppm y 20 ppm de Sulfato de Aluminio según los datos obtenidos en la etiqueta del fabricante del producto con los cuales se calculó la cantidad de aluminio de contiene cada gramo de $Al_2(SO_4)_3$.

17% de Al_2O_3 Bauxita

$$Al = 26,9 \text{ g} \times 2 = 53,8 \text{ g}$$

$$O = 15,9 \text{ g} \times 3 = 47,7 \text{ g}$$

$$Al_2O_3 = 101,96$$

10PPM de Al en 8 litros de agua solución (A)

$$10 \text{ g} \frac{Al}{l} * \frac{101,96 \text{ g } Al_2O_3}{53,8 \text{ g } Al} * \frac{1 \text{ g } Al_2(SO_4)_3}{0,17 \text{ g } Al_2O_3} = 111,48 \text{ mg } Al_2(SO_4)_3/l$$

$$8 \text{ l} * \frac{111,48 \text{ mg } Al_2(SO_4)_3}{1 \text{ l}} = 891,84 \text{ mg} \quad (0,891 \text{ g})$$

20PPM de Al en 8 litros de agua solución (B)

$$20 \text{ g} \frac{Al}{l} * \frac{101,96 \text{ g } Al_2O_3}{53,8 \text{ g } Al} * \frac{1 \text{ g } Al_2(SO_4)_3}{0,17 \text{ g } Al_2O_3} = 222,96 \text{ mg } Al_2O_3 /l$$

$$8 \text{ l} * \frac{222,96 \text{ mg } Al_2(SO_4)_3}{1 \text{ l}} = 1,78 \text{ mg} \quad (1,78 \text{ g})$$

Preparación de las soluciones para las réplicas (A)

Una vez calculado la cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ que contiene 10PPM de Al.

Se pesa 0,891g de $Al_2(SO_4)_3$ en la balanza de laboratorio en gramos que corresponde a 10 PPM de Al en 8 litros de agua. A continuación, se coloca 8 litros de agua en un recipiente y se deposita los 0,891g de $Al_2(SO_4)_3$ mezclándolo hasta que esté totalmente diluido para luego depositarlo en el humedal artificial en el recipiente A1.

Se repite el procedimiento para las réplicas A2 y A3.

Preparación de las soluciones para las réplicas (B)

Una vez calculado la cantidad de $Al_2(SO_4)_3$ que contiene 20PPM de Al.

Se pesa 1,78g de $Al_2(SO_4)_3$ en la balanza de laboratorio en gramos que corresponde a 20 PPM de Al en 8 litros de agua. A continuación, se coloca 8 litros de agua en un recipiente y se deposita los 1,78g de $Al_2(SO_4)_3$ mezclándolo hasta que esté totalmente diluido para luego depositarlo en el humedal artificial en el recipiente B1.

Se repite el procedimiento para las réplicas B2 y B3.

Análisis de laboratorio en el Laboratorio

Toma de muestra de para análisis en el laboratorio.

Una vez transcurrido el tiempo de retención hidráulica en los H.A. (A) y H.A.(B) se procede a tomar 6 muestras de agua en envase plástico de 125mL de las tres réplicas del H.A.(A) réplicas (A1, A2, A3) y de las tres réplicas del H.A.(B) (B1, B2, B3).

Se obtiene seis envases plásticos transparentes de 100mL y se etiqueta.

Etiquetado

- Identificación de las muestras H.A. (A) en sus tres réplicas (A1, A2, A3) y H.A.(B) con sus respectivas réplicas (B1, B2, B3).
- Fecha de la toma de la muestra
- Responsable de la toma de muestra
- Localización: Provincia, cantón y parroquia

Las muestras fueron transportadas al laboratorio el mismo día y hora de la toma de muestra para su respectivo análisis.

Métodos para análisis de variables

Para las variables como pH, conductividad eléctrica, Oxígeno disuelto y concentración de Aluminio se tomaron métodos analíticos del libro Standard Methods For the Examination of Water and Wasterwater edición 22.

Toma de pH - 4500-H B. Método Electrométrico

Procedimiento:

Se calibra el equipo retirando el electrodo de la solución de almacenamiento, para ellos se lo enjuaga con agua destilada y seca con un paño suave. Ya calibrado, se sumerge el electrodo dentro de la muestra fresca evitando que aparezcan burbujas. Se espera unos segundos para que el pH-metro de lectura y leer el pH obtenido. Después del uso del electrodo se enjuaga con agua destilada y seca con un paño suave devolviéndolo a la solución de almacenamiento (Rice, Baird, Eaton, & Clesceri, 2012).

Conductividad - 2510 conductividad - 2510 B. Método de laboratorio

Procedimiento:

Se enjuaga la sonda con agua destilada y se seca con paños suaves, después de haber sido calibrado el instrumento se introduce la sonda de conductividad a la muestra homogénea para determinar la conductividad de esta. Se oprime la tecla específica para que inicie la lectura de la conductividad y la temperatura en la pantalla del instrumento (Rice et al., 2012) (HACH, 2015).

Oxígeno disuelto- 4500-O Oxígeno Disuelto

Se calibra el instrumento según el instructivo, se enjuaga con agua destilada y se seca la sonda. Se procede a sumergir la sonda en la muestra y se espera para dar lectura al resultado presente en la pantalla para posteriormente realizar las anotaciones (HACH, 2015).

Preparación de materiales, reactivos y soluciones para el análisis de absorción atómica

En matraces de 125 mL se vertió 100 mL de solución de limpieza al 1% (Ácido nítrico HNO₃) en cada una de ellas.

Después se colocaron los matraces con solución en el calentador a 400°C ubicada dentro de la cabina de extracción de gases y humos aproximadamente durante 30 minutos.

Pasado los 20 minutos de hervor, se procede a retirar cada matraz para su enfriamiento usando una pinza metálica para evitar el contacto con el material caliente; la solución de ácido nítrico es vertida en un vaso de precipitación para ser reutilizada.

La solución caliente es reutilizada para los demás instrumentos como las fiolas de 50 y 100 mL, la probeta de 100 mL y el balón volumétrico de 1000 mL; Fríos los instrumentos se procede a lavarlos con agua destilada para posteriormente se llevada a la mufla.

Método directo de llama de óxido nitroso-acetileno (3111 D)

Este método es aplicable para la determinación de Aluminio, entre otros elementos químicos como el Bario, Berilio, Calcio, Molibdeno, Osmio, Renio, Silicio, Torio, Titanio y Vanadio (Rice et al., 2012).

Procedimiento:

Se miden 100 mL de solución de 10 y 20 ppm de aluminio en la probeta y se los coloca en las ocho fiolas previamente identificadas para luego ser llevadas a la cámara de absorción de gases en el cual a cada fiola con solución se le agregan 5 mL de ácido nítrico, se colocan las fiolas en el calentador a 295 – 400 °C para su hervor. En un balón de fondo plano de 1000 mL con agua destilada se le agrega 2,5 mL de ácido nítrico hasta formar una solución homogénea.

Preparación de la solución de Cloruro de Potasio (KCl)

En la balanza analítica se pesan 3,814 g de (KCl) y se disuelve en agua, se coloca la solución de KCl en un matraz de 100 mL, se lo agita hasta que se homogenice.

Solución estándar

Se prepara una serie de soluciones de metal estándar en el óptimo los rangos de concentración por dilución apropiada de soluciones de metal. Se identifican los matraces y se les coloca la solución de (KCl) según los estándares a continuación:

Tabla 3: Estándares

1	5	15	25
50 μ L	250 μ L	750 μ L	1250 μ L

Elaborado por: Autores

Se retira las fiolas del calentador para que se enfríen: frías las fiolas se procede a verter las soluciones en los matraces con los estándares previamente vertidos en él; con un poco de agua destilada se enjuagan las fiolas y el agua resultante también es vertida en el matraz según corresponda su identificación. Además, se le agrega la solución de ácido nítrico previamente preparada hasta el punto de medida del matraz. Se agitan los matraces.

Análisis del agua en el Espectrofotómetro de Absorción Atómico

Se calibra el Espectrofotómetro de Absorción Atómica, se enciende la llama y se procede a realizar el análisis como se detalla a continuación:

- Cada una de las muestras es aspirada a través de un tubo capilar y conducida a un nebulizador donde ésta se desintegra y forma pequeñas gotas de líquido.
- Las gotas son llevadas a la flama, donde se producen varios eventos que originan la formación de átomos, los cuales absorben la radiación emitida por la lámpara la misma que está en función a su concentración para emitir una señal electromagnética para pasar un sistema de lectura

Primero se realizó el análisis a los estándares: Blanco, 1, 5, 15 y 25 introduciendo la sonda en cada uno de los matraces, posterior se hace el análisis de las muestras A1, A2 y A3 del H.A. (A) con solución de 10 ppm de Al y después a las muestras B1, B2 y B3 del H.A. (B) con solución de 20 ppm Al.

Para realizar el análisis de tuvo que analizar primero el Blanco y luego una muestra de forma intercalada como se observa a continuación:

Bk – A0 – Bk - A1 – Bk – A2 – Bk – A3 – Bk – B0 – Bk - B1 – Bk – B2 – Bk – B3

Se visualizan los resultados en la pantalla en cada una de las celdas y en la formación de la curva.

Determinación de Aluminio (Al) en el suelo mediante Método de Titulación

Determinación de acidez intercambiable

Posterior a la molienda y tamizado de las 6 muestras de suelo, se procede a pesar en la balanza 2,5 g de suelo de cada una de las muestras, y se coloca en envases plásticos de 50 mL de capacidad, a los mismos se añade 25 mL de Cloruro de Potasio normal (KCl) 1N, y se los ubica en la agitadora por 10 minutos a 400 rpm.

Agitadas las muestras, se preparan 12 envases de vidrio marcados del 1 al 12 y se coloca papel filtro en cada uno para la filtración de la muestra; del filtrado se toma una alícuota de 10 mL al cual se le añade 10 mL de agua destilada y 3 gotas fenolftaleína por muestra, seguido se empieza a titular con NaOH a 0,1 N (color rosado tenue) para después observar los resultados de acidez intercambiable.

Según (Jackson, 1964) se puede determinar la acidez intercambiable con la siguiente ecuación.

$$\text{Cálculo:} \quad Al^{+3} + H^{+} = V1 * N * 100$$

Ecuación 3: Acidez intercambiable

V1= Volumen de NaOH, utilizado al titular la Fenolftaleína

N= Normalidad del NaOH (0,01)

$Al^{+3} + H^{+}$ = meq/100 mL o Cmol/kg

Determinación de aluminio intercambiable

De las seis muestras de suelo preparadas, en la balanza se pesan 2,5 g de suelo de cada una de las muestras, y se colocan en envases plásticos de 50 mL de capacidad, a los mismos se añade 25 mL de Cloruro de Potasio normal (KCl) 1N, y se los ubica en la agitadora por 10 minutos a 400 rpm.

Agitadas las muestras, se preparan 12 envases de vidrio marcados del 1 al 12 y se coloca papel Whatman para la filtración de la muestra y del filtrado se toma una alícuota de 10 mL de cada una a los cuales se le agrega 10 mL de agua destilada y 3 gotas de rojo de metilo, seguido se empieza a titular con NaOH a 0,1 N (color amarillo opaco) para después observar los resultados de aluminio intercambiable.

Según (Jackson, 1964) se puede determinar el Aluminio intercambiable con la siguiente ecuación.

$$\text{Cálculo:} \quad H^{+3}\text{intercambiable} = V2 * N * 100$$

$$Al^{+3} = Al^{+3} + H^{+} - H^{+}$$

Ecuación 4: Aluminio intercambiable

V2= Volumen de NaOH, utilizado al titular con el rojo de metilo

N= Normalidad del NaOH (0,01) N= 0,0094

Al⁺³= meq/100 mL o Cmol/kg

Se realiza un análisis de suelo previo al ingreso de las soluciones de 10 y 20 ppm a los humedales para determinar la cantidad de Aluminio presente, el mismo que arrojo como dato de partida la presencia de 42,27 ppm de Al⁺³. Dato que será considerado para determinar la eficiencia de *Eleocharis elegans* en absorción del Al presente en los humedales piloto.

Tabla 4: Datos de consumo de NaOH

#Muestra	Al ⁺³ + H ⁺	Al ⁺³
	Consumo de NaOH	Consumo de NaOH
1	0,4	0,3
1	0,2	0,1
2	0,2	0,1
2	0,2	0,1
3	0,3	0,2
3	0,2	0,1
4	0,4	0,3
4	0,3	0,2
5	0,2	0,1
5	0,3	0,2
6	0,2	0,1
6	0,2	0,1

Elaborados por: Autores

Los resultados en meq/100mL ó Cmol/kg se debe convertir a ppm: Se considera el peso atómico de Al 26,98 y valencia 3:

$28,98/3 = 8,99 \text{ mg/meq} * \text{Resultado de Al}^{+3} \text{ meq/100 mL} = \text{mg Al/100 mL suelo} * 10 = \text{ppm}$

3.4.3 Objetivo 3 Establecer la eficiencia de la especie *Eleocharis elegans* en la absorción Aluminio (Al) dentro del humedal artificial

Con los resultados obtenidos del análisis de agua, se realizará la determinación la eficiencia de *Eleocharis elegans* en la remoción de Aluminio. Según (Romero, Colín, & Sánchez, 2009), para obtener el porcentaje de eficiencia de remoción se puede utilizar la siguiente formula:

$$\%remocion = \frac{Ci-Cf}{Ci} * 100$$

Ecuación 5: Eficiencia de remoción

Ci: concentración inicial

Cf: concentración final

3.5 MATERIALES

3.5.1 Herramientas

- Alicata
- Broca
- Extensión
- Marcador permanente
- Metro
- Moladora
- Pistola de silicón con silicón
- Solador eléctrico (Cautín)
- Taladro

3.5.2 Materiales del humedal

- 1 adaptador de manguera de ½
- 1 conexión para manguera de ½
- 15m de piola
- 1 Tapón hembra
- 2 metros de manguera de 1/2
- 3 metros de manguera de ½
- 3m de tubo pvc de ½
- 6 envases plásticos de 20l con dimensiones de (25h) (30a) (40l)
- 6 T de pvc de ½
- 7 válvulas esfera pvc
- *Eleocharis Elegans*
- Materia orgánica (Tierra)
- Triturado de 1cm
- Triturado de 4cm

3.5.3 Materiales para muestreo

- 6 fundas herméticas con etiqueta
- 8 envases de 125 mL
- 8 etiquetas
- Cámara
- Marcadores (rojo y azul)

3.5.4 Equipos y materiales de laboratorio

- 1 balón volumétrico de 1000 mL
- 1 probeta de 100 mL
- 8 fioles 100 mL
- 8 fioles de 50 mL
- 8 matraz de 125 mL
- Agitador eléctrico
- Balanza digital – analítica
- Espectrofotómetro de absorción atómica
- Molino metálico
- pH-metro
- Pisseta
- Tamiz

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OBJETIVO 1 DISEÑAR UN HUMEDAL ARTIFICIAL PILOTO.

4.1.1 Resultados de cálculos de diseño:

Para el diseño de los humedales piloto se tomó a consideración las medidas propuesta en la metodología expresadas en la (figura 5) el cual cuenta con un volumen total de $0,025\text{m}^3$; además se utilizó tres tipos de estrato para el relleno.

El tipo de humedal fue seleccionado según lo citado por (Vera & Gonzales, 2015), quien mencionan que los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para la evaluación en la remoción de un metal pesado como por ejemplo cromo de las aguas residuales de la industria ha demostrado una eficiencia entre el 88 % y el 92%.

Volumen del humedal (V)

W: ancho **L:** largo **H:** altura

$$V: L*H*W$$

$$V= 40\text{cm}*21\text{cm}*30\text{cm}$$

$$V= 25.200\text{cm}^3 \quad V= 25.200\text{cm}^3 \frac{1\text{m}^3}{1000000\text{cm}^3} = 0,025\text{m}^3$$

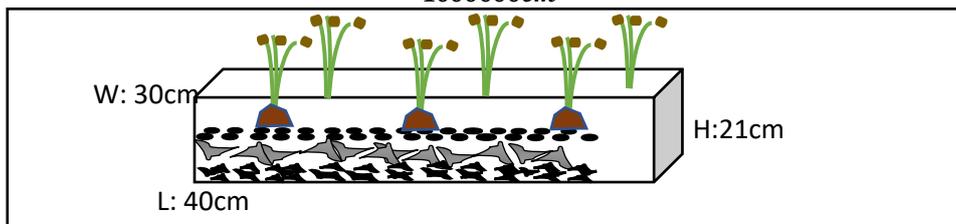


Figura 5: Diseño de humedal

Elaborado por: Autores

Volumen del efluente:

Para calcular el volumen del efluente que requiere el H.A se utilizó el método volumétrico que consta en:

V: 8 litros T: 3,2 días

Cálculo del caudal de entrada del humedal

$$Q = \frac{V}{T} \quad (1)$$

$$Q = \frac{0,008\text{m}^3}{3,2 \text{ dias}} = 0,0025\text{m}^3/\text{d} \quad \frac{1000\text{L}}{1\text{m}^3} * \frac{1\text{d}}{24\text{h}} = 0,10 \text{ L/h}$$

Q: Caudal volumétrico (m^3/s)

V: Volumen (m^3)

T: Tiempo (s)

Cálculo de tiempo de retención

$$\text{THR} = \frac{L*W*y*n}{Q} = \frac{0,40m*0,30m*0,21m*0,40}{0,0025m^3/d} = 4.3 \text{ días} \quad (2)$$

Sustratos utilizados para rellenar en los humedales artificiales piloto y sus réplicas

Volumen del sustrato

- **4cm³** materia orgánica

$$40cm^3 * 4cm^3 * 30cm^3$$

$$V_1 = 4.800cm^3 \frac{1m^3}{1000000cm^3} = 0,0048m^3$$

- **8cm³** de triturado de 4cm

$$40cm^3 * 8cm^3 * 30cm^3$$

$$V_2 = 9.600cm^3 \frac{1m^3}{1000000cm^3} = 0,0096m^3$$

- **4cm³** de triturado de 1cm

$$40cm^3 * 4cm^3 * 30cm^3$$

$$V_3 = 4.800cm^3 \frac{1m^3}{1000000cm^3} = 0,0048m^3$$

- **5cm** de flujo libre

$$40cm^3 * 5cm^3 * 30cm^3$$

$$V_4 = 6.000cm^3 \frac{1m^3}{1000000cm^3} = 0,006m^3$$

Volumen Total: $V_1+V_2+V_3+V_4$

$$\text{VT: } 0,0048m^3+0,0096m^3+0,0048m^3+0,006m^3$$

VT: 0,025m³

El humedal cuenta con 6 réplicas (Tres réplicas por concentración) que permitirán obtener veracidad en los resultados obtenidos como se observa en la (figura 6). En cada uno de los envases se realizó un agujero en la parte lateral inferior donde se colocó una T de pvc de ½ pulg. (pulgada) en el cual se instaló una válvula esférica para el control del flujo de salida. Para rellenar los humedales se utilizaron tres tipos de sustrato como unas bases de triturado pequeño, triturado mediano y materia orgánica como se puede observar en la (figura 7); la materia orgánica usada fue el suelo del lugar de donde se obtuvo las plantas ya que se realizó una trasplante para que las plantas se acoplen con más facilidad al ambiente.

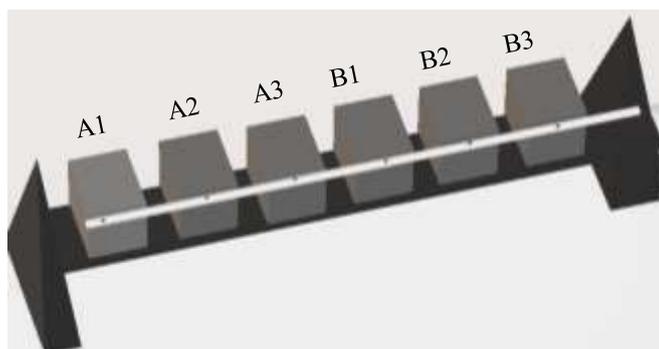


Figura 6: humedales y sus respectivas réplicas

Elaborado por: Autores

A continuación, se detalla la distribución de los tres estratos de los que están compuestos el humedal artificial (Ver Figura 7).

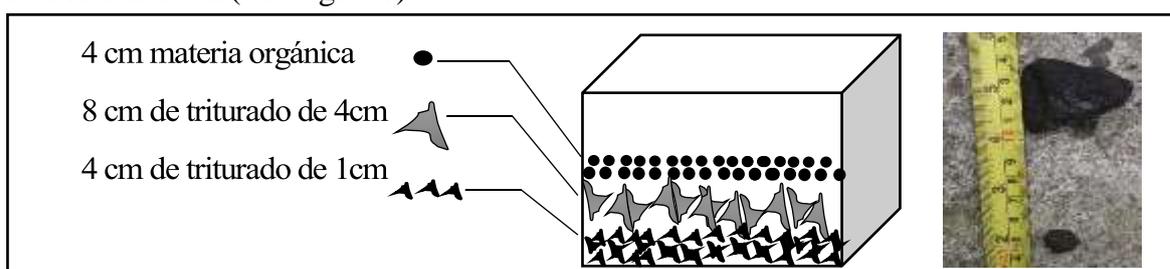


Figura 7:Detalle del sustrato utilizado

Elaborado por: Autores

4.1.2 Monitoreo de las especies y su adaptabilidad

En las tablas de control y monitoreo de las especies se detalla los siguientes parámetros: Aparición de nuevo individuos, temperatura, clima, individuos muertos, desarrollo de la raíz y buen color de la especie (color verdoso) tomados en cada dos semanas antes de realizar el vertido de las soluciones I y II (Ver Anexo 3 y 4). Además, se procedió a la toma el pH y temperatura del agua del hábitat natural de la especie y del agua de su nuevo hábitat para constatar que las condiciones sean similares (Ver tabla 5).

Tabla 5: Toma de pH y Temp. del hábitat natural y del hábitat artificial

Parámetros	Agua del humedal natural	Agua del Humedal artificial
pH	6,08	5,64
Temperatura	24 ° C	23° C

Elaborado por: Autores

(Vera & Gonzales, 2015), mencionan que los humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal para la evaluación en la remoción de un metal pesado como por ejemplo cromo de las aguas residuales de la industria ha demostrado una eficiencia entre el 88 % y el 92%. Por tal razón la presente investigación de determinación de la eficiencia en la remoción de Al por la especie *Eleocharis elegans* dentro de un humedal se tomó en consideración diseño y construcción del tipo de humedal que recomienda la información brindada de investigaciones acaecidas el cual brindo resultados positivos en la presente investigación (Ver Tabla 12 y 13).

4.2 OBJETIVO 2 DETERMINAR EL ALUMINIO PRESENTE EN EL EFLUENTE MEDIANTE EL ANÁLISIS POR ESPECTROFOTOMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA.

4.2.1 Resultados de análisis de las variables del afluente

A continuación, se presentan los resultados de los análisis químicos de las variables en las muestras del afluente cuatros días de tiempo de retención que tuvo el aluminio en los humedales pilotos y sus réplicas. Los datos fueron tomados para observar el aumento o disminución de las variables mencionadas y generar comparaciones (Ver tabla 6).

Tabla 6: Medición de variables de muestras de agua de los H.A A0 y B0 del afluente

	pH	Conductividad	Oxígeno disuelto	Temperatura
10 ppm A0	3,95	111,3 μ S/cm	9,11 mg/L	21,0 °C
20 ppm B0	3,85	196,2 μ S/cm	8,93 mg/L	21,0 °C

Elaborado por: Autores

4.2.2 Resultados del análisis de las variables el efluente

La tabla 6 y 7 muestra los niveles del pH de agua de entrada y salida de cada uno de los humedales réplicas de diferente concentración, en los cuales se denota que todos los pH de las muestras de salida aumentaron acercándose un poco al estado neutro.

Potencial de Hidrogeno (pH)

Tabla 7: Medición de pH

	10 ppm			20 ppm		
Réplicas	A1	A2	A3	B1	B2	B3
pH	5,72	5,38	6,56	5,24	5,96	5,31
Temperatura	22,3 °C	22,4 °C	21,8 °C	22,1 °C	21,8 °C	21,6 °C

Elaborado por: Autores

Conductividad

En la (tabla 8) se observa la conductividad eléctrica en la entrada y salida de los humedales piloto dando como resultado la reducción de la corriente eléctrica dentro del humedal a comparación de los resultados de conductividad inicial presentes en la (tabla 6). Según la tabla de conductividad eléctrica de distintos tipos de agua (ver Anexo 5) la conductividad presente en el agua de las muestras correspondería a aguas lluvia y agua potable.

Tabla 8: Medición de conductividad

Réplicas	10 ppm			20 ppm		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Conductividad	122,7 μs/cm	42,17 μs/cm	213,6 μs/cm	65,73 μs/cm	194,5 μs/cm	98,25 μs/cm
Temperatura	22,3 °C	21,6 °C	21,5 °C	21,3 °C	21,5 °C	21,6 °C

Elaborado por: Autores

Oxígeno disuelto

Según los datos de las tablas 6 y 9 referente a OD; los humedales piloto y sus réplicas presentaron disminución del oxígeno disuelto de llegando a un mínimo de 3,38 mg/l en el humedal A3 correspondiente a la concentración de 10 ppm y 4,9 mg/l en la réplica B2 perteneciente a la concentración de 20 ppm. En los estudios realizados por (Kyambadde, Kansime, Gumaelius, & Dalhammar, 2004) y (Aragón, Parra, & Peña, 2015) presentan disminución de oxígeno disuelto, y afirman que se debe a la descomposición aeróbica de los materiales vegetales, nitrificación y a la mínima aireación superficial resultante de la cobertura de la vegetación. Según (Lara R. G., 2006) al aumentar la temperatura el oxígeno disuelto disminuye.

Tabla 9: Medición de Oxígeno disuelto

Réplicas	10 ppm			20 ppm		
	A1	A2	A3	B1	B2	B3
Oxigeno	5,69 mg/L	5,96 mg/L	3,83 mg/L	5,91 mg/L	4,92 mg/L	6,29 mg/L
Temperatura	22,9 °C	22,3 °C	22,6 °C	22,7 °C	22,7 °C	22,9 °C

Elaborado por: Autores

4.2.3 Análisis de espectrofotometría de Absorción atómica

En la tabla 10, figuras 8 y 9 se puede observar los resultados que se obtuvieron en el análisis de agua mediante espectrofotometría de absorción atómica, en el cual nos da como primeros datos en el grafico 1 la presencia de 6,27 ppm de Al en la muestra inicial (A0) del H.A.(A) que representa la solución de 10 ppm preparada para ingresar al humedal; también se

visualiza la disminución de la concentración en los humedales A1 con 1.18, A2 con 1.77 y A3 con 1,94 ppm de Aluminio mismos que fueron analizados cuatro días posterior a su vertido en los humedales. En el grafico 2 se puede observar la presencia de 17,03 ppm de Al correspondiente a la muestra inicial (B0) del H.A.(B) que corresponde a la solución de 20 ppm; en los resultados de los análisis de las muestras de los humedales B1, B2 y B3 se observa una disminución significativa a 3.38, 2.38 y 3.05 ppm de Al respectivamente. El Aluminio presente en el agua resultante cumple con los límites permisibles establecidos en las tablas sobre los límites de descarga al sistema de alcantarillado público y cuerpo de agua dulce en el cual se establece como límite máximo de descarga 5,0 mg/L de Al, esto según la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo 1.

Tabla 10: Resultados de análisis mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica

Al en ppm							
A0	A1	A2	A3	B0	B1	B2	B3
6,27	1,18	1,77	1,94	17,03	3,38	2,38	3,05

Elaborado por: Autores

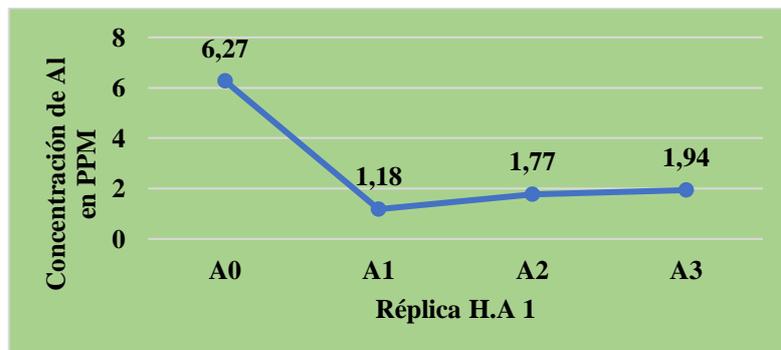


Figura 8: Resultados de análisis de espectrofotometría de absorción atómica de 10ppm

Elaborado por: Autores

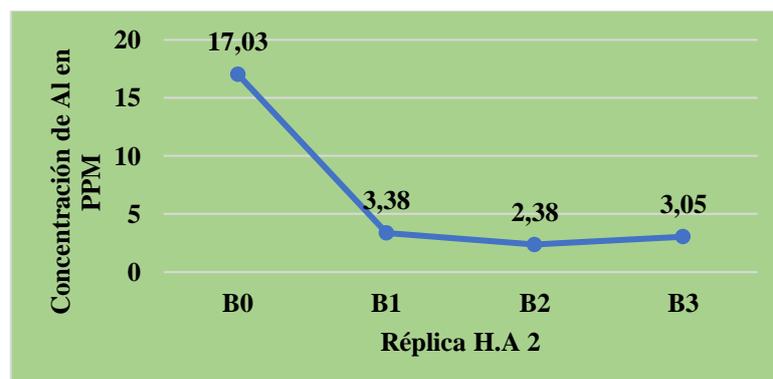


Figura 9: Resultados de análisis de espectrofotometría de absorción atómica de 20ppm

Elaborado por: Autores

4.2.4 Resultados de análisis de Al en el suelo mediante Método de Titulación

Los resultados que se observan en la tabla 11, indican la presencia de 8,45 ppm de Al en cada uno de los humedales, esto quiere decir que la especie *Eleocharis elegans* retuvo el 33,81 de Aluminio, esto basándonos en la diferencia existente entre el resultado del análisis de suelo previo al ingreso de las soluciones con 10 y 20 ppm, el cual dio como resultado la presencia de 42,27 ppm de Al y los resultados presentes en esta tabla que son posteriores al ingreso de las soluciones antes mencionadas. Los datos resultantes de determinación de acidez intercambiable y aluminio intercambiable se muestran en los (anexos 6 y 7).

Cabe mencionar que se realizó el análisis de suelos debido a la teoría de precipitación o acumulación de Al en el suelo presente en el Humedal Artificial.

Tabla 11: Resultado de $Al^{+3} = Al^{+3} + H^+ - H^+$

	$Al^{+3} + H^+ - H^+$		$Al^{+3} =$	Al^{+3} en PPM	Promedio de Al en ppm cada H.A
1	0,376	0,282	0,376 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
1	0,188	0,094	0,188 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	
2	0,188	0,094	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
2	0,188	0,094	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	
3	0,282	0,188	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
3	0,188	0,094	0,188 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	
4	0,376	0,282	0,282 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
4	0,282	0,188	0,188 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	
5	0,188	0,094	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
5	0,282	0,188	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	
6	0,188	0,094	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	8,45
6	0,188	0,094	0,094 meq/100ml ó Cmol/kg	8,45	

Elaborado por: Autores

Según (Casierra & Aguilar, 2007) El aluminio puede ser tomado por la planta con gran rapidez especialmente cuando el suelo tiene una reacción ácida, en este caso el pH presente en presente en los humedales es ácido, es por eso que la planta tuvo la capacidad de acumular el Aluminio en los espacios libres de las células de la raíz. En la investigación realizada por (Medina & Montano, 2014) menciona que los mecanismos de resistencia al Aluminio están confinados principalmente en la raíz.

Para convertir meq/100ml ó Cmol/kg a PPM, se consideró la siguiente formula:

$$(28,98/3 = 8,99 \text{ mg/meq} * Al^{+3} \text{ meq/100 ml} = \text{mg Al/100 ml suelo} * 10 = \text{ppm})$$

Ecuación 6: Transformación a PPM

4.3 OBJETIVO 3 ESTABLECER LA EFICIENCIA DE LA ESPECIE *ELEOCHARIS ELEGANS* EN LA ABSORCIÓN ALUMINIO (AL) DENTRO DEL HUMEDAL ARTIFICIAL.

4.3.1 Determinación de la eficiencia

Según los cálculos estimados para el ingreso de soluciones a diferentes concentraciones de Aluminio (10 y 20 ppm) en cada uno de los humedales pilotos; al realizar el análisis por Espectrofotometría de absorción atómica a las soluciones antes de ingresar al humedal, dieron como resultados 6,27 ppm correspondiente al cálculo de 10 ppm y 17,02 correspondiente al cálculo de 20 ppm.

En la tabla 12, se observa las disminuciones de 6,27ppm de Aluminio como carga contaminante ingresada en cada uno de los humedales. En los humedales A1, A2 y A3 se observa la disminución a 1.18, 1.77 y 1.94 ppm respectivamente, habiendo una remoción de 5,09 ppm en la réplica A1, 4,50 ppm en la réplica A2 y 4,69 en la réplica A3 dando eficiencias del 81.15%, 71.77% y 69.05%, con un promedio de 73,99% en absorción de Al. En la tabla 13, se observa que la carga contaminante de ingreso de 17,03 ppm de Aluminio, disminuyó considerablemente a 3.38, 2.38 y 3.05 ppm correspondientes a los humedales B1, B2 y B3, con remoción de 13,65 ppm en la réplica B1, 14,65 ppm en la réplica B2 y 13,98 ppm en la réplica B3, esto nos da eficiencias del 80,15%, 86,02% y 82,09% respectivamente dando un promedio de 82,82 % de absorción del metal presente en humedal artificial.

Tabla 12: Resultado del análisis de agua H.A.1

Resultados análisis de agua H.A con 10PPM de Al			
Réplicas	Carga contaminante que ingresa en PPM	Carga contaminante de salida en el efluente	Eficiencia en porcentaje
A1		1,18	81,15%
A2	6,27 PPM	1,77	71,77%
A3		1,94	69,05%

Elaborado por: Autores

Tabla 13: Resultado del análisis de agua H.A.2

Resultados análisis de agua H.A con 20PPM de Al			
Réplicas	Carga contaminante que ingresa en PPM	Carga contaminante de salida en el efluente	Eficiencia en porcentaje
B 1		3,38	80,15%
B 2	17,03 PPM	2,38	86,02%
B 3		3,05	82,09%

Elaborado por: Autores

Según (Matzner & Prenzel, 1992), mencionan más del 15% de la corteza terrestres está compuesta de Al_2O_3 , el cual es poco soluble en suelos neutros o alcalinos que no alcanzan concentraciones tóxicas para las plantas; sin embargo, con la disminución del pH en el suelo se aumenta la solubilidad del aluminio. Con la reducción del pH del suelo, empieza la solubilización de óxidos de aluminio, por el cual aparece como Al^{+3} lo que conduce a la degradación irreversible del suelo. En la tabla 6, se presentan datos de pH de 3,95 y 3,85 que están muy por debajo de 5,5 lo cual ocasiona el incremento en la concentración de H^+ , niveles más altos de aluminio, pérdida de crecimiento en las raíces por lo cual la planta reduce la toma de agua y nutrientes. Sin embargo, los datos de pH en los humedales réplica de las concentraciones de 6,27 ppm y 17,03 ppm, se puede evidenciar pH menos ácido de 5,24 a 5,96, es por eso que en los resultados de análisis de las muestras de agua se presenció la disminución de Al.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El diseño del humedal artificial de flujo sub superficial horizontal del presente proyecto de investigación con las siguientes medidas (40 cm de largo, 30 cm de ancho, 21 de alto), con un tiempo de retención de cuatro días fue satisfactorio debido a que arrojó resultados positivos en cuanto a la eficiencia de absorción del metal dentro del humedal el cual fue de 73,99% y 82,82% confirmando la hipótesis planteada.

En el análisis mediante Espectrofotometría de Absorción Atómica en las muestras de agua correspondientes a concentraciones de 10 ppm y 20 ppm dieron datos por debajo del límite de detección del espectrofotómetro de absorción atómica; según la metodología aplicada para la determinación de Aluminio por llama de óxido nitroso-acetileno, el límite de detección mínima es de 5 ppm y esto según (Álvarez et al., 2014) que plantea el empleo de la llama óxido nitroso-acetileno ya que ésta sí posee la energía suficiente para disociar los compuestos y permitir la liberación de los átomos. Por los resultados presentes en la tabla 12 y 13 se llegó a la teoría de precipitación de Aluminio debido a la presencia de suelo en el humedal artificial piloto; es por eso que se realizó en análisis de los suelos de donde se tomaron las plantas y del suelo presente dentro del humedal donde se pudo constatar que no existió precipitación alguna por lo que se puede mencionar que el Al fue absorbido por la especie dentro del humedal.

En cuanto a la determinar la eficiencia de la especie *Eleocharis elegans* en la absorción Aluminio (Al) dentro del humedal artificial con las concentraciones ingresadas a los humedales pilotos en cada una de sus réplicas fueron retenidas en con 73,99% de eficiencia para la concentración de 6,27 ppm y 82,82 % de eficiencia para la concentración de 17,03 ppm en los humedales en presencia de la especie *Eleocharis elegans*, lo cual demostró la capacidad de retención que tiene la especie al absorber Aluminio.

5.2 RECOMENDACIONES

Realizar análisis de la especie *Eleocharis elegans* a nivel del tejidos y órganos para validar la remoción del metal Al.

Evaluar la eficiencia de *Eleocharis elegans* con otros metales pesados como: Hg y Pb, que son químicos tóxicos utilizados en la minería.

Es importante validar la investigación realizando el experimento con una mayor concentración de Al en PPM.

CAPÍTULO VI

6. BIBLIOGRAFÍA

- Asamblea Constituyente de Montecristi. (2008). CONSTITUCIÓN DEL ECUADOR. Ciudad Alfaro, Montecristi, Ecuador: Quito: Ediciones Legales.
- Álvarez, E. C., Acevedo, B. R., & Severiche, S. C. (2014). Evaluación analítica para la determinación de aluminio, bario y cromo en aguas, por espectroscopia de absorción atómica con llama óxido nitroso-acetileno. *Revista Colombiana de Química*, 19 - 24. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/DeterminaciondeCrAs.Aldf.pdf
- Aragón, C. R., Parra, C. A., & Peña, T. M. (2015). Evaluación preliminar del funcionamiento de un sistema prototipo de humedales artificiales empleando *Heliconia psittacorum* y *Cyperus papyrus* para el tratamiento de aguas residuales. *AGROECOLOGÍA: Ciencia y Tecnología*, 3(1), 7-12. Obtenido de <http://revistas.sena.edu.co/index.php/agroeccyt/article/view/932/1021>
- C, M. M., & Pérez, C. G. (Enero de 2009). Evaluación agroproductiva de cuatro sectores de la provincia de Pastaza en la Amazonía ecuatoriana. Scielo. Obtenido de Scielo: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362009000100003
- Casierra, P. F., & Aguilar, A. O. (2007). Estrés por aluminio en plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. Una Revisión. *E S T R É S p O R A L u M I N I O E N p L A N T A S*, 1(2), 246 - 257. Colombia. Obtenido de https://revistas.uptc.edu.co/index.php/ciencias_hortícolas/article/view/8701
- Chiriboga, G. H. (2016). Tesis de grado previa a la obtención del Título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (*Chrysopogon zizanioides*. (L.) Roberty) y (*Eleocharis elegans*. (Kunth) Rroem.&Schult.) en la piscina de lixiviados del botadero controlado del Cantón Zamora, Provincia de Zamora Chinchipe, 115. Zamora, Zamora Chinchipe, Ecuador. Recuperado el 23 de Abril de 2019, de file:///C:/Users/User/Downloads/TRABAJO%20DE%20TITULACION%20HENR RY%20CHIRIBOGA.pdf
- Delgadillo, .. O., Camacho, .. A., Pérez, F. L., & Andrade, .. M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. 115. (D. N. Antequera, Ed.) Cochabamba, Bolivia. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>

- García, A. G., & Ludizaca, W. E. (2017). Trabajo de Titulación previo a la obtención del Título de Ingeniero Ambiental. Diseño de un Sistema de Humedales Artificiales para el Tratamiento de las Aguas Residuales en la Comunidad del Tabacay, Cantón Azoguez, Provincia de Cañar. Cuenca, Cuenca, Ecuador. Obtenido de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27743/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- Gonzaga, A. P. (2016). Validación de métodos analíticos para la determinación de metales pesados (Cu, Fe, Zn, Mn y Pb), mediante absorción atómica en las matrices de Aguas Residuales, Naturales y de Consumo Humano en los laboratorios UTPL. Loja, Loja, Ecuador. Obtenido de http://dspace.utpl.edu.ec/bitstream/123456789/14695/1/GONZAGA%20AGUILAR%20PABLO%20ANDRES%20TESIS.pdf?fbclid=IwAR37DThiYgV1-vRi-DhMi8MfuzJtTKUo8ZZfV8ObPXXKoMyTVGt2Ls_mbXYA
- HACH. (2015). Conductivity. USEPA Direct Measurement Method. Method 8160, 8, 1-5. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/DOC316.53.01199_8ed.pdf
- HACH. (2015). Oxygen, Dissolved. Method 10360, 8. Obtenido de file:///C:/Users/HP/Downloads/DOC316.53.01243_8ed.pdf
- INAMHI. (2014). Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. Obtenido de Anuario Meteorológico : http://www.serviciometeorologico.gob.ec/docum_institucion/anuarios/meteorologicos/Am_2013.pdf
- Jackson, M. (1964). Análisis químico de suelos. Barcelona: Omega, 1964.
- Kyambadde, J., Kansime, F., Gumaelius, L., & Dalhammar, G. (2004). Un estudio comparativo de *Cyperus papiro* y *Viola miscanthidium* - Basado humedales para el tratamiento de aguas residuales construida en un clima tropical. ELSEVIER, 38(2), 475-485.
- Lara, B. J. (Mayo de 1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. Máster en Ingeniería y Gestión Ambiental. Barcelona, España.
- Lara, R. G. (2006). Evaluación del efecto del nuevo sistema de tratamiento de lodos sépticos en el funcionamiento del humedal artificial del relleno sanitario. Obtenido de

http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/sistema_de_tratamiento_del_humedal_artificial.pdf

- Luna, P. V., & Aburto, C. S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 17(1), 32-55. doi:http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-888X2014000100003&lang=es
- Martelo., J., & Lara, B. J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Redalyc*, 8, 221-243. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=83524069011>
- Matzner, E., & Prenzel, J. (1992). Acid Deposition in the German Solling Area: Effects on Soil Solution Chemistry and Al mobilization. *Water Air Soil Pollut*, 221-234.
- Medina, M. K., & Montano, C. Y. (2014). Bioconcentración y Traslocación de metales pesados en el *Juncus arcticus* Willd. y *Cortaderia rudiusscula* Staof, de areas contaminadas con el pasivo ambiental minero Alizan - Ancash 2013. Tesis para optar por el titulo profesional de Ingenieria Ambiental. Perú. Obtenido de https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/publications/Theses/Tesis_Medina_y_Montano_2014.pdf
- Ministerio del Ambiente. (2015). ACUERDO NO. 061 Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Registro Oficial, 316, 80. Quito, Ecuador. Obtenido de <http://suia.ambiente.gob.ec/documents/10179/185880/ACUERDO+061+REFORMA+LIBRO+VI+TULSMA++R.O.316+04+DE+MAYO+2015.pdf/3c02e9cb-0074-4fb0-afbe-0626370fa108>
- Muñoz, S. V. (2010). Tratamiento biologico combinado con filtración en tamices moleculares, de aguas contaminadas con hidrocarburos, afectadas por el derrame de la linea de flujo del pozo Shushuqui 13, Cantón Lago Agrio, Provinica de Sucumbias, Ecuador. Trabajo de Titulación para obtener el titulo de Ingeniería Ambiental en Prevención y Remediación. Lago Agrio, Sucumbios.
- Oliva, E. D. (2009). Determinación de la acidez intercambiable (Al+3+H+) a partir del pH para la estimación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) en suelos de la

cuenca del Pacífico en El Salvador, Honduras y Nicaragua . Proyecto especial presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera Agrónoma en el Grado Académico de Licenciatura . Zamorano, Honduras .

Pérez, L. E., & Alvarado, R. D. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. Cuadernos de Investigación UNED, 387-396. Obtenido de <http://www.scielo.sa.cr/pdf/cinn/v10n2/1659-4266-cinn-10-02-387.pdf>

Posada, C. L. (2016). Determinación de la acidez intercambiable.

Rice, W. E., Baird, B. R., Eaton, D. A., & Clesceri, S. L. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (22 ND Edition ed.).

Romero, A. M., Colín, C. A., Sánchez, S. E., & Ortiz, H. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista internacional de contaminación ambiental, 25(3), 157-167. Recuperado el 03 de junio de 2019, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004

Torrellas, H. R. (julio de 2013). La exposición al aluminio y su relación con el ambiente y la salud. Udistrital.

Vera, C. L., & Gonzales, C. F. (2015). Eliminación de cromo utilizando humedales de flujo sub-superficial horizontal. Cuba. Recuperado el 18 de mayo de 2019, de <https://www.raco.cat/index.php/afinidad/article/viewFile/300888/390332>

Zapata, P. A. (Agosto de 2014). Humedales artificiales; una propuesta para la mitigación de la contaminación hídrica de la quebrada la nutria, de los cerros orientales de Bogotá D.C. Obtenido de http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/1930/Zapata_Palacio_Aura_Raquel_2014.pdf?sequence=1

CAPITULO VII

7. ANEXOS:

Anexo 1: Límites de descarga al sistema de alcantarillado público

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	sustancias solubles en hexano	mg/l	100
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Acido o bases que puedan causar contaminación, sustancias explosivas o inflamables		mg/l	Cero
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	0,5
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Carbonatos	CO3	mg/l	0,1
Caudal máximo		l/s	1,5 veces el caudal promedio horario del sistema de alcantarillado
Cianuro total	CN	mg/l	1,0
Cobalto total	Co	mg/l	0,5
Cobre	Cu	mg/l	0,1
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cromo hexavalente	Cr +6	mg/l	0,5
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O 5	mg/l	250
Demanda Química de Oxígeno	D.Q. O	mg/l	500
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Fósforo Total	P	mg/l	15
Hierro total	Fe	mg/l	25,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20
Manganeso total	Mn	mg/l	10,0
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total	Ni	mg/l	40
Kjedahl			
Plata	Ag	mg/l	0,5
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de Hidrogeno	pH		5-9

Sólidos sedimentables		mg/l	20
Sólidos suspendidos totales		mg/l	220
Sólidos Totales		mg/l	1600
Selenio	S	mg/l	0,5
Sulfatos	SO ₄	mg/l	400
Sulfuros	S	mg/l	1,0
Temperatura	°C		< 40
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	2,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Sulfuro de carbono	Sulfuro de carbono	mg/l	1,0
Compuestos organoclorados (Totales)	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,005
Organofosforados y carbamatos (totales)	Concentración de órgano fosforados carbamatos totales	mg/l	0,1
Vanadio	Visible	mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	10

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI Anexo 1, p. 325 – 327

Anexo 2: Límites de descarga para cuerpos de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	No detectable
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	Ba	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,1
Cloro activo	Cl	mg/l	0,5
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo (ECC)	mg/l	0,1
Cloruros	Cl ⁺	mg/l	1000
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Cobalto	Co	mg/l	0,5
Coliformes fecales	Nmp/100 ml		8 remoción > al 99%

Color real	Color real	Unidades de color	*Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Expresado como fenol	mg/l	0,2
Cromo hexavalente	Cr +6	mg/l	0,5
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O 5	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O	mg/l	250
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0
Fluoruros	Fe	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos Totales de Petróleo	TPH	mg/l	20,0
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	Visible	mg/l	Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitritos + Nitratos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total	N	mg/l	15
Kjedahl			
Organoclorados Totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de Hidrogeno	pH		5 a 9
Selenio	S	mg/l	0,1
Solidos sedimentables		mg/l	1,0
Solidos suspendidos totales		mg/l	100
Solidos Totales		mg/l	1600
Sulfatos	SO4	mg/l	1000
Sulfitos	SO3	mg/l	2,0
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Fuente: Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes: Recurso Agua. Libro VI

Anexo 3: Tabla de parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A 1

Parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A 1							
Parámetros H.A (A) réplica 1	Días de la semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	-	-	-	-	1	-	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S
Individuos muertos	1	2	-	2	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	si	si	Si
Días de la semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)							
Aparición de nuevo individuo	-	1	1	-	-	-	-
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	1	-	-	1	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	si	si	Si
Parámetro H.A (A) réplica 2							
	Días de la semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	-	-	-	-	2	-	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S
Individuos muertos	1	2	-	2	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	si	si	Si
Días de la semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)							
Aparición de nuevo individuo	-	1	-	-	-	2	-
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	1	-	-	-	-	1	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	si	si	Si
Parámetros H.A (A) réplica 3							
	Días de la semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	2	-	-	-	1	-	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S

Individuos muertos	1	2	-	-	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si						
Buen color de la especie (color verdoso)	Si						
Días de la semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)							
Aparición de nuevo individuo	-	1	-	-	-	1	-
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	1	-	-	-	-	2	-
Desarrollo de la raíz	si						
Buen color de la especie (color verdoso)	Si						

Anexo 4: Tabla de parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A 2

Parámetros monitoreados en la adaptabilidad de la especie en el medio implantado H.A (B)							
Parámetros H.A (B) réplica 1	Días de la semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	-	1	-	1	-	-	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S
Individuos muertos	1	-	-	1	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	Si	si	Si
Días de la semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)							
Aparición de nuevo individuo	-	1	-	1	-	-	-
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	1	-	2	-	-	1	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	Si	si	Si
Parámetros H.A (B) réplica 2	Días de la semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	1	-	-	-	1	-	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S
Individuos muertos	1	-	-	2	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	Si	si	Si

	Días de la semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)						
Aparición de nuevo individuo	-	-	-	-	1	-	-
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	-	-	-	2	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	Si	si	Si
Parámetros H.A (B) réplica 3	semana 1 del (16 de abril al 21 del 2019)						
	L	M	M	J	V	S	D
Aparición de nuevo individuo	-	-	-	-	-	1	-
Temperatura	25	26	21	18	21	24	27
Clima	S	S	N	Ll	N	S	S
Individuos muertos	-	-	-	1	-	1	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	si	si	Si	si	Si
	semana 2 del (22 de abril al del 28 2019)						
Aparición de nuevo individuo	-	1	-	-	-	-	2
Temperatura	19	20	24	27	27	20	18
Clima	Ll	Ll	N	S	S	N	Ll
Individuos muertos	2	-	-	-	-	-	-
Desarrollo de la raíz	si	si	si	si	si	si	si
Buen color de la especie (color verdoso)	Si	Si	Si	si	Si	Si	Si

Ll: lluvioso

N: nublado

S: soleado

Anexo 5: Tipos de agua y su conductividad

Tipo de agua	Conductividad eléctrica ($\mu\text{s/cm}$)
Agua pura	0,04 $\mu\text{s/cm}$
Agua destilada	0,5 a 5 $\mu\text{s/cm}$
Agua de lluvia	5 a 50 $\mu\text{s/cm}$
Aguas potables	< 2500 $\mu\text{s/cm}$
Aguas salobres	2500 - 20000 $\mu\text{s/cm}$
Aguas de mar	45000 - 55000 $\mu\text{s/cm}$
Sales muertas	> 100000 $\mu\text{s/cm}$

Anexo 6: Tabla de resultados de determinación de acidez intercambiable

$$\text{Al}^{+3} + \text{H}^{+} = \text{V1} * \text{N} * 100 \quad (3)$$

V1	N	*100	Al ⁺³ + H ⁺
0,4	0,0094	100	0,376
0,2	0,0094	100	0,188
0,2	0,0094	100	0,188
0,2	0,0094	100	0,188
0,3	0,0094	100	0,282
0,2	0,0094	100	0,188
0,4	0,0094	100	0,376
0,3	0,0094	100	0,282
0,2	0,0094	100	0,188
0,3	0,0094	100	0,282
0,2	0,0094	100	0,188
0,2	0,0094	100	0,188

Elaborado por: Autores

Anexo 7: Tabla de resultados de determinación de aluminio intercambiable

$$\text{H}^{+}\text{intercambiable} = \text{V2} * \text{N} * 100 \quad (4)$$

V2	N	*100	H ⁺
0,3	0,0094	100	0,282
0,1	0,0094	100	0,094
0,1	0,0094	100	0,094
0,1	0,0094	100	0,094
0,2	0,0094	100	0,188
0,1	0,0094	100	0,094
0,3	0,0094	100	0,282
0,2	0,0094	100	0,188
0,1	0,0094	100	0,094
0,2	0,0094	100	0,188
0,1	0,0094	100	0,094
0,1	0,0094	100	0,094

Elaborado por: Autores

Anexo 8: Anexo Fotográficos de proyecto

Preparación del estrato



Colección de la especie *Eleocharis elegans* y trasplante



Monitoreo de la especie



Preparación de la solución pesado $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$



Análisis químicos de variables



Análisis de espectrofotometría de absorción atómica



Análisis de suelo – Método de Titulación

