Pontificia Universidad Católica del Ecuador | SEDE ESMERALDAS

ESCUELA DE GESTIÓN AMBIENTAL

TESIS DE GRADO

EVALUACIÓN Y MONITOREO DEL USO DE *LEMNA MINOR* Y *EICHORNIA CRASSIPES* COMO MEDIDA DE FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES EN LAS RIVERAS DEL REFUGIO DE VIDA SILVESTRE MANGLARES ESTUARIO RÍO ESMERALDAS

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA EN GESTIÓN AMBIENTAL

AUTORA

BRENDA ELAINE QUIÑÓNEZ MINA

ASESORA

MGT. KARLA FERNANDA SOLÍS CHARCOPA

Esmeraldas, Junio 2018

Trabajo de tesis aprobado luego de haber dado cumplimiento a los requisitos exigidos por el reglamento de grado de la PUCE-Esmeraldas, previo a la obtención del título de Ingeniera en Gestión Ambiental.

Presidente Tribunal de Graduación

PhD. Ignacio Carazo Ortega

Lector 1

PhD. Jon Molinero Ortíz

Lector 2

PhD. Jorge Velasco Vargas

Coordinador de la Escuela de Gestión Ambiental

Mgt. Karla Solís Charcopa

Director de Tesis

Esmeraldas, 21 de Junio de 2018

Autoría

Yo Brenda Elaine Quiñónez Mina, declaro que la presente investigación enmarcada en el trabajo de tesis es absolutamente original, auténtica y personal.

En virtud que el contenido de esta investigación de exclusiva responsabilidad legal y académica de la autora y de la PUCE-Esmeraldas.

Brenda Elaine Quiñónez Mina

C.I. 0803520485

Agradecimiento

Agradezco a mi madre, quien me enseñó desde temprana edad que todo se puede conseguir con sacrificio y dedicación, además de ser hasta ahora un pilar fundamental para mi formación.
A mi hermana Karina, por ser un ejemplo para mí, por darme consejos en cada equivocación y por sus buenos deseos para que pueda conseguir cada logro en la vida.

A Karla, quien a lo largo del desarrollo del presente trabajo estuvo siempre para darme recomendaciones, consejos y en ciertas ocasiones llamadas de atención, a Ignacio por la ayuda brindada y a Jon por prestarme parte de su tiempo para enseñarme a usar equipos y materiales del laboratorio.

A todos los profesores que formaron parte de mi formación académica, ya que gracias a ellos obtuve conocimientos que de seguro pondré en práctica en mi vida profesional.

Agradezco mucho a Pedro ya que fue el primero en brindarme su confianza cuando formé parte de la universidad.

A mi esposo por el apoyo brindado en las salidas de campo y análisis de laboratorio.

A mis compañeros y amigos, en especial a Mario, Michelle, Yireny, Antonella y Max que de una forma u otra me brindaron su ayuda cuando lo necesité, tanto en mi vida académica como en mi vida personal.

Muchas gracias.

Dedicatoria

A Dios, por regalarme cada día de vida y haberme permitido alcanzar este logro.

A mi hija Ericka porque me impulsó a seguir adelante cada día y animarme en los días difíciles.

A mi madre por brindarme su apoyo, darme sabios consejos y estar conmigo cuando la necesito.

Contenido

Autoría ..... **iii**
Agradecimiento ..... **iv**
Dedicatoria ..... **v**
Resumen ..... **xi**
Abstract ..... **xii**
Introducción **1**
Presentación del tema de investigación 1
Planteamiento del problema 4
Justificación 4
Objetivos 6
Objetivo general: 6
Objetivos específicos: 6
Capítulo I: Marco Teórico **7**
Bases teóricas 7
Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) 7
Lenteja de agua *(Lemna minor)* 7
Relación abundancia/dominancia 8
Aguas residuales 8
Parámetros que se deben analizar en las aguas residuales 8
Parámetros físicos 8
Parámetros químicos 9
Antecedentes 10
Marco legal 11
Capítulo II: Material y método **14**
Área de estudio 14
Recolección de datos 16
Muestras de agua 16
Plantas macrófitas 16
Muestras radiculares 18
Relación abundancia/dominancia 18
Análisis de parámetros fisicoquímicos in situ 18
Análisis en laboratorio 18

Hach DR 900 18
Capítulo III: Resultados 20
Análisis de agua previo a la fitorremediación 20
Parámetros fisicoquímicos 20
Temperatura 20
Conductividad 21
Oxígeno disuelto 22
pH 23
Sólidos suspendidos 24
Análisis de agua antes y después de fitorremediación 25
Estimación de la biomasa y abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación 29
Crecimiento radicular 30
PROPUESTA 31
Datos informativos 31
Introducción 31
Justificación 32
Objetivos 33
Antecedentes 34
Área de estudio 34
Tipo de suelo 35
Materiales y métodos 36
Diseño de construcción del humedal artificial 36
Sistema de drenaje 38
Vegetación 39
Estructura de entrada y salida 39
Proceso de remoción de contaminantes 39
Importancia de los humedales artificiales desde la perspectiva ambiental 40
Disposición final de las plantas 41
Operación, mantenimiento y control 44
Resultados esperados 45
Cronograma 47
Capítulo IV: Discusión 49
Proceso de fitorremediación y grado de eficiencia de las especies macrófitas 49

Nitritos y nitratos 49
Ortofosfatos 50
Cobre 50
Hierro 51
Cromo VI 52
Parámetros fisicoquímicos 53
Temperatura 53
Conductividad eléctrica 53
Oxígeno disuelto 54
pH 54
Sólidos suspendidos 54
Biomasa inicial y final 55
Relación dominancia/abundancia 55
Propuesta 56
Capítulo v: Conclusiones 58
Capítulo VI: Recomendaciones 59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 60
ANEXOS 65
Anexo I: Marco Legal 65
Anexo II: Área de estudio 68
Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas 68
Anexo III: Puntos de muestreo 69
Anexo IV: Toma de parámetros físico-químicos en los puntos de muestreo (Bellavista Norte) 70
Anexo V: Recogida de muestras de agua residual, punto de muestreo 5 de Junio 71
Anexo VI: Análisis de agua en laboratorio antes de la fitorremediación 72
Anexo VII: Análisis de agua después de la fitorremediación 73
Anexo IX: Análisis de laboratorio y medición de biomasa 76
Anexo X: Limpieza y lavado de macrófitas 77
Anexo XI: Parámetros fisicoquímicos 78
Anexo XII: Proceso de fitorremediación antes y después 79
Anexo XIII: Variación de los contaminantes en las muestras de agua residual 81
Anexo XIV: Proceso de fitorremediación 82

Anexo XV: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 1 83

Anexo XVI: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 2 84

Anexo XVII: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 3 85

Anexo XVIII: Crecimiento radicular en la Zona 1 86

Anexo XIV: Crecimiento radicular en la zona 2 87

Anexo XV: Crecimiento radicular en la zona 3 88

Lista de tablas

Tabla 1: Coordenadas de los puntos de muestreo 14
Tabla 2: Variación de los contaminantes en el agua residual 20
Tabla 3: Nivel de eficiencia de los tratamientos en la temperatura 21
Tabla 4: Nivel de eficiencia de los tratamientos en la conductividad 22
Tabla 5: Nivel de eficiencia de los tratamientos en el oxígeno disuelto 23
Tabla 6: Nivel de eficiencia de los tratamientos en el pH 25
Tabla 7: Nivel de eficiencia de los tratamientos en los sólidos suspendidos 28
Tabla 8: Proceso de fitorremediación en la Zona 1 29
Tabla 9: Proceso de fitorremediacoión en la Zona 2 30
Tabla 10: Proceso de fitorremediación en la Zona 3 34
Tabla11:Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación 35
Tabla 12: Crecimiento radicular antes y después de fitorrediación 36
Tabla 13: Humedales artificiales: reseña histórica 37
Tabla 14: Factores climáticos de la parroquia Tachina 38
Tabla 15: Factores que intervienen en la construcción de un humedal artificial. 44
Tabla 16: Elementos que se deben tomar en cuenta para la construcción del humedal artificial 46
Tabla 17: Cálculo de los parámetros para el diseño del humedal artificial en la parroquia Tachina 37
Tabla 18:Aspectos para la operación, mantenimiento y control del humedal 38
Tabla 19. Presupuesto tentativo para la construcción de un humedal artificial de flujo libre a base de macrófitas con hojas flotantes 44
Tabla 20: Cronograma 46

Lista de figuras

Figura 1. Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas. Elaborado por la autora 15
Figura 2. Puntos de muestreo. Elaborado por la autora 15

Figura 3. Mapa de la Parroquia Tachina. Tomado de: (GADPT, 2015)..... 35
Figura 4. Diseño de las piscinas de tratamiento con *Eichornia Crassipes* y *Lemna Minor* 48

Resumen

A nivel mundial los manglares enfrentan serios problemas que ponen en riesgo su conservación, uno de estos problemas son las aguas residuales, que por su composición alteran la calidad del agua de estos ecosistemas, generando un desequilibrio a nivel biológico. Por dichas razones, el presente estudio estuvo enfocado a buscar alternativas naturales de remediación como son las plantas macrófitas.

A lo largo del estudio se utilizaron dos especies de macrófitas: *Lemna minor (L.) Griff.* y *Eichornia Crassipes (Mart.) Solms* debido a la capacidad que poseen estas plantas para disminuir el grado de contaminantes, en este caso metales pesados tales como: hierro, cromo VI, nitritos, nitratos, ortofosfatos y cobre presentes en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas.

Tras realizar análisis de laboratorio *Lemna minor* mostró mayor eficiencia para la remoción de nitritos y hierro con un porcentaje total de 99,91% y 91,03% respectivamente. *Eichornia crassipes* mostró mayor eficiencia de remoción para ortofosfatos con un porcentaje total de 46,18% y nitratos con un porcentaje total de 97,88%.

En la remoción de Cromo VI los tratamientos de *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* tuvieron un porcentaje de remoción de 33,33%, mientras que en la remoción de ortofosfatos *Eichornia crassipes* tuvo resultados favorables, con un porcentaje de 46,18%, seguido de la especie *Lemna minor* con un porcentaje de 40,39%. En la remoción de Cobre, todos los tratamientos obtuvieron resultados negativos.

El tratamiento en el que ambas especies compartieron el mismo espacio tuvieron resultados favorables, excepto para el caso del Cobre y los Ortofosfatos, los cuales obtuvieron porcentajes negativos.

La Parroquia de Tachina se encuentra aledaña al manglar de Esmeraldas, por lo que en el presente estudio se ha propuesto la instalación de un humedal artificial, dadas las condiciones ambientales que presentan el manglar y los problemas que estos puedan ocasionar a la comunidad. El humedal que se ha propuesto ha considerado la instalación de dos piscinas de tratamiento a base de *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* por separado, dado que estas especies poseen un grado de afinidad y sensibilidad diferente por los contaminantes que se han analizado en el presente estudio.

Abstract

At a global level, mangroves face serious problems that put their conservation at risk, one of these problems is wastewater, which due to its composition alters the water quality of these ecosystems, generating an imbalance at the biological level. For these reasons, the present study was focused on finding natural alternatives for remediation, such as macrophyte plants.

Throughout the study two species of macrophytes were used: *Lemna minor (L.) Griff.* and *Eichornia crassipes (Mart.) Solms* due to the ability of these plants to reduce the degree of contaminants, in this case heavy metals such as iron, chromium VI, nitrites, nitrates, orthophosphates and copper present in the Mangrove Wildlife Refuge Esmeraldas River Estuary.

After conducting laboratory analysis Lemna minor showed greater efficiency for the removal of nitrites and iron with a total percentage of 99.91% and 91.03% respectively. Eichornia crassipes showed greater removal efficiency for orthophosphates with a total percentage of 46.18% and nitrates with a total percentage of 97.88%.

In the removal of Chromium VI the treatments of Eichornia crassipes and Lemna minor had a percentage of removal of 33.33%, while in the removal of orthophosphates Eichornia crassipes had favorable results, with a percentage of 46.18%, followed by the Lemna minor species with a percentage of 40.39%. In the Copper removal, all the treatments obtained negative results.

The treatment in which both species shared the same space had favorable results, except for Copper and Orthophosphates, which obtained negative percentages.

The Parish of Tachina is next to the mangrove swamp of Esmeraldas, so in this study the installation of an artificial wetland has been proposed, given the environmental conditions of the mangrove swamps and the problems they may cause to the community. The proposed wetland has considered the installation of two treatment pools based on Eichornia crassipes and Lemna minor separately, given that these species have a degree of affinity and different sensitivity for the pollutants that have been analyzed in this study.

Introducción

Presentación del tema de investigación

El manglar es un tipo de ecosistema formado por un conjunto de árboles o arbustos cuyo hábitat son las costas, zonas tropicales y subtropicales, a su vez lleva a cabo funciones tales como proporcionar alimento y hábitat para ciertas especies de peces en sus estados larvarios, servir como una barrera natural frente a desastres naturales, ser biorremediadores del agua marina, controlar la erosión del suelo, ser productores de grandes cantidades de oxígeno, entre otras (Gaxiola, 2011).

En la actualidad, los manglares enfrentan serios problemas ocasionados por los impactos antropogénicos como por ejemplo: la sobreexplotación de sus recursos naturales y deforestación; los cuales son producto de los asentamientos poblacionales en las riveras del manglar o en zonas aledañas al mismo y esto conlleva a la pérdida de su productividad poniendo en riesgo su conservación (PNUMA, 2001).

Uno de los impactos más significativos son las aguas residuales, las mismas que resultan de la combinación de líquidos y restos sólidos provenientes de las poblaciones, después de haber sido utilizadas para actividades agrícolas, industriales y comerciales (Delgadillo et. al, 2010).

Según PNUMA (2001), en Latinoamérica y el Caribe solo el 2% de las aguas residuales poseen un tratamiento, provocando una disminución en la calidad de las aguas costeras. Por otra parte el 80% de las aguas residuales van a parar a cuerpos de agua directamente sin ningún tratamiento, agotando la capacidad depuradora de éstos, lo que conlleva a un proceso de eutrofización (PNUMA, 2001).

Para el caso de Ecuador, el 95% de las aguas residuales domésticas e industriales son descargadas a ríos, lagos, estuarios y el mar, esto se debe principalmente a la falta de alcantarillado con la que cuenta la población, y con el aumento poblacional, además del crecimiento de las actividades industriales el problema se agudiza aún más (López, 2011).

Por otro lado, en Ecuador la única ciudad del país que presenta un tratamiento completo de aguas residuales es Cuenca, pero de los 214 cantones del país, sólo 19 poseen algún

tipo de tratamiento de aguas residuales, en su mayoría lagunas de oxidación (López, 2011).

Esta deficiencia de servicios hace que recursos naturales como los manglares pierdan su biodiversidad y a la vez su funcionalidad (Gaxiola, 2011).

En la provincia de Esmeraldas se estima que se producen aproximadamente 4.257 m^3 de aguas residuales al día, las cuales son descargadas directamente al mar y a los ríos sin ningún tratamiento; en el cantón de esta provincia debido a la concentración de contaminantes del río Esmeraldas, el agua no es apta para el consumo humano (Estupiñán, 2013). El problema se genera debido a la presencia de industrias y comunidades que se asientan alrededor del río, los mismos que no tienen un sistema de alcantarillado adecuado, lo que resulta en el descargue directo de aguas industriales y domésticas al mismo, el agua se mantiene estática en el borde izquierdo del río Esmeraldas conllevando a la acumulación de una serie de contaminantes que son absorbidos por el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas, sobrepasando los límites máximos permisibles de la legislación ecuatoriana (Estupiñán, 2013).

Frente a los problemas serios de contaminación por aguas residuales que enfrentan hoy en día los ecosistemas, existen plantas capaces de absorber significativamente una serie de contaminantes presentes en el agua, ofreciendo una alternativa para el tratamiento de las mismas. A estas plantas se les denomina plantas macrófitas, las cuales son un tipo de vegetación herbácea acuática con aplicaciones como formar parte de la dieta alimenticia de peces, ganado e incluso el hombre o como fitorremediadoras del agua (Martelo & Borrero, 2012).

El uso de estas plantas se llevó a cabo como una medida de reposición por los daños ambientales que enfrenta el manglar, estas medidas forman parte de la valoración económica de los recursos naturales que busca un mejor manejo de los mismos, al mismo tiempo que estima un valor económico derivado de los impactos que hayan producido acciones o actividades en el manglar, por lo que el estudio de fitorremediación se llevó a cabo bajo esta metodología (Carbal, 2009).

Este estudio tomó como referencia las aguas residuales que van a dar al Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, debido al grado de

contaminación que éste presenta. Se hizo uso de dos macrófitas, lenteja de agua (*Lemna minor)* y Jacinto de agua *(Eichornia crassipes),* ya que son plantas con capacidad depuradora de contaminantes en el agua. Se evaluó la eficiencia de ambas bajo un constante monitoreo en el laboratorio, con el fin de observar el proceso de fitorremediación de cada una. Las muestras de agua fueron analizadas antes y después del proceso para constatar que efectivamente tienen el efecto buscado en el tratamiento de aguas residuales (Martelo & Borrero, 2012).

Para llevar a cabo la presente investigación se estableció como objetivo general evaluar el grado de absorción que presentan la lenteja de agua (*Lemna minor*) y jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) en aguas residuales de las riveras del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas bajo condiciones controladas de laboratorio y con la finalidad de asegurar la factibilidad de la misma se propusieron los siguientes objetivos específicos:

- Monitorear la concentración de los contaminantes presentes en las muestras de agua tomadas del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas antes y después del tratamiento con las plantas.
- Comparar la efectividad de cada una de las plantas en el proceso de fitorremediación.
- Identificar las relaciones de dominancia/abundancia entre ambas plantas para su uso en el tratamiento de aguas residuales del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas.
- Elaborar una propuesta de instalación de humedales artificiales para tratamientos de aguas residuales

Planteamiento del problema

¿Las plantas macrófitas: lenteja de agua *(Lemna minor)* y jacinto de agua *(Eichornia crassipes)* son eficaces para el tratamiento de aguas residuales del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas?

Justificación

Debido a la contaminación por aguas residuales presentes en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, es necesario buscar alternativas de remediación eficientes, de bajo costo y preferiblemente mediante el uso de métodos naturales, que mejoren la calidad del agua (Martelo & Borrero, 2012). Por ello se propuso el uso de plantas macrófitas debido a su capacidad de absorber exitosamente contaminantes presentes en el agua (Martelo & Borrero, 2012).

Hasta la actualidad no se han hecho estudios de la capacidad de fitorremediación con el uso de estas plantas macrófitas en el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas, para probar la efectividad de las mismas en el tratamiento de aguas residuales, por lo que este estudio será de gran importancia y aportará información relevante de las condiciones ambientales del manglar (De la Esse, 2015).

Bres, Crespo, Rizzo y Rossa (2012), dieron a conocer que las plantas macrófitas pueden absorber en gran medida contaminantes tales como: Pb, Cd, Cu, Fe, Ni, Mn, Zn y Cr VI, con una capacidad de absorción de entre 50 y 90% de remoción de dichos elementos que, frente a las plantas de tratamientos convencionales, sería una ventaja desde el punto de vista económico.

La principal ventaja obtenida a partir del uso de estas plantas lenteja de agua *(Lemna minor)* y jacinto de agua *(Eichornia crassipes)* es que son plantas macrófitas flotantes con capacidad depuradora (debido a que en sus raíces acumulan todos los contaminantes presentes en el agua), es su mecanismo de absorción propio de la fisiología de la planta sin necesidad de la aplicación de métodos convencionales y de alto costo para la eliminación de los contaminantes (Bres & Crespo 2012).

Según García (2012), las lentejas de agua, han sido utilizadas como indicadoras de aguas eutróficas ricas en nitratos y fosfatos, además de demostrar su capacidad para

remover niveles de DQO (demanda química de oxígeno) en mayores proporciones que las plantas de tratamiento de lodo activado.

Arroyave (2004) da a conocer que la lenteja de agua bajo condiciones controladas, es decir en laboratorio, es capaz de remover ortofosfato, cadmio, cobre, níquel, selenio, boro, plomo y cromo en 8 días, obteniendo resultados favorables, además de la simplicidad que requiere el mantenimiento de la planta que crece muy rápido, pero que a través de un control mecánico se puede retirar cierta cantidad y de esta manera evitar que se convierta en una plaga.

Una ventaja de usar las plantas macrófitas para fitorremediación es que producen condiciones idóneas para el crecimiento de organismos degradadores de sustancias contaminantes, la disposición de las hojas de estas plantas en la superficie de agua disminuyen la turbulencia lo que conlleva a una mayor acumulación de sedimentos, favorable para que las plantas puedan eliminar al máximo el contenido de materia orgánica y al mismo tiempo funcionen como controladoras de la proliferación de algas que en mayor concentración ocasionan problemas de eutrofización y por ende el aumento de sólidos suspendidos en el agua (Alvarado, 2006).

El jacinto de agua en cambio, por su propiedad para absorber del agua elementos como magnesio, fósforo, iones de potasio, calcio, hierro, amonio, sulfato, cloro, nitritos, fosfato y carbonatos, que son nutrientes importantes para su metabolismo hace que los obtenga naturalmente de las aguas contaminadas (García, 2012). Posee un sistema radicular que almacena microorganismos propios de las raíces, que tienen la capacidad de retener metales pesados como arsénico, mercurio y cadmio, además remueve compuestos orgánicos como fenoles, colorantes, ácido fórmico, pesticidas y disminuye niveles de demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) (García, 2012).

Comparado con el uso de plantas macrófitas, los métodos convencionales requieren altos costos y consumo de energía, requieren de operadores y sistemas de mantenimiento calificados, posible ruido de la maquinaria y altas variaciones de flujo, lo que puede alterar la degradación de los sólidos suspendidos (SS) y DQO (Alarcón & Alcala, 2011).

Objetivos

Objetivo general:

Evaluar el grado de absorción que presentan las plantas: lenteja de agua (*Lemna minor*) y jacinto de agua (*Eichornia crassipes*) en aguas residuales de las riveras del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas bajo condiciones controladas de laboratorio.

Objetivos específicos:

1. Monitorear la concentración de los contaminantes presentes en las muestras de agua tomadas del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas antes y después del tratamiento con las plantas.
2. Comparar la efectividad de cada una de las plantas en el proceso de fitorremediación.
3. Identificar las relaciones de dominancia/abundancia entre ambas plantas para su uso en el tratamiento de aguas residuales del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas.
4. Elaborar una propuesta de instalación de humedales artificiales para tratamientos de aguas residuales.

Capítulo I: Marco Teórico

Bases teóricas

La fitorremediación es el proceso mediante el cual las plantas macrófitas o plantas superiores se encargan de tratar aguas en mal estado (Delgadillo et. al, 2010).

Las plantas macrófitas son plantas vasculares, visibles a simple vista, que constituyen sistemas en los cuales captan la energía solar para transformarla en energía química que se usa en su metabolismo para realizar funciones vitales y al realizar dichas funciones ayuda en el tratamiento de las aguas residuales (Delgadillo, et al 2010).

Jacinto de agua (*Eichornia crassipes*)

El jacinto de agua es una planta macrófita perteneciente a la familia Pontederiaceae con raíces flotantes, de color azulado o lila, por lo general crece en climas cálidos y fríos, puede llegar a medir entre 0,5 a 1,5 metros de altura desde el ápice hasta la raíz, por su fácil crecimiento puede reproducir 70.000 plantas hijas en ocho meses y se desarrolla bien en pantanos, ríos, lagos, canales, zanjas y represas (Jaramillo & Flores, 2012)

Su crecimiento óptimo es alrededor de 25 a 30°C, requiere de iluminación intensa o semisombra. Existe una relación directa de la presencia de nitrógeno y fósforo en los tejidos de la planta, requiere de un Ph de 6,5 – 7,5, una dureza de 12 – 18 DH, por lo general se desarrolla bien en aguas fertilizadas con nitrógeno, fósforo, potasio y en pequeñas cantidades calcio, hierro boro, azufre, molibdeno, zinc, cobre y aluminio (Jaramillo & Flores, 2012).

Lenteja de agua *(Lemna minor)*

Es una planta herbácea flotante perteneciente a la familia Lemnaceae que posee un tamaño pequeño desde 1 hasta 15 mm de longitud, son consideradas una de las plantas más pequeñas y se las suele llamar plantas eutrófitas, debido a que crecen en aguas eutrofizadas (Miranda et al, 2010).

Son plantas que no poseen una distinción entre tallo y hoja y en su parte inferior, sus raíces suelen alcanzar una longitud de máximo 10 mm, según la cantidad de raíces y su morfología se puede identificar fácilmente de las otras especies que pertenecen a la misma familia. Su mecanismo de propagación es vegetativo, por medio de plantas hijas, por lo que esta puede llegar a duplicarse en número en tan sólo 24 horas. Una sola

planta hija puede producir de 10-20 más durante su ciclo de vida, por lo que tienen una gran productividad en biomasa (Miranda, et al 2010)

La temperatura óptima de crecimiento de esta planta es de 27°C con lo que puede duplicarse en 4 días. Tienen un mecanismo parecido al de los Jacintos de agua, por lo que se las suele utilizar para el tratamiento de aguas residuales con capacidad de remoción de elementos tales como: nitrógeno, fósforo, cobre, hierro, nitritos, nitratos, sólidos en suspensión y DBO_5.

Relación abundancia/dominancia

Es la relación existente entre el promedio de todas las especies que comparten la misma área y el número total de una especie con relación al resto dentro una misma área, lo cual permite determinar cuán competitiva es una especie con respecto a otra (Garro, 2002).

Aguas residuales

Las aguas residuales son aquellas que resultan de la combinación de restos líquidos y sólidos provenientes de actividades domésticas, comerciales, industriales, agrícolas y comunitarias (Delgadillo, et al 2010).

Parámetros que se deben analizar en las aguas residuales

Algunos de los parámetros que se analizan en las aguas residuales son:

Parámetros físicos

Dentro de los parámetros físicos que se deben considerar para las aguas residuales están:

- ***Sólidos:*** Es la cantidad de residuos en suspensión, coloidal y sedimentable (Macas & Montoya, 2015). En las aguas residuales se pueden encontrar tres tipos de sólidos, dentro de los cuales se encuentran los sólidos totales, que es la suma de los sólidos disueltos totales y los sólidos suspendidos totales, alrededor del 60% de los sólidos suspendidos totales en aguas residuales son sedimentables (García, 2012).

- ***pH:*** El pH tiene influencia en el tratamiento que se le da al agua y en los fenómenos que se llevan a cabo en ella, se considera que un pH en aguas no tratadas debería estar dentro de un rango de 5,0 a 9,0 (Barillas & Córcega, 2006).
  Se considera que aguas residuales con valores menores a 5 y mayores a 9 son de difícil tratamiento por métodos biológicos (García, 2012).

- ***Temperatura:*** Un incremento en la temperatura puede influir en la degradación de la materia orgánica, las descargas de aguas residuales poseen una temperatura diferente al medio natural que pueden alterar el ecosistema y por ende el hábitat de los organismos que viven en él (Macas & Montoya, 2015).

Parámetros químicos

La importancia de los parámetros químicos tiene que ver con el efecto que tiene sobre las especies, sean estas vegetales o animales y solo pueden ser determinados en pruebas de laboratorio (García, 2012).

- ***Oxígeno disuelto:*** Este parámetro se incorpora al agua por medio de un intercambio entre la atmósfera y el agua, al mismo tiempo que es utilizado como indicador de contaminación en los cuerpos de agua en donde se consideran los valores de saturación de ésta para determinar el grado de contaminación (Capó, 2002).

- ***Conductividad:*** Es la capacidad que tiene el agua para conducir corriente eléctrica y da a conocer la presencia de sales en el agua y se mide en micro siemens/l (u/l), puede ser calculado en laboratorio o en campo (Macas & Montoya, 2015).

- ***Metales:*** Los metales en el agua suelen ser producto de actividades industriales o a las condiciones naturales del medio, algunos perjudiciales para la salud como es el caso del arsénico, cadmio, plomo, hierro, mercurio, níquel, cromo y zinc, entre otros. La unidad para medir cada uno de estos elementos es ppm o µg/l (Capó, 2002).

Antecedentes

El Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario del Río Esmeraldas siempre ha enfrentado problemas debido a la contaminación de las aguas residuales producto de los asentamientos de la población aledaña al manglar, la falta de alcantarillado y la mala disposición de desechos sólidos ha conllevado a la degradación del mismo, por lo cual se planteó llevar a cabo un proceso de fitorremediación mediante el uso de plantas macrófitas para reducir la contaminación por aguas residuales (Estupiñán, 2013).

Estas plantas se han usado desde hace muchos años atrás, la Universidad de la Florida, Harvey y Fox en 1973 aplicaron técnicas de fitorremediación con lentejas de agua, obteniendo resultados de 89% y 67% en la remoción de nitrógeno y fósforo respectivamente (Martelo & Borrero, 2012).

A lo largo de la historia, los tratamientos de fitorremediación con plantas macrófitas se han considerado como una técnica innovadora para la recuperación de aguas residuales, convirtiéndose en una alternativa más limpia y de bajos costos con relación a los métodos convencionales actuales, tal es el caso de países como: México, Perú, Colombia y Venezuela, donde se han llevando a cabo estudios de fitorremediación obteniendo resultados favorables (Poveda, 2014).

Varios autores han dado a conocer que *Eichornia crassipes* puede disminuir los niveles de Ph de 10.4 a 6.83 y los valores de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) los puede disminuir en un 96. 7%, mientras que la capacidad de remoción de *Lemna minor* puede variar entre 50% y 100% con un periodo de retención de 5 días (García Z. , 2012).

A nivel nacional, los tratamientos de fitorremediación se han aplicado para la remoción de metales pesados en aguas industriales y residuales, en los cuales las especies macrófitas en estudio han demostrado alta eficiencia de remoción con porcentajes de 50% a 80% (León & Lucero, 2009, Poveda, 2014, Armijos, 2015 y Salazar & Sánchez, 2015). Sin embargo, a nivel local no se ha llevado a cabo ningún estudio concerniente al tratamiento de aguas residuales mediante el uso de plantas macrófitas.

Marco legal

El manglar es un ecosistema considerado especial por la biodiversidad que alberga y que es de gran importancia al servir de albergue para aves acuáticas, flora y fauna silvestre, que actualmente están siendo amenazadas, también por actuar como filtro en la absorción de dióxido de carbono (MAE, 2004). Es por ello que como parte de su preservación, el gobierno Ecuatoriano tiene un sin número de regulaciones y leyes para la seguridad del mismo. Para la finalidad de este estudio se hizo énfasis en las siguientes regulaciones o leyes:

El Convenio de Diversidad Biológica (CDB) considera al ecosistema manglar como uno de los 5 ecosistemas frágiles convirtiéndose en un tema de interés para el Ecuador, principalmente por la riqueza ecológica que posee, además mediante el Decreto Ejecutivo 1102, el cual menciona que las poblaciones ancestrales que viven cerca del manglar pueden hacer uso de sus recursos de una manera sustentable (MAE, 2010).

El Ministerio Ambiente ha emitido desde 2004, 26 acuerdos acerca del uso sustentable de los manglares, trece de los cuales se encuentran en la provincia de Esmeraldas (MAE, 2010).

El acuerdo ministerial N° 005 creado el 2 de agosto del 2005, por ejemplo que en su art. 1 establece las temporadas de veda y hacer un mayor control del tamaño de la concha en los manglares de Esmeraldas, donde se prohíbe la captura y comercialización de esta si llegara a tener un tamaño menor a 4,5 centímetros (MAGAP, 2008).

Otro ejemplo es el acuerdo ministerial N° 198 creado el 9 de julio del 2014 con una duración de 10 años, en donde el Ministerio del Ambiente crea un programa denominado “Socio manglar”, en su art. 3 acuerda proporcionar incentivos económicos para asegurar la conservación del manglar, mediante la firma y compromiso voluntario de asociaciones que hicieran un uso sustentable del manglar, dentro de estas asociaciones estaban: pescadores artesanales, recolectores de concha y cangrejo (Gaibor s.f).

Ley Orgánica de Conservación y Restauración del Ecosistema Manglar, donde se establecen las temporadas de veda, además de hacer revisiones del estado del manglar (MAE, 2011).

El art. 14 de la Constitución establece la importancia de la población de vivir en un ambiente sano (MAE, 2008).

En el art. 405 de la Constitución acerca del Patrimonio natural y ecosistemas, el manglar es considerado como un área protegida en donde se deben conservar sus funciones (MAE, 2008)

El art. 20 del Texto Unificado de Legislación Secundaria y Manejo Ambiental, libro V, que habla acerca de gestión de los recursos costeros, da a conocer que los manglares son considerados bosques protectores, es por eso que dada la importancia que tiene el manglar para el mantenimiento de la biodiversidad, funciones ecológicas y medio de subsistencia de poblaciones ancestrales, el estudio se llevará a cabo en este ecosistema (MAE, 2008).

El art. 406 de la Constitución sección 2, acerca de los ecosistemas frágiles el Estado debe velar por la recuperación, conservación y manejo equilibrado de los ecosistemas vulnerables incluido el manglar (MAE, 2008).

El art. 52 del TULSMA prohíbe la construcción de cualquier infraestructura que pueda representar un peligro potencial para el mantenimiento de las condiciones naturales del manglar (MAE, 2008). Estos artículos se vinculan al hecho de que en la actualidad el manglar enfrenta serios problemas asociados a la contaminación por aguas residuales y en el presente estudio se hizo un análisis de las muestras de agua presentes en el mismo (MAE, 2008).

En el TULSMA, en su apartado que trata acerca de las normas generales para descarga de efluentes en aguas estuarinas también se indica que las descargas directas al manglar deben ser recolectadas para ser analizadas según las normas nacionales, razón por la cual este apartado es importante para el presente estudio ya que se hicieron análisis de aguas antes y después del tratamiento de fitorremediación para probar la eficacia de las macrófitas, y hacer comparaciones con los límites máximos permisibles contenidos en el Anexo 1 del Libro VI del TULSMA, para la conservación de la flora y fauna del manglar (TULAS, 2003).

Las aguas residuales presentes en el manglar del cantón Esmeraldas no solo representan una amenaza para la flora y fauna acuática del mismo, sino también para los habitantes

cercanos a este, por la proliferación de enfermedades que atentan contra la salud de las personas, por ello según el art. 6, capítulo II de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación queda prohibido descargar aguas residuales que sean nocivas para la salud humana, la fauna, flora y las propiedades de estas (MAE, 2008)

El art. 6, capítulo II de la Ley de Prevención y Control de la Contaminación se dice que no se deben descargar aguas residuales peligrosas para la fauna, flora, salud humana y propiedades de esta, lo cual fue relevante para este estudio ya que mediante los análisis de agua en el manglar se pudo corroborar que las concentraciones de los contaminantes representan una amenaza para la salud de los seres humanos, la flora y fauna acuática presente en este (MAE, 2008).

Capítulo II: Material y método

Área de estudio

El cantón de Esmeraldas, se encuentra ubicado en las costas del Océano Pacífico, zona central de la provincia de Esmeraldas a 300 km de Quito, posee una temperatura media de 25 °C y máxima de 26,2 °C. Al ser una región tropical muy húmeda, alberga ecosistemas como: manglares, marino costeros y estuarinos, de agua dulce, humedales, bosques húmedos y bosques secos tropicales (Cruz, 2013).

El Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas (figura 1) se creó el 13 de junio del 2008, mediante Acuerdo No.096 del Ministerio del Ambiente, el mismo que posee alrededor de 242,58 hectáreas, las cuales están conformadas por bosque de mangle, esteros y canales naturales. Este refugio se encuentra en la desembocadura del río Esmeraldas en el océano Pacífico, entre la ciudad de Esmeraldas y Tachina, con coordenadas -79.6462 N – 0.97421 O. (SNAP, 2015).

El estudio se llevó a cabo en el manglar del cantón Esmeraldas, para lo cual se tomó tres puntos de muestreo en el manglar (figura 2, tabla 1):

Zona 1, Barrio Santa Martha 2: Se encuentra ubicado atrás del gran AKÍ

Zona 2, Barrio 5 de junio: Se encuentra ubicado detrás de una cancha de fútbol.

Zona 3, Barrio Bella vista norte: Se encuentra ubicado por los puentes vía Tachina

Tabla 1;
Coordenadas de los puntos de muestreo.

COORDENADAS	
Zona 1	-17N0650437; 0107416
Zona 2	-17N0650153; 0107818
Zona 3	-17N0650106; 0108086

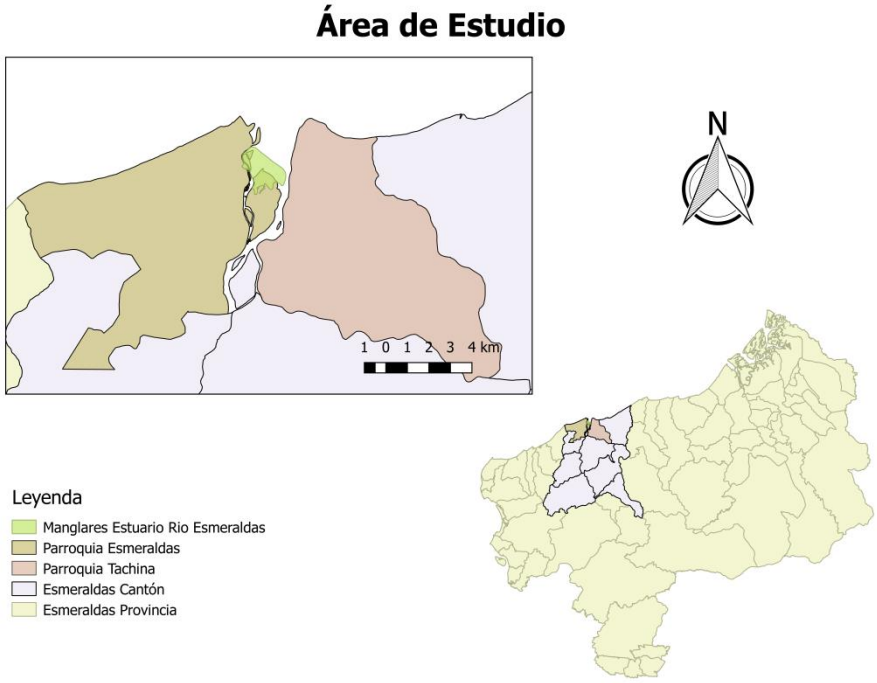


Figura 1. Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas.

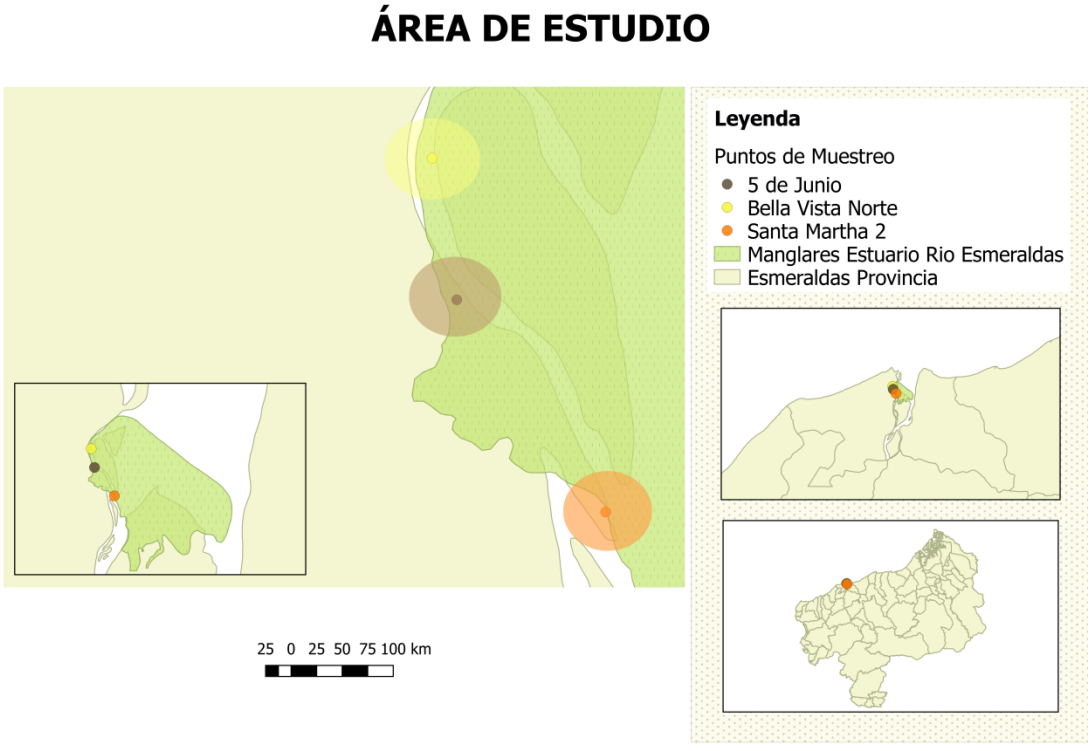


Figura 2. Puntos de muestreo.

Recolección de datos

Muestras de agua

Los muestreos en el manglar se realizaron cada quince días por un periodo de tres meses. Los puntos de muestreo estuvieron georreferenciados con un GPS Garmin eTrex® H y para la recolección de las muestras de agua se utilizaron botellas plásticas con capacidad de 6 litros que fueron introducidos en el cuerpo de agua a una profundidad de 25 cm y llenadas completamente. Una vez recogidas las muestras de agua, éstas fueron etiquetadas, con la zona de estudio, la hora, la fecha, el número de muestra y el punto de muestreo (IDEAM, 2007).

Las muestras de agua fueron transportadas al laboratorio de la escuela de Gestión Ambiental para su posterior análisis.

El análisis de agua se realizó el mismo día de la toma de muestras y después de 8 días al haber sido tratada con las plantas.

Plantas macrófitas

De acuerdo a la metodología aplicada por (Jaramillo & Flores, 2012), se colocaron las plantas en bandejas plásticas con capacidad de 1 y 3 litros (tomando en cuenta la longitud de las raíces de las plantas) para el proceso de fitorremediación y para el cultivo de ambas plantas se utilizaron tinas con capacidad para 20 litros.

En cada tina se colocó una cantidad específica de plantas, que estuvo entre 10 a 20 individuos para el caso de la lenteja de agua y 2 individuos para el caso del jacinto de agua, ya que los tamaños y pesos de ambas plantas son diferentes (García, 2012). Además antes y después del proceso de fitorremediación ambas plantas fueron pesadas con una balanza electrónica con la finalidad de verificar cuánto crecieron y se las mantuvo en un lugar con aireación continua y presencia de luz a temperatura ambiente (García, 2012).

Debido a la alta producción de las macrófitas en la fase de fitorremediación fue necesario hacer un proceso de remoción de estas, con la finalidad de evitar que se acumulen en gran cantidad e impidan el paso de luz hacia la superficie de las bandejas con las muestras de agua residual, este proceso de remoción se realizó cada 3 días a la misma hora de manera manual, además se retiraron aquellas plantas que tenían coloraciones marrones (lo que indica que la planta se está descomponiendo), con el

objetivo de evitar que se acumulen agentes patógenos que conlleven a la contaminación del agua a tratar (Borrero, 1999).

Proceso de fitorremediación

Pasados los 10 días de la reproducción de ambas plantas, se procedió a tomar los individuos jóvenes para posteriormente ser colocados en las muestras de agua residual y de esta manera dar inicio al proceso de fitorremediación (García, 2012). Para ambos casos se procedió a retirar los individuos que estuvieran en proceso de descomposición, producto de la acumulación de contaminantes, y se colocaron nuevos individuos para que el tratamiento del agua cumpliera el tiempo establecido y se llevara a cabo correctamente (Borrero, 1999).

A los 8 días del tratamiento con plantas se procedió a hacer un nuevo análisis de agua para comparar con los resultados obtenidos inicialmente.

Disposición final de macrófitas

La disposición final de las macrófitas se llevó a cabo en tres fases:

Fase 1: Etiquetado

Las macrófitas fueron etiquetadas y almacenadas en fundas Ziploc, con la finalidad de aislar cualquier agente patógeno presente en las plantas luego de haber sido utilizadas para el proceso de fitorremediación.

Fase 2: Fase de almacenamiento

Al finalizar el proceso de fitorremediación, las plantas fueron almacenadas en fundas plásticas, luego fueron depositadas en una caja de madera hermética, para luego ser entregadas a una empresa responsable de residuos peligrosos.

Fase 3: Entrega de muestras

Las muestras que quedaron como residuo del proceso de fitorremediación fueron entregadas cada 15 días a la empresa INCINEROX, ya que se trata de una empresa que se encarga de darle disposición final a los residuos peligrosos, a través de procesos de estabilización y solidificación química, para luego almacenar las muestras en celdas de seguridad.

Muestras radiculares

Para la ejecución de la investigación se midió el sistema radicular de ambas especies al inicio y al final del proceso de fitorremediación, debido a que son zonas consideradas micrositios para albergar comunidades bacterianas que llevan a cabo el tratamiento de aguas residuales, por ende su crecimiento está directamente relacionado con la cantidad de nutrientes que capten del medio (García, 2012).

Relación abundancia/dominancia

Para determinar la relación abundancia/dominancia de ambas plantas se procedió a pesar las especies por separado antes de ser introducidas en las tinas plásticas, tomando en cuenta que ambas especies poseen tamaños diferentes, este método se aplicó con la finalidad de observar el comportamiento de ambas plantas cuando comparten el mismo espacio, a más de conocer si este tratamiento es más eficiente que los otros dos en los que se utilizan las especies por separado (Jumbo & Campoverde, 2012).

Análisis de parámetros fisicoquímicos in situ

En campo se tomaron parámetros fisicoquímicos con la finalidad de conocer el estado ambiental del manglar, para lo cual se tomaron parámetros de: conductividad, temperatura, sólidos disueltos totales y pH. Dichos parámetros fueron tomados la sonda multiparamétrica CTD. Los muestreos se hicieron siempre en la mañana, los parámetros se tomaron siempre a la misma hora y en bajamar.

Análisis en laboratorio

Hach DR 900

Para el análisis de los parámetros químicos en el laboratorio se procedió a hacer uso del colorímetro marca Hach DR 900, el cual está diseñado para medir soluciones contenidas en celdas de análisis, mediante el uso de reactivos en polvo dependiendo del parámetro que se quiera medir (Hach, 2000). Para hacer uso del colorímetro también fue conveniente elaborar una muestra denominada blanco, que fue aquella que tenía la misma cantidad de la muestra a analizar pero sin el reactivo, que indica la presencia del parámetro que se esté calculando, ya que la máquina debe tener una muestra referencia para poder hacer los cálculos correctos (Hach, 2000). También antes de determinar la concentración de cada uno de los parámetros se programó el colorímetro para indicarle

el parámetro que se quería medir y en qué rango sea este alto, medio o bajo (Hach, 2000).

Para los reactivos que sobrepasaron el rango máximo que podía medir el colorímetro, se procedió a diluir la muestra con agua destilada, hasta que el colorímetro registrara una concentración que estuviera dentro del rango medible.

Los parámetros que se midieron en el colorímetro fueron:

- hierro
- ortofosfato
- cobre
- nitritos
- nitratos
- cromo hexavalente

Análisis de datos

Se analizaron 4 factores o tratamientos y 6 repeticiones por cada uno. Los tratamientos empleados en el estudio fueron:

- Tratamiento 1: el agua residual sin plantas (grupo control)
- Tratamiento 2: agua residual con lenteja de agua
- Tratamiento 3: agua residual con jacinto de agua
- Tratamiento 4: jacinto de agua con lenteja de agua y agua residual.

Se obtuvieron un total de 24 muestras, además de los parámetros que se midieron con el colorímetro HACH antes y después del tratamiento con las plantas. Para el procesamiento de datos se tomó en cuenta el crecimiento longitudinal de las raíces y la parte emergente de las plantas estudiadas.

Para el presente estudio se aplicaron análisis de ANOVA de datos repetidos de una vía y test de Tukey en el programa estadístico SPSS.

Cada uno de los análisis aplicados sirvió para obtener información detallada acerca del comportamiento de los datos a lo largo del estudio.

Capítulo III: Resultados

Análisis de agua previo a la fitorremediación

En la tabla 2, se puede apreciar que en la zona 3 (Bellavista Norte) los niveles de nitritos (NO2), nitratos (NO3) y ortofosfatos (PO4) tuvieron mayor concentración, mientras que los niveles de hierro (Fe), cobre (Cu) y Cromo VI (Cr VI) presentaron mayor concentración en la zona 2 (5 de Junio). No se observaron diferencias significativas en la concentración de los parámetros con respecto a la zona de estudio.

Tabla 2;

Variación de los contaminantes en las muestras de agua residual

Lugar	NO2	NO3	Fe	Cu	PO4	Cr VI
	Unidad (mg/l)					
Zona 1	3,52	3,93	0,39	0,96	2,81	0,01
Zona 2	1,77	1,47	**0,65**	**2,18**	1,89	**0,06**
Zona 3	**5,87**	**4,15**	0,51	1,86	**4,09**	0,00
Sig	0,22	0,20	0,40	0,08	0,35	0,37

Nota: Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia; NO2: Nitritos; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente; mg/l: miligramos/litro.

Parámetros fisicoquímicos

Temperatura

En la tabla 3 se aprecia que el tratamiento con mayor eficiencia en la disminución de temperatura fue el tratamiento dos *(Eichornia crassipes)* con un promedio de -2,60% en relación al resto de tratamientos. Los tratamientos mostraron diferencias significativas en la disminución de temperatura.

Al comparar los tratamientos, se pudo apreciar que las medias del tratamiento uno (Control) fue diferente a las medias del resto de tratamientos, lo cual indica que no hay diferencias significativas entre los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*), tres (*Lemna minor*) y cuatro *(Eichornia crassipes* y *Lemna minor)*, sin embargo, entre el grupo control y el resto de tratamientos si se observaron diferencias significativas.

Tabla 3;

Análisis de temperatura promedio inicial y final por tratamientos

Tratamientos	Temperatura °C													
	Zona 1		PT	Zona 2		PT	Zona 3		PT	Promedio	Desviación estándar	HDS de Tukey	Test de Tukey	Anova (Sig)
	Inicial	Final	(%)	Inicial	Final	(%)	Inicial	Final	(%)	(%)				
T 1	26,37	26,40	0,11	26,20	26,22	0,08	26,42	26,44	0,08	0,09	0,14±0,74	-	-	
T 2	26,23	25,86	-1,43	26,02	25,44	-2,23	26,33	25,24	-4,14	**-2,60**	0,31±0,64	0,01	T1a T2b	0,01
T 3	26,17	25,98	-0,73	26,14	25,38	-2,91	26,38	25,35	-3,90	-2,51	0,33±0,20	0,02	T1a – T3b	
T 4	26,26	25,96	-1,16	26,13	25,60	-2,03	26,36	25,47	-3,38	-2,19	0,25±0,38	0,01	T1a – T4b	

Nota: °C: Grado centígrados; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes;* T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; *Zona* 1: Santa Martha; PT: Porcentaje total de eficiencia de los tratamientos; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia

*Nota: Valores menores a 0,05 indican diferencias significativas; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra.

Conductividad

En la tabla 4 se aprecia que el tratamiento dos (*Eichornia crassipes)* obtuvo diferencias significativas en la disminución de conductividad, con un nivel de eficiencia de - 49,62% en la disminución de éste parámetro en comparación a los otros tratamientos, en los cuales no se observaron diferencias significativas.

De acuerdo al test de Tukey, el tratamiento uno (Control) tuvo diferencias significativas con respecto al resto tratamientos, dado que las medias del resto de grupos fueron iguales entre sí.

Tabla 4;
Análisis de conductividad promedio inicial y final por tratamientos

Conductividad (µs/cm)														
Tratamientos	**Zona 1**		**PT**	**Zona 2**		**PT**	**Zona 3**		**PT**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**HDS de Tukey**	**Test de tukey**	**Anova (sig.)**
	Inicial	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**(%)**				
T 1	18149,13	18299,50	0,83	27443,82	27515,13	0,26	30683,21	30756,36	0,24	0,44	6462±8,00	-	-	0,000
T 2	18024,32	9338,83	-48,19	27234,12	14623,88	-46,30	30432,18	13885,58	-54,37	**-49,62**	2795±1,24	0,00	T1a – T2b	
T 3	18132,23	9830,35	-45,79	27489,08	15058,29	-45,22	30573,09	14158,86	-53,69	-48,23	2862±1,02	0,00	T1a – T3b	
T 4	18112,78	9899,82	-45,34	27321,32	15196,07	-44,38	30488,31	14323,06	-53,02	-47,58	2839±5,26	0,00	T1a – T4b	

Nota: µs/cm: microsiemens/centímetros; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes;* T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; *Zona* 1: Santa Martha; PT: Porcentaje total de eficiencia de los tratamientos; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia
*Nota: Valores menores a 0,05 indican diferencias significativas; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra

Oxígeno disuelto

De acuerdo a la tabla 5, se observa que el tratamiento dos (*Eichornia crassipes)* logró aumentar el contenido de oxígeno disuelto en el agua en mayor grado, ya que obtuvo un porcentaje de 82,87%, al mismo tiempo se observa que hubo diferencias significativas en los tratamientos dos (*Eichornia crassipes),* tres *(Lemna minor)* y cuatro (*Eichornia crassipes* y *Lemna minor*) en este parámetro, por lo cual en el test de Tukey todos los tratamientos mostraron comportamientos diferentes entre sí.

Tabla 5;

Análisis de oxígeno disuelto promedio inicial y final por tratamientos

Oxígeno disuelto (mg/l)														
Tratamientos	**Zona 1**		**PT**	**Zona 2**		**PT**	**Zona 3**		**PT**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**HDS de Tukey**	**Test de Tukey**	**Anova (Sig)**
	Inicial	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**(%)**				
T 1	3,87	3,99	3,10	3,57	3,69	3,36	4,24	4,28	0,94	2,47	0,29±0,29	-		
T 2	3,85	6,86	78,18	3,54	7,00	97,74	4,32	7,46	72,69	**82,87**	0,20±0,20	0,00	T1a – T2b	0,00
T 3	3,84	5,20	35,42	3,58	5,06	41,34	4,23	5,50	30,02	35,59	0,37±0,37	0,00	T1a - T2b – T3c	
T 4	3,85	5,81	50,91	3,54	6,06	71,19	4,12	6,33	53,64	58,58	0,94±0,94	0,01	T1a - T3c – T4d	

Nota: mg/l: miligramos/litros; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes;* T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; *Zona* 1: Santa Martha; PT: Porcentaje total de eficiencia de los tratamientos; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia

*Nota: Valores menores a 0,05 indican diferencias significativas; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra

pH

En la tabla 6 se nota que el tratamiento dos *(Eichornia crassipes)* tuvo mayor grado de eficiencia en la disminución de pH comparado con los tratamientos tres *(Lemna minor)* y custro *(Eichornia crassipes con Lemna minor)* con un promedio de -1,26%. Sin embargo de acuerdo al grado de significancia, los tres tratamientos tuvieron diferencias significativas. De acuerdo al test de Tukey, hubieron diferencias significativas entre el tratamiento uno (Control) y el tratamiento dos *(Eichonia crassipes).*

Tabla 6;
Análisis de pH promedio inicial y final por tratamientos

pH														
Tratamientos	**Zona 1**		**PT**	**Zona 2**		**PT**	**Zona 3**		**PT**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**HDS de Tukey**	**Test de Tukey**	**Anova (Sig)**
	Inicial	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**(%)**				
T 1	7,03	7,05	0,28	7,12	7,16	0,56	7,23	7,30	0,97	0,60	1,25±0,25	-	T1a – T2b	0,02
T 2	7,08	7,02	-0,85	7,10	7,04	-0,85	7,20	7,05	-2,08	**-1,26**	0,35±0,35	0,02		
T 3	7,07	7,08	0,14	7,07	7,04	-0,42	7,21	7,11	-1,39	-0,56	0,15±0,15	-		
T 4	7,03	7,07	0,57	7,11	7,09	-0,28	7,20	7,11	-1,25	-0,32	0,20±0,20	-		

Nota: T1: Control; T2: *Eichornia crassipes;* T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; *Zona* 1: Santa Martha; PT: Porcentaje total de eficiencia de los tratamientos; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia
*Nota: Valores menores a 0,05 indican diferencias significativas

Sólidos suspendidos

Según la tabla 7, a diferencia de los tratamientos tres *(Lemna minor)* y cuatro *(Eichornia crassipes con Lemna minor),* el tratamiento dos *(Eichornia crassipes),* tuvo una eficiencia de disminución de sólidos suspendidos de -54,12%, además se puede notar que los tres tratamientos tuvieron diferencias significativas en la remoción de sólidos suspendidos.

Para el análisis entre grupos, el test de Tukey dio a conocer que tratamiento uno (Control) tuvo diferencias significativas en relación a los tres tratamientos restantes, los cuales manifestaron el mismo comportamiento.

Tabla 6;
Nivel de eficiencia de los tratamientos en los sólidos suspendidos

Sólidos suspendidos (mg/l)														
Tratamientos	**Zona 1**		**PT**	**Zona 2**		**PT**	**Zona 3**		**PT**	**Promedio**	**Desviación estándar**	**HDS de Tukey**	**Test de Tukey**	**Anova (Sig)**
	Inicial	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**	**Inicial**	**Final**	**(%)**					
T 1	9467,32	10731,20	13,35	16342,12	17295,17	5,83	18679,23	19670,00	5,30	8,16	4630±1,12	-		
T 2	11178,81	4777,50	-57,26	16183,29	7677,33	-52,56	18597,31	8829,00	-52,53	**-54,12**	2107±1,63	0,00	T1a – T2b	0,00
T 3	11247,34	5732,83	-49,03	16254,11	8558,33	-47,35	18423,12	9853,50	-46,52	-47,63	2087±6,62	0,00	T1a – T3b	
T 4	11576,24	5551,16	-52,05	16231,03	7745,21	-52,28	18571,06	9236,14	-50,27	-51,53	2039±4,63	0,00	T1a – T4b	

Nota: mg/l: miligramos/litro; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes;* T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; *Zona* 1: Santa Martha; PT: Porcentaje total de eficiencia de los tratamientos; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia
*Nota: Valores menores a 0,05 indican diferencias significativas; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra

Análisis de agua antes y después de fitorremediación

Se observa que en la tabla 8, el tratamiento que tuvo mayor eficiencia de remoción de contaminantes en términos generales fue el tratamiento tres *(Lemna Minor)*, dado que obtuvo un promedio de 77,20% de eficiencia de remoción.

Hubo diferencias significativas de los tratamientos y la remoción de contaminantes, siendo los parámetros de nitratos (NO3), hierro (Fe) y cobre (Cu) los que mostraran diferencias significativas con respecto al resto de parámetros donde no se observó diferencias significativas.

De acuerdo al test de tukey en la remoción de nitratos (NO3) y hierro (Fe), los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*) y tres (*Lemna minor*) mostraron diferencias significativas con respecto al tratamiento uno (Control), mientras que en el caso del cobre (Cu), el tratamiento cuatro (*Eichornia crassipes* y *Lemna minor*) tuvo diferencias significativas con respecto a los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*) y tres (*Lemna minor*), quienes mostraron el mismo comportamiento.

Tabla 8;
Proceso de fitorremediación en la Zona 1

Zona 1													
Tratamientos	**NO2 (mg/l)**	**PR (%)**	**NO3 (mg/l)**	**PR (%)**	**Fe (mg/l)**	**PR (%)**	**Cr VI (mg/l)**	**PR (%)**	**Cu (mg/l)**	**PR (%)**	**PO4 (mg/l)**	**PR (%)**	**Promedio (%)**
T 1	3,52	-	3,96	-	0,39	-	0,01	-	0,90	-	2,81	-	-
T 2	36,02	-90,26+	0,25	-93,64+	0,19	50,00	0	**100,00**	2,47	-63,56+	3,04	-7,89+	13,66
T 3	0,01	**99,72**	0,27	93,13	0,07	**81,58**	0	**100,00**	0,40	**55,56**	1,87	**33,21**	**77,20**
T 4	23,54	-85,09+	0,10	**-97,46+**	0,17	55,26	0	**100,00**	3,12	-71,15+	3,32	-15,66+	13,47
Sig	0,89		0,04*		0,00*		0,41		0,02*		0,88		
Test de Tukey	-		T1a T2b p=0,01 T1a T3b p=0,01		T1a T2b p=0,01 T1a T3b p=0,01		-		T4a T2b p=0,04 T4a T3b p=0,04		-		

Nota: Zona 1: Santa Martha; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes*; T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna* minor; NO2: Nitritos; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente
*Valores con signos + indican aumento del contaminante presente en el agua residual; valores con asteriscos indican que hay diferencias significativas y valores en negrita indican mayor porcentaje de remoción; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra

Se aprecia en la tabla 9 que el tratamiento tres (*Lemna minor*) obtuvo el mayor porcentaje de remoción, comparado con lo tratamientos dos *(Eichornia crassipes)* y cuatro *(Eichornia crassipes* con *Lemna minor)* con un promedio de 59,49%, sin embargo se observa que ninguno de los tres tratamientos logró disminuir la concentración de cobre (Cu), además a diferencia de la tabla 11, en este caso el tratamiento dos *(Eichornia crassipes)*, fue quien obtuvo mayor porcentaje de remoción de ortofosfatos (PO4), en comparación con el resto de tratamientos, además el hierro (Fe) fue el único en el que los tratamientos mostraron diferencias significativas.

En el test de Tukey se pudo notar que en la remoción de hierro solamente hubieron diferencias significativas entre el tratamiento uno (Control) y el tratamiento tres (*Lemna minor*).

Tabla 9;

Proceso de fitorremediación en la Zona 2

	Zona 2												
Tratamientos	**NO2 (mg/l)**	**PR (%)**	**NO3 (mg/l)**	**PR (%)**	**Fe (mg/l)**	**PR (%)**	**Cr VI (mg/l)**	**PR (%)**	**Cu (mg/l)**	**PR (%)**	**PO4 (mg/l)**	**PR (%)**	**Promedio (%)**
T 1	2,50	-	2,00	-	0,79	-	0,05	-	0,19	-	2,38	-	
T 2	21,60	-88,43+	0,00	**100,00**	0,28	64,56	0,00	**100**	3,65	-94,79+	0,64	**73,11**	25,74
T 3	0,00	**100,00**	0,00	**100,00**	0,04	**94,94**	0,00	**100**	3,35	-94,33+	1,04	56,30	**59,49**
T 4	0,00	**100,00**	0,00	**100,00**	0,03	96,20	0,03	66,67	4,34	-95,62+	3,08	-22,73+	40,75
Sig.	0,20		0,46		0,04*		0,37		0,95		0,55		
Test de Tukey	-		-		T1a T3b p=0,03				-		-		

Nota: Zona 2: 5 de Junio; T1: Control; T2: *Eichornia crassipes*; T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna* minor; NO2: Nitritos; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente

*Valores con signos + indican aumento del contaminante presente en el agua residual; valores con asteriscos indican que hay diferencias significativas y valores en negrita indican mayor porcentaje de remoción; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra.

Al igual que en las tablas 8 y 9, en la tabla 10 el tratamiento tres *(Lemna Minor)* fue más eficiente que el resto de tratamientos ya que obtuvo un promedio de 24,76%. Cabe indicar que el tratamiento dos (*Eichornia Crassipes*) obtuvo un porcentaje de remoción de 73,33%, en relación a los demás tratamientos, así mismo, el tratamiento cuatro (*Eichornia crassipes* con *Lemna minor*) logró eliminar en un 97,44% los niveles de hierro (Fe), en comparación con los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*) y tres (*Lemna minor*).

El test de Tukey dio a conocer que en los niveles de hierro (Fe) el tratamiento uno (Control) tuvo diferencias significativas con respecto a los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*), tres *(Lemna minor)* y cuatro (*Eichornia crassipes* con *Lemna minor*). En la remoción de nitratos (NO3), el tratamiento tres *(Lemna minor)* tuvo diferencias significativas con relación al tratamiento uno (Control), mientras que en el caso de los niveles de ortofosfatos (PO4) el tratamiento dos (*Eichornia crassipes*) fue quien presentó diferencias significativas con respecto al tratamiento uno (Control).

Tabla 10;
Proceso de fitorremediación en la Zona 3

Zona 3													
Tratamientos	**NO2 (mg/l)**	**PR (%)**	**NO3 (mg/l)**	**PR (%)**	**Fe (mg/l)**	**PR (%)**	**Cr VI (mg/l)**	**PR (%)**	**Cu (mg/l)**	**PR (%)**	**PO4 (mg/)**	**PR (%)**	**Promedio (%)**
T 1	1,10	-	3,00	-	1,17	-	0,00	-	0,68	-	2,40	-	-
T 2	21,60	-94,91	0,00	**100,00**	0,28	76,07	0,01	-100,00	3,65	-81,37	0,64	**73,33**	-4,48
T 3	0,00	**100,00**	0,00	**100,00**	0,04	96,58	0,02	-100,00	3,35	-79,70	1,64	31,67	**24,76**
T 4	0,02	98,18	0,60	80,00	0,03	**97,44**	0,03	-100,00	3,12	-78,21	3,32	-27,71	11,62
Sig.	0,22		0,00*		0,04*		0,41		0,97		0,03*		
Test de Tukey	-		T1a T2b p= 0,01 T1a T3b p=0,01 T1a T4b p=0,01		T1a T3b p=0,03		-		-		T1a T2b p=0,02		

Nota: T1: Control; T2*: Eichornia crassipes*; T3: *Lemna minor*; T4: *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*; NO2: Nitritos; PR: Porcentaje de remoción; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente; Zona 3: Bellavista Norte
*Valores con signos + indican aumento del contaminante presente en el agua residual y valores en negrita indican mayor porcentaje de remoción; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra.

Estimación de la biomasa y abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación

En la tabla 11 se aprecia que los tratamientos experimentaron pérdida de biomasa, sin embargo en el tratamiento cuatro (*Eichornia crassipes* con *Lemna minor*), la especie *Eichornia crassipes* fue la única que tuvo un porcentaje de crecimiento de 1,72% y 3,53%.

En los tratamientos dos (*Eichornia crassipes*) y tres (*Lemna minor*), hubo diferencias significativas de la biomasa solamente en las zonas 1 (Santa Martha) y dos (5 de Junio). En el tratamiento cuatro, únicamente la especie *Eichornia crassipes* tuvo diferencias significativas en la zona 1 (Santa Martha), mientras que no se notaron diferencias significativas en el tratamiento cuatro para la especie *Lemna minor* y tampoco se observaron diferencias significativas de ninguno de los tratamientos en la zona 3 (Bellavista Norte) y con respecto al test de Tukey, todos los tratamientos presentaron comportamientos diferentes.

Tabla 7;
Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación

Biomasa														
	Zona 1				Zona 2				Zona 3					
Tratamientos	**B.I**	**B.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**B.I**	**B.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**B.I**	**B.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**HDS de Tukey**	**Test de Tukey**
T2 (cm)	158,79	143,10	-11,18	0,00	153,62	145,15	-6,67	0,00	159,37	122,73	-17,21	0,00	0,00	T2a T3b
T3 (cm)	26,63	19,90	-15,42	0,00	39,20	27,57	-30,78	0,00	30,60	20,58	-31,24	0,00	0,05	T3b T4c
T4a (cm)	141,94	120,42	-16,16	0,05	124,16	121,29	**1,72**	0,05	125,78	126,44	**3,53**	0,05	0,00	T4c T2a
T4b (cm)	32,88	32,72	-1,04	0,05	31,33	21,37	-31,98	0,05	34,87	28,25	-14,44	0,05		

Nota: T2: Eichornia crassipes; T3: *Lemna minor*: T4: a) *Eichornia crassipes*, b) *Lemna minor*; Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; T2: *Eichornia crassipes*; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de significancia; B.I: Biomasa Inicial: B.F: Biomasa Final
*Nota: Valores en negrita indican crecimiento de las plantas; valores con signos negativos indican pérdida de biomasa; valores con asteriscos indican que existe diferencias significativas; Valores que no difieren estadísticamente poseen la misma letra.

Crecimiento radicular

Según la tabla 13, la especie *Lemna minor* tuvo mayor porcentaje de crecimiento radicular en comparación con la especie *Eichornia crassipes*, dado que su promedio total de crecimiento fue de 40,92%. Sin embargo, cabe indicar que ambas especies experimentaron diferencias significativas en el crecimiento radicular.

Tabla 8;
Crecimiento radicular antes y después de fitorremediación

Crecimiento radicular													
Especies	**Zona 1**				**Zona 2**				**Zona 3**				**Promedio (%)**
	C.I	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig**	**C.I**	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig**	**C.I**	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig**	
E.C (cm)	10,39	12,17	14,56	0,00*	10,34	12,31	19,26	0,00*	10,79	12,80	18,64	0,00*	17,49
L.M (cm)	4,14	5,95	**30,82**	0,00*	3,91	5,51	**42,69**	0,00*	3,86	5,63	**49,25**	0,00*	**40,92**

Nota: E.C: *Eichornia crassipes*; L.M: *Lemna minor*; Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Sig: Nivel de significancia; C.I: Crecimiento Inicial; C.F: Crecimiento Final; PCR: Porcentaje de crecimiento.
*Nota: Los valores con asterisco indica que existen diferencias significativas.

PROPUESTA

Datos informativos

Título:

Instalación de un humedal artificial a base de las plantas macrófitas flotantes: Jacinto de agua *(Eichornia crassipes)* y Lenteja de agua *(Lemna minor)* en la parroquia Tachina del cantón Esmeraldas para tratamiento de aguas residuales provenientes del manglar.

Unidad ejecutora:

Universidad Católica Sede Esmeraldas, a través de la Facultad de Ciencias Ambientales, Carrera de Ingeniería en Gestión Ambiental.

Beneficiario:

Pobladores de la Parroquia Tachina y del Refugio de Vida Silvestre Manglar Estuario Río Esmeraldas.

Tiempo de duración:

2 años

Lugar de ejecución:

Parroquia Tachina

Introducción

De acuerdo al Convenio Ramsar, un humedal es una zona que se encuentra estacional o permanentemente inundada, y está regulado por ciertos componentes climáticos, donde se interrelacionan la flora y fauna del lugar; de esta manera, las condiciones de un humedal dan cabida a un tipo de vegetación acuáticas denominadas macrófitas, las cuales tienen parte de sus órganos sumergidos en el agua (Soto, 2016).

De acuerdo con Lesikar y Enciso (2001), los humedales pueden ser tanto naturales como artificiales, siendo estos últimos aquellos que están influenciados por la mano del hombre, ya que el crecimiento y reproducción de las plantas acuáticas se dan de manera controlada; estos se consideran como un tipo de tecnología para el tratamiento de aguas residuales, además, la infraestructura que requieren y su mantenimiento es de bajo costo, de esta manera, se recomienda usar este tipo de tecnologías en procesos de restauración ambiental.

Sin embargo, en la actualidad, según Estupiñán (2013), en la actualidad el manglar se ha convertido en un foco de contaminación que atenta contra la salud de la misma población, ya que muchos de ellos, debido a la escasez de agua potable, utilizan el agua de manglar para llevar a cabo sus actividades domésticas, además de otras actividades como la pesca.

De esta manera, frente a la problemática ambiental a la que está expuesto el manglar, es conveniente buscar alternativas que mejoren la calidad de vida de la población, al mismo tiempo que se asegure la calidad de agua del manglar. Es por ello que se plantea la instalación de un humedal artificial ubicado a pocos kilómetros de los barrios de las riveras del manglar, en la parroquia Tachina, ya que cuenta con la infraestructura necesaria para hacerlo. Por tratarse de *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*, el tipo de humedal artificial que se instalará será un sistema de tratamiento a base de macrófitas con hojas flotantes.

El objetivo de esta propuesta será diseñar un modelo de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales mediante el uso de *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* y evaluar el grado de absorción de la planta de tratamiento.

Justificación

Según Guerra (2012), las ventajas de utilizar humedales artificiales como alternativas de restauración ambiental radican en la capacidad que tienen para descontaminar el agua proveniente de un agente contaminante, aumentando el valor paisajístico del ecosistema debido a la presencia de las plantas en el agua.

Los costos que requiere su instalación son menores a los costos de un sistema de tratamiento convencional, hay un mínimo consumo energético, elimina los malos olores que emanan las aguas residuales, además por las condiciones ambientales que presenta el cantón Esmeraldas favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas en cuestión (Coronel, 2016).

El problema que enfrenta el manglar de Esmeraldas se ve influenciado por dos fuentes contaminantes: el río Esmeraldas y los barrios aledaños al manglar, siendo un factor limitante la instalación del humedal artificial debido al crecimiento demográfico que ha experimentado el cantón Esmeraldas a lo largo de los años, por lo que se ha tomado en cuenta instalarlo en áreas del sur o norte del cantón. En este caso se ha determinado a la

parroquia Tachina, ya que posee áreas grandes para la instalación, operación y mantenimiento del mismo.

Es importante tomar en cuenta que la construcción del humedal debe tener una capacidad de tratamiento de aguas residuales mayor debido al crecimiento poblacional que experimentará a futuro.

La parroquia de Tachina no cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales, además de que su sistema de alcantarillado es ineficiente debido a la acumulación de basura (Veintimilla, 2015). Por lo tanto, es conveniente buscar alternativas de bajo costo y naturales, que les den mejor calidad de vida a los habitantes de la parroquia y que mejoren la calidad de agua proveniente de los cuerpos de agua que se encuentran aledaños a la misma, en este caso el manglar.

La presente propuesta servirá como línea base para la ejecución de proyectos posteriores donde sea necesaria su instalación, como por ejemplo, las zonas rurales del cantón Esmeraldas, considerando que actualmente no existen sistemas de tratamientos a base de humedales artificiales en la provincia.

Objetivos

Objetivo General:

Diseñar un modelo de humedal artificial para tratamiento de aguas residuales mediante el uso de *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* y evaluar el grado de absorción de la planta de tratamiento.

Objetivos específicos:

1. Evaluar el grado de eficiencia del humedal mediante análisis del agua tratada en el laboratorio.
2. Reducir el grado de contaminación que presenta el agua residual previa a su eliminación a los cuerpos de agua.
3. Mantener la biodiversidad y calidad de vida de zonas afectadas por aguas residuales

Antecedentes

Tabla 13;

Humedales artificiales: reseña histórica

Año	Evento
1952	Los estudios acerca de humedales artificiales como alternativa de tratamiento inició en el Instituto Max Planck en Alemania
1967	Se llevaron a cabo estudios en la Universidad de Carolina del Norte para demostrar la capacidad de los humedales artificiales para ser utilizados como tratamiento terciario para la depuración de aguas residuales
1971	Se diseñó el primer humedal artificial para tratamiento de aguas residuales en Michigan.
1972	Se desarrollan investigaciones para evaluar los aspectos físicos, químicos y biológicos que intervienen en la descontaminación de aguas residuales por medio de los humedales artificiales en la Universidad de Florida.
1980	Con el desarrollo de la tecnología aparecen nuevos diseños de humedales artificiales tomando en cuenta ciertos parámetros estándar.
Actualidad	A nivel mundial, se ha convertido en una tecnología extensiva amigable con el ambiente con un alto grado de aceptación.

Adaptado de: (Salas, 2017)

Metodología para la instalación del humedal artificial

Área de estudio

La parroquia Tachina se encuentra ubicada al noreste del cantón y provincia de Esmeraldas, a la derecha de la ciudad de Esmeraldas, aguas abajo del río Esmeraldas en la rivera derecha, aledaño a la desembocadura del río Esmeraldas, posee una extensión de 7439 has de tierra (GADPT, 2015).

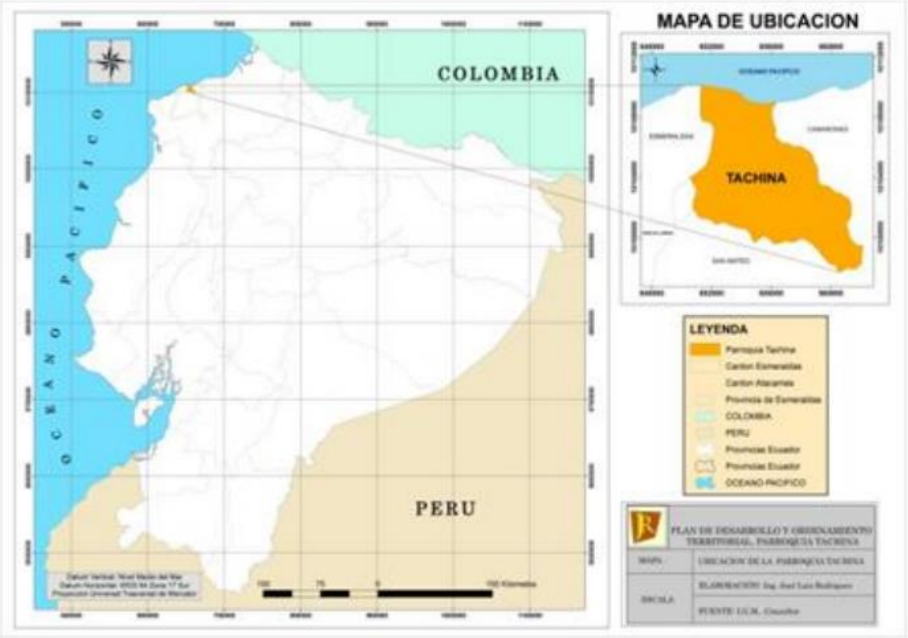


Figura 3. Mapa de la Parroquia Tachina. Tomado de: (GADPT, 2015)

Tabla 14;

Factores climáticos de la parroquia Tachina

Variable	Descripción
Precipitación	De enero a mayo la precipitación acumulada tiene 711.3 mm; con variaciones de un 11% y decrementos de un 14%.
Temperatura	Su temperatura media anual varía entre 24 y 28 °C.
Pisos climáticos	Tropical Megatérmico Seco (80.7% del territorio parroquial) Megatérmico Semi-húmedo (19,31% del territorio de la parroquia)
Humedad	Humedad relativa entre 70 y 90% entre los meses de enero a abril, con verano muy seco y temperaturas generalmente muy altas, se encuentra influenciado por el mar

Adaptado de: (GADPT, 2015)

Tipo de suelo

Tachina presenta un tipo de suelo del orden inceptisol, que es un tipo de suelo que recién empieza a desarrollar sus horizontes, compuesto principalmente por materia orgánica, alta fertilidad del suelo, ph ligeramente ácido de 5.6 – 6.5 y neutro de 6.6 – 7.4 y poca pedregosidad de 10 – 25 (GADPT, 2015).

Materiales y métodos

Diseño de construcción del humedal artificial

Para diseñar un humedal artificial se deberá tomar en cuenta los siguientes aspectos:

Tabla 15;
Factores que intervienen en la construcción de un humedal artificial

Parámetro	Consideraciones
Temperatura	Existe una relación directa de la temperatura y la eliminación de los nutrientes en dentro del humedal.
Cantidad de residuos a tratar	Es necesario conocer la cantidad de residuos que se quieren tratar para remediar la mayor cantidad de agua.
Caudal del humedal	Permitirá conocer la cantidad de agua que puede ingresar y salir del mismo, para lo cual se utilizan ecuaciones para determinarlo.
Pendiente del humedal	Dependerá del tipo de humedal que se desee construir
Profundidad del humedal	Dependerá del tamaño de las raíces que estén en contacto con el agua residual.
Tipo de agua residual	Previo a la instalación del humedal se deben realizar análisis de agua obtenidas de la fuente a descontaminar, para conocer la concentración de los parámetros fisicoquímicos y contaminantes en el agua. Se considera como factor importante al DBO para determinar el área superficial del humedal

Adaptado de: (Guerra, 2012)

Los datos anteriores serán de vital importancia para determinar el caudal del agua que ingresará al humedal, de acuerdo a las dimensiones de éste, además disminuir la cantidad de los contaminantes a un nivel deseado (Guerra, 2012).

Tabla 16;
Elementos que se deben tomar en cuenta para la construcción del humedal artificial

Componentes de un humedal artificial	
Agua	Tomando en cuenta que la parroquia de Tachina presenta suelos mal drenados, se instalará un sistema de drenaje a base de geomembrana y geotextil, con la finalidad de evitar la infiltración del agua por el subsuelo aguas subterráneas.
Sustrato	Se tomará en cuenta el tipo de suelo que deberá tener el fondo del humedal, en este caso se utilizará grava con un diámetro 5 mm aproximadamente, dado que es un tipo de suelo que permite el paso del agua .
Plantas macrófitas	Para la instalación de los humedales se ha tomado en cuenta hacer dos piscinas de tratamiento: una con *Eichornia Crassipes* y otra con *Lemna Minor*.
Comunidades de microbios	Una característica fundamental de los humedales es que las funciones son reguladas por los microorganismos, estos incluyen bacterias, levaduras, hongos y protozoarios, y la dinámica de todos estos, puede condicionar o beneficiar el funcionamiento del humedal.
Invertebrados acuáticos	Los invertebrados dentro de un humedal contribuyen a la degradación de materia orgánica en el transcurso de sus periodos larvales, lo cual suele atraer otros animales tales como: patos, tortugas, mamíferos, pájaros, etc.

Adaptado de: (Borrero, 1999)

Criterios de construcción de las piscinas de tratamiento de agua residual con *Eichornia Crassipes* y *Lemna Minor*

Para el sistema de tratamientos que requiere macrófitas flotantes, Martelo y Borrero (2012), sugieren un diseño a escala real tomando en cuenta los criterios que se deben de tener en cuenta para la elaboración de este.

Además, García y Leal (2006), establecen que el área de un sistema de humedales artificial dependen directamente de la cantidad de DBO que tenga el manglar, debido a la cantidad de carga orgánica que este genere.

Los valores que se presentan en la tabla 14 corresponden a los parámetros reales que se deberán tomar en cuenta para la construcción de las piscinas de tratamiento en escala real.

Tabla 17;
Cálculo de los parámetros para el diseño del humedal artificial en la parroquia Tachina

Parámetro	***Eichornia Crassipes y Lemna Minor***
Flujo	Superficial
Sección superficial	Cuadrado
Carga orgánica, kg DBO/ha.días	≤ 220
Tiempo de retención, días	10
Carga hidráulica, m^3/ha.días	1000
Área de lagunas (m^2)	240
Profundidad, m	≤ 1,5
Relación longitud/ ancho (m)	> 3 : 1
Temperatura del agua °C	> 10

Adaptado de: (Martelo & Borrero, 2012)

Sistema de drenaje

Según el Centro Internacional para el Desarrollo, IDRC (2003), para la construcción del humedal se deberán tomar medidas previas tales como:

- Hacer una zanja para compactar el piso, la misma que será previamente nivelada a lo largo del humedal y rellenada con grava de 5 mm de diámetro aproximadamente.
- El piso compactado deberá tener una pendiente de 1%, para permitir el paso del agua por todo el humedal y de esta manera asegurar las condiciones hidráulicas del sistema, además de facilitar su desagüe.
- Cubrir el suelo con una geomembrana PVC de 500 micras para impermeabilizar el humedal y geotextil para reforzar el sistema de drenaje y proteger la geomembrana.
- Si las condiciones climáticas no son favorables y existiese humedad en el área de construcción del humedal, se deberá impedir el paso de camiones pesados para evitar cambios en la dinámica del sistema.

- Es conveniente construir diques de contención que formen las paredes del humedal para evitar futuros desbordamientos del mismo.
- Es necesario que la parte alta del dique tenga un ancho suficiente, con el fin de realizar mantenimientos constantes con maquinaria.

Vegetación

Para calcular la cantidad de macrófitas que debe tener el humedal con relación al volúmen de agua que este contiene, Zapata (2014), propone el método simplex 4 x 0,5 (es decir, cuatro partes de agua por 0,5 partes de macrófitas).

Para la elección de las macrófitas, es necesario, hacer estudios de pre- experimentación con la finalidad de evaluar el comportamiento de las plantas frente a los cambios ambientales, es decir, en periodos de invierno y verano, además de evitar un posible estrés en las plantas provocado por el cambio de hábitat; por lo general el tiempo que requiere la adaptación de las plantas es de 5 días, y las plantas que no cambien de coloración o no presenten daño en alguna de sus partes serán designadas como las indicadas para llevar el proceso de fitorremediación en el humedal (García & Leal, 2006).

Estructura de entrada y salida

La estructura del humedal deberá contener tuberías de recolección perforadas que estén extendidas a lo largo de este (tanto en la entrada como en la salida), un colector de entrada que consiste en una tubería plástica de 100 a 200 mm de diámetro que se encuentre cada 3 metros de distancia, el cual permite ajustar el caudal del humedal; los conductos de salida, por otro lado, se colocan al final del humedal (Borrero, 1999).

Proceso de remoción de contaminantes

DBO: En los humedales artificiales la absorción de materia orgánica y sedimentos se lleva a cabo a ritmo acelerado, debido al sistema de filtración de estos, llegando a eliminar aproximadamente el 50% de la DBO, sobre todo desde la superficie hasta la mitad del humedal, esta materia orgánica es descompuesta aeróbica o anaeróbicamente, dependiendo de la disponibilidad de oxígeno (Salazar & Sánchez, 2015).

Nitrógeno: Para el caso del nitrógeno, (Roig, 2014) da a conocer que la remoción de nitrógeno en un sistema de poda de plantas es de 10 y 15% mientras que en un sistema de humedales artificiales se da en un 80%, por otro lado la medida en la que el

contenido de nitrógeno es eliminado depende del estado químico en que se encuentre, por lo tanto:

- Para el caso del ión amonio, la eliminación en el humedal artificial depende directamente de la cantidad de oxígeno disponible en el agua, indicando además que se requieren 4,6 g de oxígeno para oxidar 1 g de ión amonio.
- Mientras que para el caso de amoniaco depende mucho de la temperatura del agua dado que, en los meses de verano la remoción es muy buena, pero en temporada de invierno cuando la temperatura baja.
- Para los nitritos y nitratos, en cambio es necesario que hayan buenas condiciones de temperatura, pero además debe haber una buena fuente de carbono, que por lo general procede de la materia orgánica (residuos de las plantas como porciones de raíces y microorganismos)

Sólidos suspendidos: La eliminación de sólidos suspendidos en un humedal artificial se dan mediante procesos físicos como la filtración por parte de las raíces de las plantas, sin embargo se ha planteado en la presente propuesta la instalación de un tanque con malla para la retención de residuos sólidos de gran tamaño previo a la llegada del agua a las respectivas piscinas con plantas (Roig, 2014).

Ortofosfatos: Se considera que la remoción de ortofosfatos en un humedal artificial puede alcanzar hasta un 60% de efectividad, la remoción de este parámetro se tiene que dar a largo plazo o mediante procesos de sedimentación, por lo general esta remoción se lleva a cabo en la parte superficial del humedal y también se considera que la capacidad de remoción de ortofosfatos depende del área del mismo (Borrero, 1999).

Metales pesados: Según García (2012), los humedales artificiales remueven hasta un 97% de metales pesados, ya que las macrófitas los retienen en sus tejidos, poseen un sistema de raíces que absorben parte de los metales pesados para incorporarlos a su metabolismo y los microorganismos que favorecen que se lleve a cabo el proceso de fitorremediación dentro del humedal.

Importancia de los humedales artificiales desde la perspectiva ambiental

Desde el punto de vista ambiental, los humedales se han convertido en una tecnología atractiva debido a la interacción bioquímica de los microorganismos presentes en la raíces de las macrófitas, actuando como un filtro biológico en la remoción de metales

pesados, sustancias disueltas y en suspensión, de tal manera que mejora la calidad del agua contaminada (Zárate & Durande, 2008).

Según Pabello & Castañeda (2014), el diseño que tiene un humedal artificial mantiene e incrementa la estética del paisaje proporcionando condiciones para el crecimiento y conservación de especies silvestres, debido al hábitat que este tipo de ecosistema provee a estos organismos.

Comparado con otros sistemas convencionales, los sistemas de humedales artificiales no necesitan equipos mecánicos y electricidad, además de que no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían un tratamiento secundario y disposición final (EPA, 2000).

Los humedales artificiales al ser un método natural, es decir, a base de plantas, no requiere de sustancias químicas peligrosas, no representa un método negativo para la estructura del suelo, además de que los procesos que lleva a cabo en la eliminación de los contaminantes no alteran el medio natural (Lopez, 2015).

Disposición final de las plantas

Es importante tener en cuenta la disposición final que se les tiene que dar a las plantas, ya que actualmente hay gran cantidad de estudios que dan a conocer de qué manera se lleva a cabo el proceso de fitorremediación, pero hay pocos estudios con una metodología para el cuidado de las plantas después del tratamiento.

Por estas razones recomienda que de no tratarse las plantas adecuadamente, éstas pueden devolver los metales que han absorbido y empeorar el problema, por lo que da a conocer que una manera de darle una disposición final a las plantas es incinerarlas para el caso de *Eichornia Crassipes* y mediante procesos químicos recuperar el metal que se ha liberado, sin embargo da a conocer que para el caso de *Lemna Minor*, no representaría mayor problema debido a la capacidad que tiene la planta para secuestrar metales pesados y crear complejos estables con los iones del metal y de ésta manera inhibir la toxicidad de los metales en el ambiente, dichos complejos, se denominan quelatos, los cuales evitan que los iones de un metal puedan reaccionar y convertirse en un agente contaminante en el ambiente (Coronel, 2016).

Sin embargo hay que tomar en cuenta que los procesos de incineración eliminan únicamente los residuos orgánicos, mientras que los inorgánicos quedan presentes en la atmósfera, representando un peligro potencial para el medio ambiente y la salud humana (Salas, Quesada, & Harada, 2007).

- **Disposición final de Lemna Minor y Eichornia Crassipes en la fitorremediación de aguas residuales en la presente propuesta**

El proceso de fitorremediación que llevan a cabo las especies *Lemna Minor* y *Eichornia Crassipes*, incluye etapas de eliminación de los contaminantes, tales como: Fitoextracción, rizofiltración, fitodegradación y fitoestimulación (Peralta & Volke, 2012).

Fitoextracción: Las plantas que se utilizan en procesos de fitorremediación, suelen absorber los metales mediante las raíces, y los acumula en los tallos y las raíces (Peralta & Volke, 2012).

Rizofiltración: Este proceso se da cuando los contaminantes son eliminados por las raíces de las plantas, de manera que, cuando el sistema radicular de las plantas está desarrollado son capaces de absorber y acumular los metales (Peralta & Volke, 2012).

Fitodegradación: El interior de las raíces alberga microorganismos que transforman los contaminantes en elementos inofensivos para el ambiente (Peralta & Volke, 2012).

Fitoestimulación: Las raíces de las plantas conllevan a la estimulación de los microorganismos para que degraden los contaminantes (Peralta & Volke, 2012).

De acuerdo a Parra y Balda (2011), las etapas anteriormente mencionadas contribuyen a la eliminación de los contaminantes presentes en el medio, pero al mismo tiempo al acumularlos en sus tallos, hojas y raíces y transformarlos en sustancias necesarias para llevar a cabo sus funciones metabólicas, la disposición final que requieren es mucho menor, ya que la concentración final de los metales pesados presentes en las plantas es diferente a la inicial.

Para darle disposición final a la biomasa obtenida de los procesos de fitorremediación, se contará con la ayuda de la empresa INCINEROX, la misma que dependiendo de las características y la concentración de los metales pesados presentes en las plantas, procederán a realizar procesos de estabilización y solidificación química, para disponer los residuos peligrosos en celdas de seguridad.

En cuanto al traslado de los residuos peligrosos, la misma empresa se encargará de transportarlos, ya que cuentan con un equipo de protección personal, plan de

contingencia, conductores y ayudantes calificados, ya que actualmente la empresa tiene sucursales en Quito, Guayaquil y Shushufindi.

Descripción del proceso de disposición final de la empresa INCINEROX (Quito) en los residuos peligrosos

Los procesos de estabilización y solidificación química, incluyen el uso de materiales que forman una matriz sólida, evitando de esa manera la contaminación del medio ambiente (Jurado, 2015).

- **Proceso de estabilización y solidificación:** se utiliza para disminuir los impactos que puedan generar los residuos peligrosos, transformándolo en un contaminante menos tóxico, mediante la modificación de las características físicas, químicas y biológicas del contaminante facilitando su manipulación y transporte, e incluso encontrar una nueva utilidad para estos residuos (Hidalgo, 2010).
- **Celdas de seguridad:** Después del proceso de estabilización/solidificación, la empresa INCINEROX trasportará los residuos de la biomasa a celdas de seguridad. La Empresa cuenta con mallas superpuestas de arcilla y geomembrana, el diseño de estas celdas de seguridad cuentan con un sistema de espina de pescado y cajas de almacenamiento para posibles lixiviados y como medida preventiva adicional, cuentan con chimeneas para liberar vapores naturales a la atmósfera (De Mesa, 2012).
- **Confinamiento:** Una vez que los residuos disminuyen su riesgo ambiental, son compactados en el área donde van a ser ubicados, para proceder a su respectivo confinamiento (De Mesa, 2012).

Operación, mantenimiento y control

Tabla18;

Aspectos para la operación, mantenimiento y control del humedal

Aspecto	Consideración
Operación	- Debe haber la cantidad necesaria de agua con respecto a la cantidad de vegetación. - La cantidad de agua debe abarcar toda el área del humedal. - En la siembra de las plantas se debe tener cuidado de no incluir especies que cambien la dinámica del humedal, como por ejemplo, malas hierbas. - En caso de haber crecimiento de malas hierbas, éstas deberán ser retiradas manualmente.
Mantenimiento rutinario	- Las tuberías de circulación del agua presentes en el humedal deben limpiarse entre 1 y 6 meses, dependiendo de la calidad del agua y la cantidad de sedimentos que se estén tratando. - Es conveniente hacer una revisión semanal para tener control del nivel de inundación del humedal ya que las raíces de las plantas deben tener agua permanente. - Evitar los encharcamientos en el humedal, porque conlleva a la proliferación de insectos. - Se deben retirar periódicamente las plantas que tengan sus partes aéreas secas, lo cual evitará que la planta se descomponga por completo dentro del humedal.
Operaciones futuras	- Si a futuro el terreno donde está instalado el humedal tiene problemas de colmatación, se procederá a reemplazar el sustrato.
Control	- Se tiene que hacer un control del funcionamiento del humedal con la finalidad de identificar problemas y hacer las respectivas reparaciones. - Los controles serán mensuales y después de precipitaciones fuertes. - Los operadores deberán registrar cada mantenimiento y las verificaciones para conocer los cambios que se han llevado a cabo y conservar en buen estado el humedal.

Adaptado de: (Guanchi, 2012)

Resultados esperados

- Una vez sea aceptada la propuesta, se hará un reporte mensual acerca del avance de construcción del humedal, que se espera sea concluida en un periodo de 6 meses, el mismo que será presentado a la entidad financiadora del proyecto.
- Después de la construcción del humedal, se iniciará con el tratamiento del agua residual, donde se harán análisis de agua cada mes, antes y después de la entrada del agua del manglar hacia cada una de las piscinas de tratamiento.
- Se dará un mantenimiento de las piscinas de tratamiento cada 6 meses y si presentasen alguna falla, estas se paralizarán hasta que se normalice su funcionamiento.
- Se presentarán registros del mantenimiento que se le ha dado a las piscinas de tratamiento por parte de los encargados del proyecto.
- Se harán monitoreos diarios de las condiciones ambientales del medio y de las plantas, los mismos que serán ingresados en una base de datos.

Presupuesto

Tabla19;

Presupuesto tentativo para la construcción de un humedal artificial de flujo libre a base de macrófitas con hojas flotantes

Detalle	Año 1		Año 2		Total
	Mes 0-6	Mes 7-12	Mes 0-6	Mes 7-12	
1. Equipos	**162.699,00**				**162.699,00**
1.1 Compactador de suelo	18.000,00				18.000,00
1.2 Tractor	28.500,00				28.500,00
1.3 Volqueta	70.000,00				70.000,00
1.4 CTD marca YSI EXO 2	40.000,00				40.000,00
1.5 Laptop	1.049,00				1.049,00
1.6 Colorímetro marca HACH	3.400,00				3.400,00
1.7 2 Aireadores	1.750,00				1.750,00
2 Materiales	**7.123,60**	**20,00**	**20,00**	**20,00**	**7.183,60**
2.1 5 sacos de cemento	322,5				322,50
2.2 7 codos de PVC 90° (100 mm)	60,76				60,76
2.3 60 tuberías de PVC (100 mm)	2.300,00				2.300,00
2.4 Geotextil	262,08				262,08
2.5. Geomembrana PVC de 500 micras	242,26				242,26
2.6 Grava de 5mm	1.200,00				1.200,00
2.7 Arena gruesa	238,00				238,00
2.8 Vegetación macrófita	20,00	20,00	20,00	20,00	80,00
2.9 Hormigón simple	2.478,00				2.478,00
3 Preparación del terreno	**40.198,00**				**40.198,00**
3.1 Nivelación del terreno	9.338,00				9.338,00
3.2 Excavación del área previo a la instalación del humedal	860,00				860,00
3.3 Compra del terreno	30.000,00				30.000,00
4. Gastos en servicios adicionales y personal	**92.920,00**	**48.020,00**	**67.220,00**	**48.020,00**	**232.180,00**
4.1 Pasantes	2.220,00	2.220,00	2.220,00	2.220,00	8.880,00
4.2 Gestor ambiental	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	28.800,00
4.3 Arquitecto	2.000,00				2.000,00
4.4 Obreros	20.000,00				20.000,00
4.5 Personal encargado de la limpieza de todas las unidades del humedal	8.400,00	8.400,00	8.400,00	8.400,00	33.600,00
4.6 Personal encargado de la limpieza y reparación de las estructuras de paso	19.200,00		19.200,00		38.400,00
4.7 Personal encargado de la recolección de residuos orgánicos	1.200,00	1.200,00	1.200,00	1.200,00	4.800,00
4.8 Estudio de suelos	2.500,00				2.500,00
4.9 Personal de seguridad	7.200,00	7.200,00	7.200,00	7.200,00	28.800,00
4.10 Empresa INCINEROX (disposición final de las plantas)	7.800,00	7.800,00	7.800,00	7.800,00	31.200,00
4.11 Estudio de impacto ambiental	1.200,00				1.200,00
4.12 Personal encargado del control de plagas y especies invasoras (vegetales y animales)	2.800,00	2.800,00	2.800,00	2.800,00	11.200,00
4.13 Personal encargado de la cosecha de las plantas	3.200,00	3.200,00	3.200,00	3.200,00	12.800,00
4.14 Encargada del proyecto	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00	8.000,00
5. Gastos Administrativos	120,00	0,00	0,00	0,00	120,00
5.1 Permiso de construcción	120,00				120,00
5.2 Licencia ambiental	80,00				80,00
5.3 Escrituras del terreno	300,00				300,00
Total	**303.060,60**	**48.040,00**	**67.240,00**	**48.040,00**	**442.380,60**
Porcentajes	68,51%	10,86%	15,20%	10,86%	100,00%

Cronograma

ACTIVIDADES	Año 1												Año 2											
	Meses												Meses											
	E	F	Ma	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D	E	F	Ma	A	My	Jn	Jl	Ag	S	O	N	D
Compra del terreno	x																							
Construcción del humedal		x	x	x	x	x	x																	
Entrega de reportes del avance de las piscinas de tratamiento			x	x	x	x	x	x																
Compra de las plantas									x		x													
Cultivo de las plantas									x	x	x	x												
Aclimatación de las plantas										x	x	x												
Traslado de plantas a las piscinas de tratamiento													x											
Análisis de agua														x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Disposición final de las plantas (empresa INCINEROX)														x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Análisis de las condiciones ambientales														x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Remoción mecánica de las plantas														x		x		x		x		x		x
Mantenimiento de las piscinas de tratamiento													x						x					
Evaluación y monitoreo													x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Nota: E: Enero, F: Febrero; Ma: Marzo; A: Abril; My: Mayo; Jn: Junio; Jl: Julio; Ag: Agosto; S: Septiembre; O: Octubre; N: Noviembre; D: Diciembre

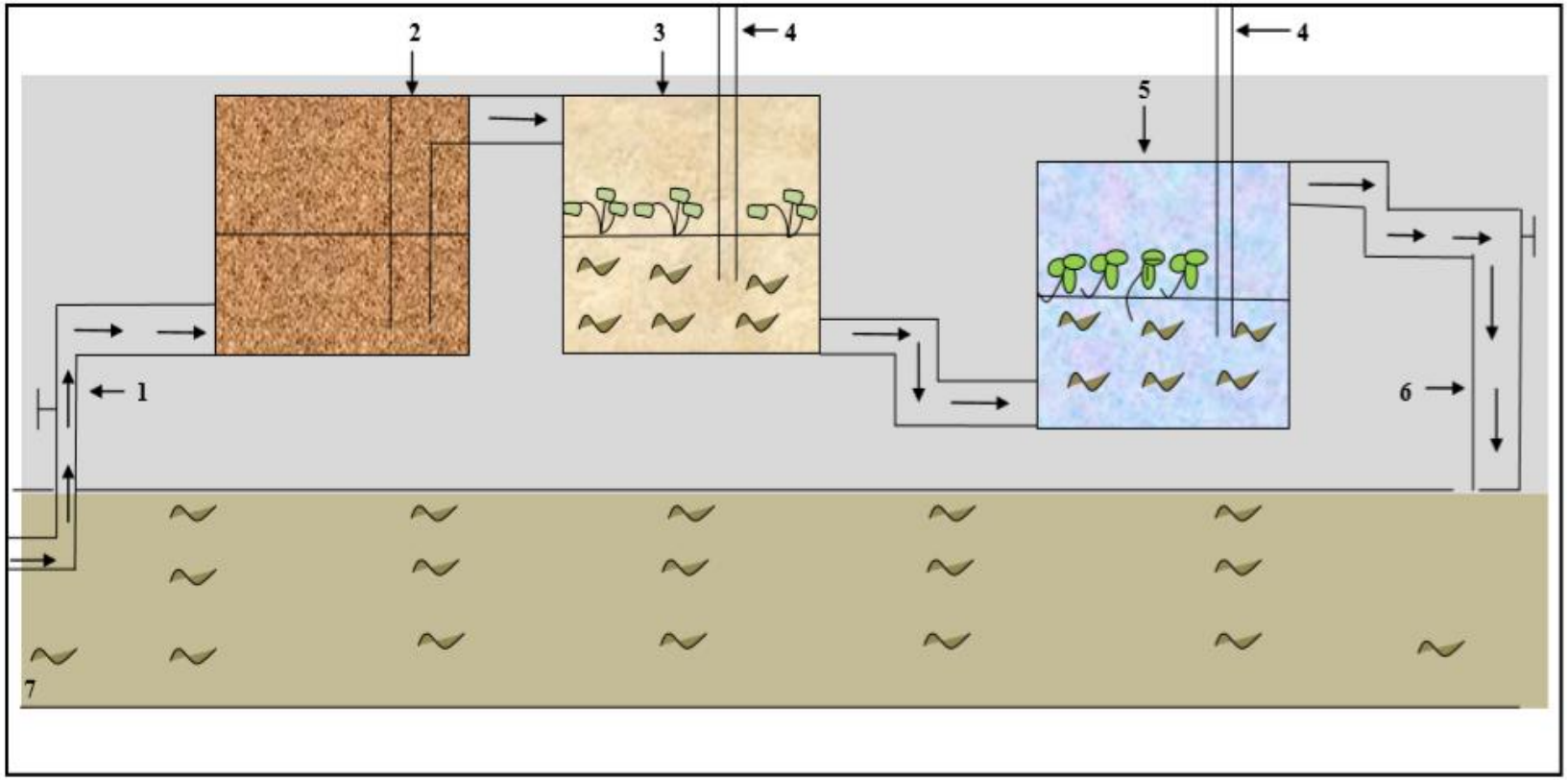


Figura 4. Diseño de las piscinas de tratamiento con *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*. Elaborado por la autora.

Nota: 1: Succión de aguas residuales provenientes de descargas de los barrios aledaños al Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas; 2: Tanque con malla para remover sólidos de tamaño grande; 3: Piscina de tratamiento con *Eichornia crassipes*; 4: Sistema de aireación.; 5: Piscina de tratamiento con *Lemna minor*; 6: Descarga del agua después del proceso de fitorremediación; 7: Agua del manglar.

Capítulo IV: Discusión

Proceso de fitorremediación y grado de eficiencia de las especies macrófitas

Nitritos y nitratos

En el presente estudio, el tratamiento con *Lemna minor* obtuvo el mayor porcentaje de remoción total de nitritos (NO2), demostrando que fue más eficiente que el tratamiento con *Eichornia crassipes* y el tratamiento de *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*
En la remoción de nitratos (NO3), sin embargo, fue *Eichornia crassipes* quien obtuvo el mayor porcentaje total de remoción, en comparación con los tratamientos con *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*.

Este estudio difiere con el estudio de Coronel (2016), donde fue *Eichornia crassipes* quien registró mayor grado de absorción para los nitritos. Por otro lado, para el caso de los nitratos, el mismo autor da a conocer que fue *Lemna minor* quien obtuvo el mayor grado de eficiencia con relación a *Eichornia crassipes*, lo cual contrasta con la presente investigación.

Del mismo modo, un estudio realizado por Poveda (2014), quien utilizó macrófitas flotantes para la fitorremediación de aguas industriales y domésticas, también obtuvo resultados favorables para ambos tratamientos donde *Eichornia crassipes* obtuviera mayor grado de eficiencia.

El hecho de que los niveles de nitritos experimentaran un aumento en el tratamiento con *Eichornia crassipes*, se debe a la cantidad de nitrógeno que necesita cada especie. Así lo expone García (2012), quien da a conocer que el grado de absorción de nitritos por parte de las plantas macrófitas depende de la estructura fisiológica de éstas, en donde, muchas veces las plantas requieren amonio, nitritos (NO2) o nitratos (NO3) para la formación de proteínas, además ratifica que *Lemna Minor* requiere mayor cantidad de nitrógeno, siendo así, especímenes grandes de la especie *Eichornia crassipes* requieren únicamente valores de 1,5mg/l a1,25mg/l, mientras que *Lemna minor* requiere valores desde 4,83 mg/l.

Rodier (2005), considera además que *Eichornia crassipes* es una especie que siente mayor preferencia por el amonio, debido al gran esfuerzo que requiere transformar los niveles de nitratos en nitritos y luego en amonio para poderlo asimilar. Esta afirmación

también justificaría el hecho de que los valores de nitritos, para el caso de *Eichornia crassipes* hayan aumentado notablemente en este estudio.

Ortofosfatos

En la remoción de ortofosfatos, el tratamiento con *Eichornia crassipes* fue más eficiente en comparación a los tratamientos con *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*.

A diferencia de este estudio, en el estudio de García (2012), tanto *Eichornia crassipes* como *Lemna minor* no mostraron ningún grado de eficiencia en la absorción de ortofosfatos, ya que los valores iniciales que se obtuvieron en dicho estudio se mantuvieron constantes. En cambio en el estudio de Poveda (2014) *Eichornia crassipes* fue más eficiente que *Lemna minor* ya que tuvo mayor grado de remoción.

La razón por la que hubo variación de los tres tratamientos en el porcentaje de remoción de ortofosfatos en este estudio, se debe al hecho de que las plantas necesitan realizar ciertas actividades como la fotosíntesis y asimilación de nutrientes. Así lo plantea Rodier (2005), quien menciona que el hecho de que ambas especies presenten menor grado o mayor de absorción en este contaminante, se debe a que estas especies suelen utilizar el ortofosfatos para transformarlo en otros compuestos derivados del fósforo para poder asimilarlo y de ésta manera poder realizar actividades metabólicas.

Cobre

Martelo y Borrero (2012), en su estudio acerca del estudio de macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales, obtuvieron resultados favorables en la remoción de cobre donde *Eichornia crassipes* mostró ser más eficiente que *Lemna minor*, lo cual difiere con el presente estudio donde el grado de eficiencia de ambas especies tuvo resultados negativos.

El hecho de que las especies experimentaran un aumento del contaminante, asevera la explicación de Caviedes (2016), quien da a conocer que las plantas macrófitas *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* presentan un grado de absorción de cobre limitado, porque es un agente tóxico que genera alteraciones en el crecimiento radicular y foliar de éstas plantas, llegando incluso en ciertas ocasiones a disminuir el contenido de nitrógeno total presente en las mismas.

Hierro

En el estudio de Sarango y Sánchez (2016), se demostró que ambas especies tienen la capacidad de disminuir los niveles de hierro en el agua, pero siendo *Eichornia crassipes* quien registrase el valor más alto de remoción a diferencia de este estudio, considerando además que el tiempo de exposición de ambas plantas fue de 20 días, mientras que en el presente estudio el tiempo de exposición fue de 7 días únicamente.

Matute et. al (2014), en su estudio acerca de la absorción de hierro total en plantas acuáticas, da a conocer que para que exista un nivel de remoción de un 98% de hierro por parte de *Eichornia crassipes* se requiere al menos una exposición de las plantas en un tiempo de 30 días, debido a la capacidad lenta que tiene esta especie para asimilar el hierro, menciona además que en un promedio de cinco días esta especie remueve solamente el 28,82% del hierro en el agua, mientras que para *Lemna minor* el tiempo que requiere para removerlo es solo de 10 días.

Desde ese punto de vista es razonable el hecho de que *Eichornia crassipes* en el presente estudio haya obtenido un grado de remoción más bajo en comparación al resto de tratamientos con un porcentaje total de remoción de 63,54%. Además los tres tratamientos fueron aplicados por sólo de 7 días, lo cual da a entender que no se logró remover el hierro de manera eficiente con *Eichornia crassipes* debido al tiempo de exposición de esta especie en el agua.

Sin embargo, cabe mencionar que Matute et. al (2014) basó su estudio solamente en el análisis de hierro, en el presente estudio se analizaron 6 contaminantes de los cuales se considera que el hierro y el cromo VI tienen un efecto antagonista sobre la especie *Eichornia crassipes*, de acuerdo a un estudio realizado por Poma (2015).

Barba (2002), a través de su estudio acerca la fitorremediación de aguas residuales con metales pesados, manifiesta que cuando la especie *Lemna minor* es expuesta a concentraciones de hierro iguales o mayores a 4 mg/l, ésta se satura y devuelve el contenido de hierro presente en el agua residual, obteniendo una efectividad de remoción de 17,50% a dicha concentración y un porcentaje de 70% en concentraciones comprendidas entre 0,5 mg/l y 1,5 mg/l, lo cual concuerda con la presente, ya que en este estudio los valores de hierro que se obtuvieron estuvieron comprendidos en valores de 0,38 mg/l y 1,17 mg/l razón por la que *Lemna minor* tuvo un grado de remoción de hierro bastante bueno.

Cromo VI

Estudios como el de Carreño (2016), mencionan que *Eichornia crassipes* tiene un porcentaje de eficiencia de 50% en aguas contaminadas con cromo con valores de 12200 mg/l, además da a conocer que la absorción de cromo se da de manera continua hasta que llega a los 24 días y entonces dicho valor se mantiene.

En el presente estudio, *Eichornia crassipes* tuvo una eficiencia de 33,33%, tomando en cuenta que los valores iniciales que se obtuvieron en el agua residual fueron bastante bajos. Además, no se registraron valores de Cromo VI en la zona 3 (Bellavista Norte), pero al cabo de 7 días se obtuvo un valor promedio de 0,01 mg/l.

Este fenómeno de aumento del contaminante se debe a lo expuesto por Poma (2015), en su estudio acerca de la remoción de hierro, cromo VI y manganeso con la especie *Eichornia crassipes*, quien da a conocer que existe un fenómeno antagonista entre el hierro y el cromo VI, concluyendo que cuando la planta absorbe mayor cantidad de hierro, disminuye su absorción por el cromo VI, e incluso la presencia de hierro y cromo VI al mismo tiempo en el agua conlleva a que aumente la cantidad de cualquiera los dos.

Dicha aclaración concuerda con este estudio ya que los análisis de agua confirmaron la presencia de cromo VI y de hierro en las zonas de estudio, a excepción de la zona 3, donde no se encontraron concentraciones de cromo VI, pero sí se registraron concentraciones de hierro, lo que pudo haber generado un aumento de cromo VI en el agua después del proceso de fitorremediación.

Para el caso de *Lemna minor* el grado de remoción total de cromo VI también fue de 33,33%. Los resultados obtenidos en este estudio discrepan con los resultados obtenidos por Gómez et. al (2014), en su estudio sobre la tolerancia del cromo en tres especies macrófitas flotantes libres, de las cuales la especie *Lemna sp.* eliminó el 65,55% de cromo total, sin embargo, en dicho estudio los valores de cromo más altos eran de 144,3 mg/l, mientras que en este estudio los valores más altos de cromo VI fueron de 0,05.

Con respecto al aumento que experimentó el cromo hexavalente (VI) según Arenas (2011), el hecho de que las plantas acuáticas como *Lemna minor*, tienden a elevar las concentraciones de los metales pesados, principalmente cromo, mercurio, plomo, arsénico y cadmio se da cuando la planta está a punto de morir. Esta afirmación

corrobora los resultados obtenidos en el presente estudio, ya que a pesar de que se procedió a hacer retiro manual de las plantas que estaban en descomposición, pudieron haber quedado restos de las mismas, lo cual generó un leve aumento de cromo VI de 0 a 0,02 mg/l.

Parámetros fisicoquímicos

En términos generales *Eichornia crassipes* fue más eficiente en comparación a los otros tratamientos en la disminución de los parámetros fisicoquímicos que se tomaron en cuenta en este estudio, lo cual concuerda con la afirmación de Celis et. al (2005), quien manifiesta que esta especie posee ciertos atributos o cualidades que la favorecen. Dichas cualidades radican en su sistema radicular, que a más de ser más abultado y frondoso que *Lemna minor*, alberga microorganismos que le permiten disminuir en alto grado los niveles de parámetros fisicoquímicos.

Temperatura

Los valores de temperatura presentaron un comportamiento similar para los tres tratamientos, sin embargo, el tratamiento con *Eichornia crassipes* fue más eficiente. Esto es corroborado por Coronel (2016), quien da a conocer que *Eichornia crassipes* es capaz de disminuir la temperatura en un porcentaje mayor al de *Lemna minor* debido a la forma y tamaño de las hojas de esta especie, ya que son más gruesas y anchas, por ende proveen mayor cantidad de sombra al agua. Del mismo modo García (2012), indica que la especie *Eichornia crassipes* tiene la capacidad de disminuir la temperatura en un 3,9°C del valor inicial, debido a las características de la planta.

Conductividad eléctrica

En la disminución de conductividad eléctrica, en esta investigación *Eichornia crassipes* fue más eficiente que *Lemna minor* y que *Eichornia crassipes* con *Lemna minor*. En el estudio de Albuja (2014), *Eichornia crassipes* obtuvo un porcentaje de 65,11%, siendo la especie más eficiente frente a *Lemna sp.* y *Salvinia minima*. El mismo autor denota que *Eichornia crassipes* es una especie que absorbe metales presentes en el agua tanto in situ como de manera experimental, lo cual contribuye a disminuir la conductividad. De igual manera Valderrama (2005), indica que *Eichornia crassipes* es capaz de sobrepasar en un 50% su efectividad para disminuir la conductividad eléctrica del agua.

Oxígeno disuelto

En cuanto al oxígeno disuelto *Eichornia crassipes* aumentó el contenido de oxígeno presente en el agua en un porcentaje mayor al de Lemna minor. Un estudio llevado a cabo por Coronel (2016), obtuvo valores de 1,70 mg/l en oxígeno disuelto, en donde *Eichornia crassipes* logró aumentar la concentración de oxígeno disuelto a 6,75 mg/l, mientras que *Lemna minor* lo aumentó solo a 6,04 mg/l. Estos resultados son corroborados por Melo (2012), quien explica que *Eichornia crassipes* tiene un tejido tubular poroso denominado parénquima en sus hojas y tallos, lo que permite el transporte de oxígeno atmosférico al agua. Por su parte García (2012), expone que *Eichornia crassipes* es una especie que demora más tiempo en cubrir el área donde se desarrolla, comparado con *Lemna minor* que tiene un tiempo de reproducción más acelerado, lo cual permite que otras especies asociadas a la especie *Eichornia crassipes,* como es el caso de las algas, realicen la fotosíntesis y por ende generen oxígeno.

pH

En la remoción de parámetros químicos como el pH, *Eichornia crassipes* tuvo un promedio de remoción mayor al de *Lemna minor*. En la investigación de Albuja (2014), *Eichornia crassipes* tuvo la capacidad de disminuir los niveles de pH en un 24,05%, mientras que *Lemna minor* disminuyó las concentraciones de pH solamente en un 1,15%, sin embargo hay que tomar en cuenta que en dicho estudio el valor inicial de pH fue de 8,73, mientras que en el presente estudio el máximo valor fue de 7,30.

A su vez, Valderrama (2005), indica que la especie *Eichornia crassipes* es capaz de estabilizar el pH, devolviéndole un estado más neutral al agua. Arroyave (2004), confirma esta aclaración manifestando que, el medio en el que se desarrolla mejor *Eichornia crassipes* es de 6,8 a 7,5, mientras que *Lemna minor* es una especie con mayor tolerancia al pH, ya que se desarrolla bastante bien en niveles de 4,5 a 7,5.

Sólidos suspendidos

En este estudio, *Eichornia crassipes* logró disminuir el contenido de sólidos suspendidos en un grado más alto de remoción en comparación al resto de tratamientos, aunque cabe indicar que el valor obtenido se acerca bastante al que se obtuvo en los dos tratamientos restantes. Dicha aclaración concuerda con un estudio realizado por León y Lucero (2009), en el cual *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* obtuvieron porcentajes de remoción similares, a su vez da a conocer que ambas especies son buenas removerdoras

de partículas presentes en el agua, debido a los microorganismos que alberga el sistema radicular de ambas plantas.

Biomasa inicial y final

En el estudio de García (2012), acerca de la eficiencia de tres plantas acuáticas en la remoción de contaminantes en aguas residuales domésticas, el crecimiento de *Lemna minor* se duplicó en solo dos días, debido a la presencia de nitratos en el agua, ya que se trataba de concentraciones altas como por ejemplo 34,70mg/l, a su vez, en su estudio indicó que *Eichornia crassipes* mostró mayor afinidad por el amonio, por cuanto ésta especie tuvo un grado de absorción de 100% de amonio, explica además que para poder absorber nitritos y nitratos, ésta especie debe transformar ambos nutrientes en amonio para poder asimilarlos y este proceso demanda más energía por parte de la planta.

Dicha afirmación concuerda con el presente estudio en donde se pudo notar que no hubo aumento, sino pérdida de biomasa en los 3 tratamientos y en las 3 zonas de estudio, debido al proceso que requiere convertir los nitritos y nitratos en amonio, y de esta manera poderlo asimilar, además de que la disponibilidad de ambos contaminantes en el agua en comparación con el estudio mencionado anteriormente, fue relativamente bajo, por lo que se convirtió en un factor limitante para que la biomasa pudiera aumentar en 7 días.

Por otro lado hay que tomar en cuenta la variación que tuvieron los contaminantes en el agua, estudios como el de Caviedes (2016), indica que la presencia de cobre y cromo VI en el agua puede generar daños en las plantas disminuyendo el contenido de clorofila e inhibiendo el crecimiento foliar. Martelo y Borrero (2012), también lo confirman al mencionar que incluso en concentraciones bajas de cobre y cromo *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* disminuyen su rendimiento y su biomasa aumenta muy poco.

Relación dominancia/abundancia

En el presente estudio se analizaron tres tratamientos, el tercer tratamiento consistió en una bandeja que contenía ambas especies, es decir, *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*, con la finalidad de determinar cuál de las dos especies era más dominante.

Según los resultados, las 3 zonas de estudio no tuvieron diferencias significativas en la biomasa, ya que el grado de pérdida de la misma fue muy similar, sin embargo la

especie que experimentó mayor pérdida de biomasa fue *Lemna Minor,* por lo que, en este caso *Eichornia Crassipes* fue considerada como la especie más dominante.

El hecho de que las plantas no experimentaran aumento de biomasa se debe al tiempo que les toma a las plantas crecer, así lo justifica Jaramillo y Flores (2012), quien manifiesta que *Eichornia crassipes* puede duplicar su biomasa en 10 días, mientras que *Lemna minor* puede duplicar su biomasa en solo 24 horas, siempre y cuando las condiciones del medio sean óptimas para ambos casos. En la presente, el hecho de que no se haya podido notar con claridad el mecanismo de competición y abundancia de ambas especies, se debe principalmente al tiempo en que se monitorearon los tres tratamientos que fue solamente de 7 días.

Por otro lado, para el caso de *Lemna minor* que fue la especie que se supone, debió haber multiplicado su biomasa diariamente, como se ha discutido anteriormente hay contaminantes a los que esta especie es más tolerante, y otros a los que es más sensible, por lo que de alguna manera generaron una alteración en la planta que no le permitió aumentar su biomasa de manera normal.

Propuesta

En la presente investigación se propuso instalar un humedal artificial a base de *Eichornia crassipes* y *Lemna minor,* dadas las condiciones ambientales del Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas y con la finalidad de evaluar el grado de eficiencia de la planta de tratamiento.

Rodríguez et. al (2010), obtuvo resultados favorables en su estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales con *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* mediante un humedal artificial, sin embargo, en su estudio se analizaron únicamente parámetros de DBO_5, DQO, pH, conductividad, sólidos suspendidos totales, siendo *Eichornia crassipes* quien obtuviera la mayor eficiencia de remoción. En el presente estudio a más de evaluar parámetros físico-químicos, se ha considerado evaluar el grado de eficiencia del humedal artificial en la remoción de contaminantes presentes en el manglar.

Del mismo modo, otros estudios como el de Sarango (2016) han demostrado que los humedales con *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* en la remoción de metales pesados tienen un alto grado de eficiencia, en donde *Eichornia crassipes* fue más eficiente en la remoción de fósforo total, nitrógeno total y hierro, mientras que en la remoción de aceites y grasas *Lemna minor* fue más eficiente, sin embargo la dinámica en la que

trabajaban ambos humedales en el estudio de Sarango (2016) fue distinto a la dinámica de la propuesta de humedal del presente estudio en donde se ha considerado hacer una planta de tratamiento, en donde el agua sea tratada inicialmente con *Eichornia crassipes* y luego pase a una segunda piscina con *Lemna minor* y no hacerlo por separado. Molina (2012), diseñó un humedal artificial para el tratamiento de lixiviados usando *Lemna Minor* y *Eichornia crassipes* y los resultados iniciales obtenidos fueron bastante altos tanto en parámetros físico-químicos como en contaminantes, de lo cual, *Eichornia crassipes* logró adaptarse a las condiciones del medio, mientras que *Lemna minor* no soportó altas concentraciones y murió.

En el presente al haber hecho estudios previos en el análisis de ciertos contaminantes presentes en el agua, se pudo constatar que los niveles de concentración, comparados con los resultados reportados por Molina (2012) fueron relativamente bajos, por lo que a futuro el humedal artificial a base de las dos especies en cuestión podrían ser eficientes en la disminución de parámetros físico-químicos y metales pesados.

Capítulo v: Conclusiones

- En el Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas los valores de nitritos, nitratos y ortofosfatos fueron los contaminantes que presentaron mayor grado de concentración en relación con los valores de cobre, hierro y cromo VI.
- En el proceso de fitorremediación *Lemna minor* fue quien obtuvo mayor eficiencia en la remoción de nitritos, nitratos y hierro, mientras que *Eichornia Crassipes* tuvo mayor grado de eficiencia en la remoción de ortofosfatos. Por otro lado, ambas especies lograron disminuir en el mismo grado los niveles de cromo VI y en cuanto a los valores de cobre tanto *Lemna minor* como *Eichornia crassipes* tuvieron resultados negativos.
- La especie *Eichornia crassipes* mostró mayor grado de eficiencia en la estabilización de los parámetros fisicoquímicos, debido a la forma, tamaño, sistema radicular y microorganismos que la planta alberga.
- El tiempo de fitorremediación que se empleó para ambas especies fue de 7 días, sin embargo este tiempo no fue suficiente para identificar cual de las especies fue más dominante y competitiva, por cuanto el tiempo de crecimiento de ambas especies es diferente, además del efecto que tuvieron los contaminantes en ambas especies, los cuales limitaron el crecimiento de las mismas.

Capítulo VI: Recomendaciones

- Dado que, en el presente estudio las macrófitas mostraron afinidad por ciertos contaminantes, es recomendable que a futuro se realicen pruebas de agua previo al proceso de fitorremediación y las plantas sean empleadas de acuerdo con los contaminantes para los que tienen mayor eficiencia.
- Para estudios futuros, se recomienda que el proceso de fitorremediación se lleve a cabo en diferentes periodos de tiempo, para comprobar el grado de tolerancia de las plantas, además de determinar si ambas especies pueden convivir en el mismo espacio a largo plazo.
- Se deben hacer más estudios acerca de la disposición final de las plantas, debido a la escasa información que existe y tomando en cuenta el grado de contaminación que las mismas podrían generar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alarcón, F. E., & Alcala, K. L. (2011). Teconologías para el tratamiento de aguas servidas. *Universidad Veracruzana: Facultad de Ciencias Químicas*, 30-62.

Alvarado, M. L. (2006). Aplicación tecnológica de las macrófitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos. *Universidad Industrial de Santander: Facultad de Ingenierías Físico- Químicas*, 28-29.

Armijos, K. A. (2015). Determinación de metales pesados en especies vegetales de una área explotada por la minería acuífera en el sector de La Pangui - Zamora Chinchipe. *Universidad Ténica Particular de Loja*, 18.

Arroyave, M. d. (2004). Lenteja de agua (Lemna Minor) una planta acuática promisoria . *Escuela de Ingeniería de Antioquia (EIA)*, 1-6.

Aznar, A. (2000). Determinación de los parámetros fisico-químicos de la calidad de las aguas . *Gestión Ambiental* , vol. 2(23) pag. 12-19 .

Barillas, N., & Córcega, M. (2006). Muestreo de aguas industriales y residuales. *Universidad Gran Mariscal de Ayacucho*, 1-36.

Barrenechea, A. (2004). Tratamiento de agua para consumo humano, plantas de filtración rápida, Manual I: Teoría tomo I. En L. de Vargas, *Capítulo I: Aspectos físicoquímicos de la calidad del agua* (págs. 21-73). Lima: CEPIS/OPS.

Borrero, J. A. (1999). Depuarción de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Universidad Politécnica de Cataluña*, 35-39.

Borrero, J. A. (1999). Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales. *Instituto Catalán de Tecnología: Universidad Politécnica de Cataluña*, 14-26.

Bres, P., Crespo, D., Rizzo, D., & La Rossa, R. (2012). Capacidad de las macrofitas Lemna minor y Eichhornia crassipes para eliminar el níquel. *RIA. Revista de investigación agropecuaria*, vol.38, n.2, pp. 153-157.

Capó, M. (2002). *Principios de ecotoxicología: Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente.* Buenos aires: Tébar.

Carbal, A. (2009). La valoración económica de bienes y servicios ambientales como herramienta estratégica para lña conservación y uso sostenible de los ecosistemas: "Caso ciénaga La Caimanera, Coveña Sucre-Colombia". *Universidad de Talca: Facultad de Ciencias Empresariales* , 80-82.

Coronel, J. (2016). Propuesta de humedal artificial para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados. *Instituto Politénico Nacional: Escuela Superior de Ingeniería Química e Industrias Extractivas*, 53-60.

Cruz, E. V. (2013). "Proyecto análisis de vulnerabilidades a nivel municipal". Perfil territorial de la provincia de Esmeraldas. *Universidad Técnica del Norte*, 6-9.

De la Esse, D. (2015). Propuesta de producción más limpia en la finca Maranatha para el manejo eficiente del agua. *Universidad Católica Sede Esmeraldas*, 1-101.

Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. *Universidad Mayor de San Simón*, 11.

Estupiñán, B. (2013). Políticas locales de cambio climático en el Cantón Esmeraldas. *Instituto de Altos Estudios Nacionales*, 18-21.

GADPT. (2015). Plan de desarrollo y ordenamiento territorial parroquial: resumen ejecutivo. 5-8.

García, A., & Leal, D. (2006). Desarrollo de un humedal artificial piloto con especies no convencionales para mitigar la contaminación generada por el vertimento de aguas resoiduales provenientes del Centro de visitantes del Parque Nacional natural Amacayacu- Amazonas. *Universidad de la Salle: Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*, 87-92.

García, Z. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Universidad Nacional de Ingeniería: Facultad de Ingeniería Ambiental*, 26-28.

Garro, J. (2002). *Plantas competidoras: Un componente más de los agroecosistemas.* EUNED.

Gaxiola, J. D. (2011). Una revisión sobre los manglares: Características, problemáticas y su marco jurídico. Importancia de los manglares, el daño de los efectos antropogénicos y su marco jurídico: Caso sistema lagunar de Topolobampo. *Ra Ximhai*, 3-5.

Guanchi, A. (2012). Diseño de sistemas de humedales artificiales del agua de la comunidad de Cochapata del cantón Nabón, Azuay. *Universidad de Valencia: Máster en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*, 115-119.

Guerra, L. (2012). Instalación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de agua de un reservorio en la granja de la Universidad San Francisco de Quito. *Universidad San Francisco de Quito*, 27-29.

Horruzo, A. C. (2002). Fubdamentos y métodos para la valoración de bienes ambientales. *Departamento de Economía y Gestión Forestal: Universidad Politécnica de Madrid*, 8-9.

IDEAM. (2007). Instructivo para la toma de muestras de aguas residuales. *Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial – República de Colombia*, 1-17.

IDRC. (2003). Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Acash, Perú; usando tecnología de humedales artificiales. *SEMA*, 1-46.

Jumbo, M. d., & Campoverde, E. D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de las especies vegetales Lemna Minor (Lenteja de agua) y Eichornia Crassipes (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. *Universidad Politécnica Salesiana sede Cuenca*, 39-43.

Lesikar, B., & Enciso, J. (2001). Sistemas individuales para el tratamiento de aguas negras: Humedales artificiales. *Sistema Universitario Texas*, 1-4.

López, J. (2011). Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales – escala laboratorio. *Universidad San Francisco de Quito*, 26-29.

Luévano, J. (2016). Propuesta metodológica para reducir la concentración de nutrientes (Fosfatos, Amonio y nitratos) en bioensayos a la intemperie con la especie Lemna spp. *Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada, Unidad Altamira*, 31-32.

Macas, M. F., & Montoya, R. A. (2015). "Uso de humedales artificiales superficiales para remoción de contaminantes industriales". *Escuela Superior Politécnica del Litoral: Facultad en Inegiería y el restp*, 25-40.

MAGAP. (2008). Control a tamaño de concha en manglares de Esmeraldas. *Viceministerio de Acuacultura y pesca*.

Martelo, J., & Borrero, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, Volumen 8, número 15, páginas 221–243.

Mendieta, L., & Garance, L. (2010). Tratamiento de aguas residuales por biorremedicaión. *ECO - Agua*, 1-29.

Milwaukee. (2014). Manual de uso del medidor portátil Milwaukee Mw 600. *Milwaukee Spain*, 1-4.

Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentajas de agua y

buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y ciencias del agua*, 61-62.

Mora, M. D. (2012). Capítulo 7: Macrofitas de interés en fitodepuración. En *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación* (págs. 12-16).

Múnera, J. D., & Restrepo, F. C. (2004). Valoración económica de costos ambientales: Marco conceptual y métodos de estmación. *Semestre Económico, vol. 7, núm. 13*, pp. 159-193.

PNUMA. (2001). *Las aguas residuales municipales como fuentes terrestres de contaminación de la zona marino-costera en la región de América Latina y El Caribe.* México: La Haya.

PNUMA. (2006). Perspectivas de un medio ambiente urbano. *GEO Esmeraldas*, 52-54.

Poveda, R. A. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua. *Universidad Técnica de Ambato: Facultad de ciencia e ingeniería en alimentos* , 31-33.

Roig, J. (2014). Eliminación de contaminantes emergentes mediante Humedales Artificiales como sistema alternativo o complementario a un tratamiento de aguas convencional. *Universidad Politécnica de Valencia: Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente*, 27-28.

Salas, J. (2017). Humedales artificiales: diseño y construcción. *Fundación CENTA*, 22-26.

Salazar, D., & Sánchez, E. (2015). Evaluación y propuesta de resiseño de la planta de tratamiento de aguas residuales de la comunidad de Churuguzo, Parroquia tarqui, Cantón Cuenca, provincia del Azuay. *Universidad de Cuenca: Facultad de Ingeniería*, 43-45.

SNAP. (2015). *Sistema Nacional de Áreas Protegidas del Ecuador.* Obtenido de Ministerio del Ambiente: http://areasprotegidas.ambiente.gob.ec/es/areas-protegidas/refugio-de-vida-silvestre-manglar-del-estuario-de-r%C3%ADo-esmeraldas

Soto, J. (2016). Estudio de aplicabilidad de humedales artificiales para la mejora de la calidad de las aguas en los meandros abandonados del río Segura. *Universidad Politécnica de Valencia*, 8-12.

TAISL. (2002). Técnicas asociadas de instrumentación. 1-3.

Trujillo, Z. M. (2012). Comparacón y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas

residuales domésticas. *Universidad Nacional de Ingeniería: Facultad de Ingeniería Ambiental*, 21-29.

TULAS. (2003). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria.* Quito.

Veintimilla, V. (2015). Caracterización de aguas residuales domésticas generadas en la Parroquia Tachina del Cantón Esmeraldas. *Pontificia Universidad Católica sede Esmeraldas*, 15 - 17.

Zapata, A. (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. *Universidad de Manizales: Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas; Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente*, 38-40.

ANEXOS

Anexo I: Marco Legal

- **Acuerdo ministerial 005**

Art. 1

Reformar el artículo 2 del Acuerdo Ministerial N° 170 de octubre 24 del 2001, publicado en el Registro Oficial N° 453 del 14 de noviembre del 2001, en lo que respecta al tamaño mínimo de extracción y comercialización de la concha prieta, estableciéndose en forma permanente la talla mínima para la extracción y comercialización de la concha prieta Anadara tuberculosa y Anadara similis en la longitud de 4.5 cm, medidas desde el lado anterior al lado posterior de las valvas.

- **Acuerdo ministerial N° 198**

Art. 3 Del incentivo

Socio manglar se inserta en la Estrategia de incentivos para la Conservación y Uso Sostenible del Patrimonio Natural, y consiste en una transferencia monetaria condicional al cumplimiento de los planes de manejo por los cuales el MAE otorga Acuerdos de Uso Sostenible y Custodia de los Manglares a comunidades y grupos ancestrales de usuarios.

- **Ley de conservación y restauración del ecosistema manglar**

Art.37

Se establece una veda permanente e indefinida de tamaño mínimo de captura a toda especie ovada y en épocas de reproducción de los recursos faunísticos del manglar, las vedas podrán afectar a toda la costa ecuatoriana o a determinadas localidades dependiendo de las condiciones específicas de cada sistema hidrográfico. Los tamaños mínimos serán definidos con sujeción a estudios científicos realizados por el Instituto Nacional de Pesca y con base en la sabiduría ancestral de las comunidades y pueblos del manglar.

- **Decreto ejecutivo 1102**

Se prohíbe talar manglar y se da paso a las concesiones a favor de las comunidades ancestrales, a través de acuerdos para el Uso Sustentable y Custodia de Manglar.

- **Constitución**

Art. 406

El Estado regulará la conservación, manejo y uso sustentable, recuperación, y limitaciones de dominio de los ecosistemas frágiles y amenazados; entre otros, los páramos, humedales, bosques nublados, bosques tropicales secos y húmedos y manglares, ecosistemas marinos y marinos-costeros.

Art. 405

EI sistema nacional de áreas protegidas garantizará la conservación de la biodiversidad y el mantenimiento de las funciones ecológicas. El sistema se integrará por los subsistemas estatal, autónomo descentralizado, comunitario y privado, y su rectoría y regulación será ejercida por el Estado. El Estado asignará los recursos económicos necesarios para la sostenibilidad financiera del sistema, y fomentará la participación de las comunidades, pueblos y nacionalidades que han habitado ancestralmente las áreas protegidas en su administración y gestión.

Las personas naturales o jurídicas extranjeras no podrán adquirir a ningún título tierras o concesiones en las áreas de seguridad nacional ni en áreas protegidas, de acuerdo con la ley.

- **Texto Unificado de Legislación Secundaria y Manejo Ambiental**

Libro V: De la gestión de los recursos costeros

Art. 20

Se declaran como bosques protectores a los manglares existentes en las provincias de Esmeraldas, Manabí, Guayas y El Oro que fueran de dominio del Estado. Contará con la participación del Ministerio de Defensa, Consejo Nacional de Recursos Hídricos y

Corporaciones de Desarrollo Regional de acuerdo con el Art. 6 de la mencionada Ley Forestal.

Art. 52

De la misma manera, no se permitirá en las áreas del ecosistema de manglar la instalación de fábricas e infraestructura, y actividades que produzcan desechos tóxicos, de acción residual que ponga en peligro el ecosistema y su biodiversidad.

Criterios generales para la descarga de efluentes

Libro VI: Anexo 1

Normas generales para descarga de efluentes, tanto al sistema de alcantarillado, como a los cuerpos de agua

En las tablas # 11, 12 y 13 de la presente norma, se establecen los parámetros de descarga directa hacia el sistema de alcantarillado y cuerpos de agua (dulce, estuarino y marina), los valores de los límites máximos permisibles, corresponden a promedios diarios. La Entidad Ambiental de Control deberá establecer la normativa complementaria en la cual se establezca: La frecuencia de monitoreo, el tipo de muestra (simple o compuesta), el número de muestras a tomar y la interpretación estadística de los resultados que permitan determinar si el regulado cumple o no con los límites permisibles fijados en la presente normativa para descargas a sistemas de alcantarillado y cuerpos de agua.

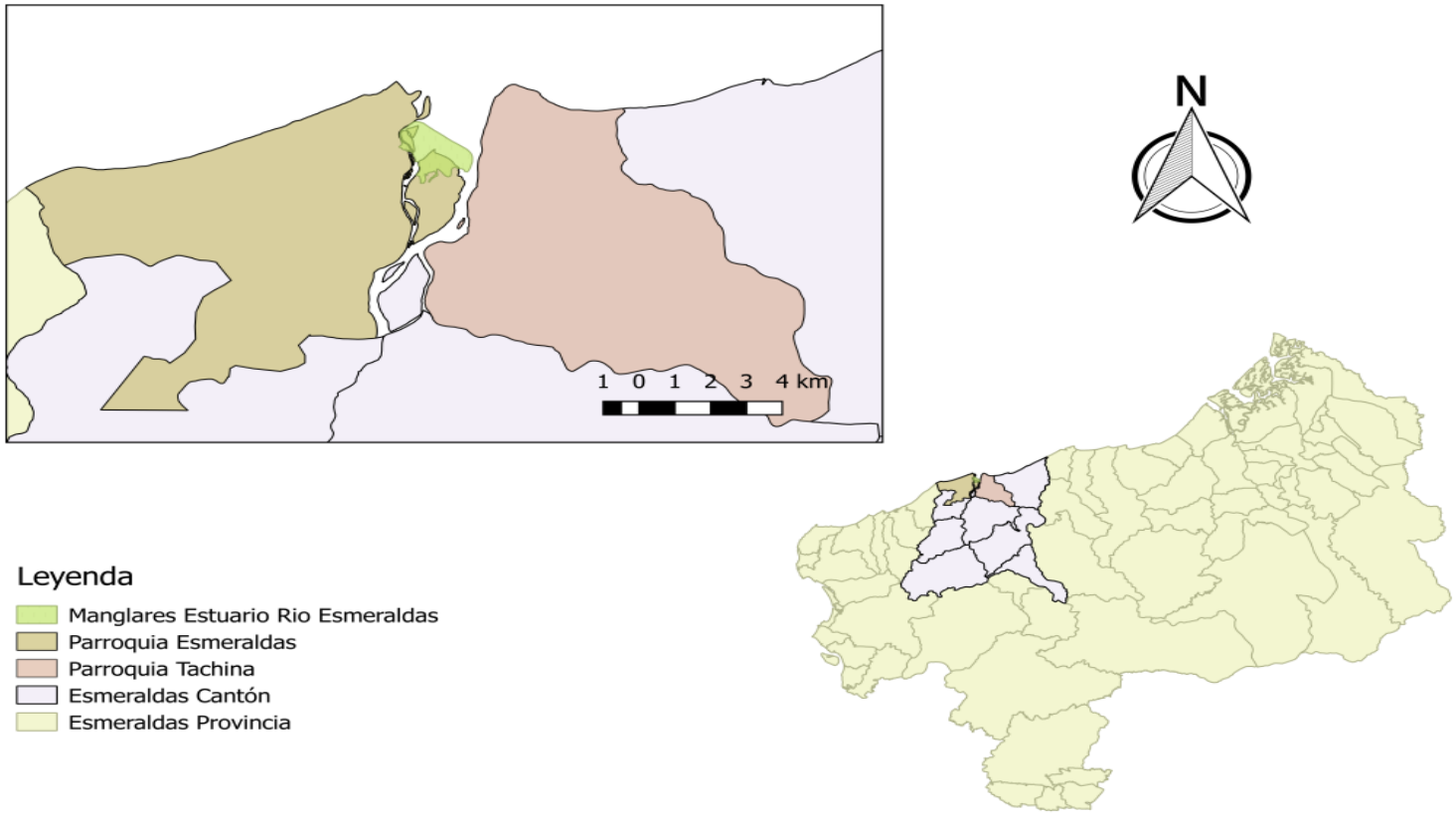
- **Ley de control y prevención para la contaminación**

Art. 6

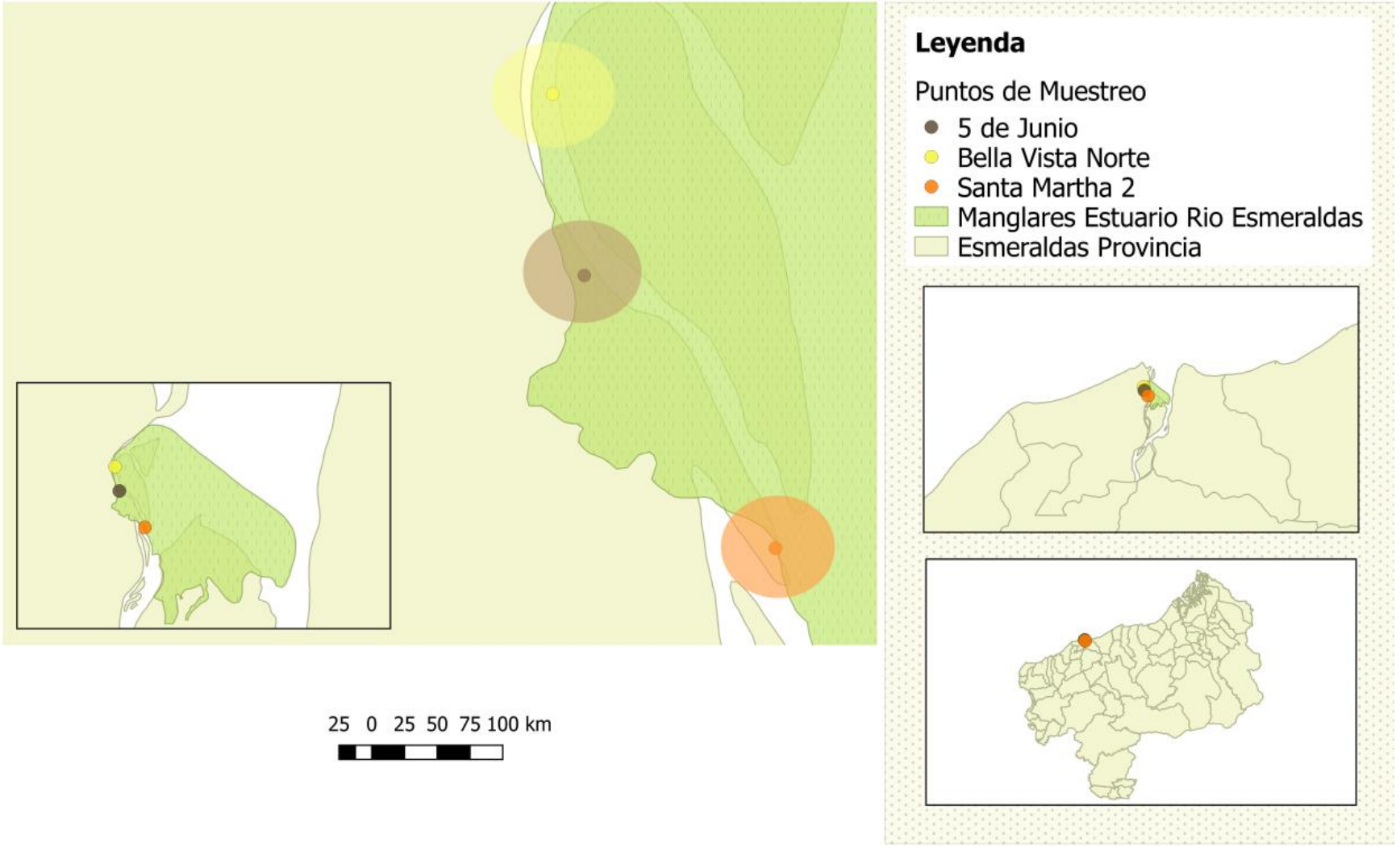
Queda prohibido descargar, sin sujetarse a las correspondientes normas técnicas y regulaciones, a las redes de alcantarillado, o en las quebradas, acequias, ríos, lagos naturales o artificiales, o en las aguas marítimas, así como infiltrar en terrenos, las aguas residuales que contengan contaminantes nocivos a la salud humana, a la fauna, a la flora y a las propiedades.

Anexo II: Área de estudio

Refugio de Vida Silvestre Manglares Estuario Río Esmeraldas



Anexo III: Puntos de muestreo



Anexo IV: Toma de parámetros físico-químicos en los puntos de muestreo (Bellavista Norte)





Anexo V: Recogida de muestras de agua residual, punto de muestreo 5 de Junio



Anexo VI: Análisis de agua en laboratorio antes de la fitorremediación







Anexo VII: Análisis de agua después de la fitorremediación



1



2



3

Nota: 1: Tratamiento con *Lemna minor* y *Eichornia crassipes*; 2: Tratamiento con *Lemna minor*; 3: Tratamiento con *Eichornia crassipes*

Anexo VIII: Aplicación de macrófitas en agua residual (primer día)



1



2



3

Nota: 1: *Lemna Minor*; 2: *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*; 3: *Eichornia crassipes*

Anexo VIII: Macrófitas en agua residual (séptimo día)



1

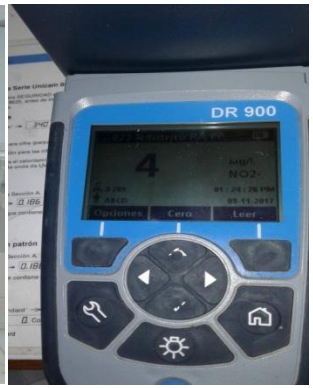


2

Nota: 1: *Lemna minor*; 2: *Eichornia crassipes* y *Lemna minor*

Anexo IX: Análisis de laboratorio y medición de biomasa





1 **2**





3 **4**

Nota: 1: Medición de contaminantes con el colorímetro HACH; 2: Valor de nitritos obtenidos con el colorímetro HACH; 3: Medición de la biomasa de *Lemna minor* en balanza electrónica; 4: Medición de biomasa de *Eichornia crassipes* en balanza electrónica

Anexo X: Limpieza y lavado de macrófitas



1



2



3

Nota: 1: Lavado de *Lemna minor*; 2: Lavado de *Eichornia crassipes* y retiro de hojas secas; 3: Retiro de hojas secas y organismos presentes en *Lemna minor*

Anexo XI: Parámetros fisicoquímicos

Áreas	Muestreo	Temp (°C)					Conduc (µs/cm)					ODO (mg/l)					Ph					Sol susp (mg/l)				
		I	F		PR (%)		I	F		PR (%)		I	F		PR (%)		I	F		PR (%)		I	F		PR (%)	
		C	E.C	L.M	E.C	L.M	C	E.C	L.M	E.C	L.M	C	E.C	L.M	E.C	L.M	C	E.C	L.M	E.C	L.M	C	E.C	L.M	E.C	L.M
Zona 1	M 1	25,35	25,17	25,02	-0,71	-1,30	15333,80	7790,12	7423,34	-49,20	-51,59	3,43	2,30	2,18	-32,94	-36,44	6,98	7,03	7,00	-0,72	-0,29	9547,00	5341,00	4871,00	-44,06	-48,98
	M 2	27,23	26,87	26,50	-1,32	-2,68	11853,50	6234,29	5149,80	-47,41	-56,55	5,23	4,10	3,87	-21,61	-26,00	7,11	7,00	6,98	-1,55	-1,83	7228,00	4879,00	3234,00	-32,50	-55,26
	M 3	25,42	25,34	25,13	-0,31	-1,14	25455,80	15342,87	15178,98	-39,73	-40,37	2,87	1,98	1,13	-31,01	-60,63	6,98	7,09	7,03	-1,58	-0,72	16079,00	8432,00	7723,00	-47,56	-51,97
	M 4	27,32	26,18	26,78	-4,17	-1,98	26323,73	15709,21	15434,23	-40,32	-41,37	3,65	2,89	2,37	-20,82	-35,07	7,15	7,17	7,10	-0,28	-0,70	13452,00	7789,00	6235,00	-42,10	-53,65
	M 5	27,20	26,49	26,89	-2,61	-1,14	12530,66	5123,42	4211,12	-59,11	-66,39	4,76	3,78	3,48	-20,59	-26,89	7,04	7,07	7,00	-0,43	-0,57	7350,00	4743,00	3879,00	-35,47	-47,22
	M 6	26,32	25,12	25,24	-4,56	-4,10	14344,56	8782,20	8635,49	-38,77	-39,79	2,83	1,87	1,72	-33,92	-39,22	7,03	7,10	7,01	-0,99	-0,28	8435,00	3213,00	2723,00	-61,90	-67,71
Zona 2	M 1	25,48	25,17	25,34	-1,22	-0,55	26750,40	12497,01	12332,12	-53,28	-53,90	3,15	2,37	1,78	-24,76	-43,49	7,38	7,08	7,02	-4,07	-4,88	9547,00	4879,00	3982,00	-48,89	-58,29
	M 2	26,99	25,97	25,43	-3,78	-5,78	34910,70	15412,27	15189,78	-55,85	-56,49	5,17	4,17	3,87	-19,34	-25,15	7,01	6,87	6,92	-2,00	-1,28	22160,00	10879,00	9823,00	-50,91	-55,67
	M 3	25,34	24,98	25,30	-1,42	-0,16	32324,50	14397,11	14278,24	-55,46	-55,83	2,28	1,78	1,12	-21,93	-50,88	7,05	6,97	7,03	-1,13	-0,28	24320,00	11234,00	9923,00	-53,81	-59,20
	M 4	26,47	25,38	25,19	-4,12	-4,84	31432,87	15287,34	14987,13	-51,37	-52,32	3,74	2,21	1,98	-40,91	-47,06	7,23	7,43	7,18	-2,77	-0,69	21324,00	11329,00	10234,00	-46,87	-52,01
	M 5	26,83	25,79	25,67	-3,88	-4,32	28363,35	13378,39	12823,90	-52,83	-54,79	4,13	3,79	2,34	-8,23	-43,34	7,11	7,49	7,08	-5,34	-0,42	23235,00	12879,00	10781,00	-44,57	-53,60
	M 6	26,54	25,34	25,23	-2,82	-4,93	24346,67	13981,04	13702,29	-42,57	-43,72	3,24	2,31	1,72	-28,70	-46,91	7,16	7,38	7,03	-3,07	-1,81	17434,00	7921,00	8231,00	-54,57	-52,79
Zona 3	M 1	25,65	24,13	24,87	-5,93	-3,04	22844,60	12210,29	12121,72	-46,55	-46,94	3,12	2,83	1,23	-9,29	-60,58	7,46	7,19	7,12	-3,62	-4,56	13820,00	6387,00	7439,00	-53,78	-46,17
	M 2	26,81	25,39	25,24	-5,30	-5,86	31696,60	16278,31	15921,37	-48,64	-49,77	5,28	4,21	2,17	-20,27	-58,90	7,24	7,12	7,10	-1,66	-1,93	19501,00	9872,00	8289,00	-49,38	-57,49
	M 3	25,93	24,10	24,67	-7,06	-4,86	33435,40	17341,98	16832,98	-48,13	-49,66	2,34	1,97	1,28	-15,81	-45,30	7,25	7,18	7,07	-0,97	-2,48	20397,00	10832,00	9721,00	-46,89	-52,34
	M 4	26,84	25,19	25,29	-6,15	-5,77	21353,43	12321,91	11921,01	-42,30	-44,17	5,78	4,72	3,14	-18,34	-45,67	7,27	7,14	7,04	-1,79	-3,16	12532,00	5423,00	4231,00	-56,73	-66,24
	M 5	26,96	25,87	25,62	-4,04	-4,97	28245,64	16210,21	15829,03	-42,61	-43,96	4,89	3,27	1,21	-33,13	-75,26	7,28	7,03	7,01	-3,43	-3,71	19687,00	9712,00	8001,00	-50,67	-59,36
	M 6	27,01	26,73	26,43	-1,03	-2,14	26434,79	15987,03	15117,18	-39,52	-42,81	2,37	1,89	1,29	-20,25	-45,56	7,11	7,01	6,98	-1,40	-1,82	17834,00	9124,00	8383,00	-48,84	-52,99

Nota: Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; Temp: Temperatura; Conduc: Conductividad; ODO: Oxígeno disuelto; Ph: Potencial Hidrógeno; Sol. susp: Sólidos suspendidos; I: Valor Inicial; F: Valor Final; PR (%): Porcentaje de remoción; C: Control; E.C: *Eichornia crassipes*; L.M: *Lemna minor*

Anexo XII: Proceso de fitorremediación antes y después

		Zona 1							Zona 2						Zona 3					
Muestreo	**Parámetro (mg/l)**	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**PR (%)**	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**PR (%)**
M1	NO2	1,10	0,02	98,18	0,00	100,00	0,02	98,18	2,50	**21,60**	-88,43	0,00	100,00	0,00	1,10	**21,60**	**-94,91**	0,00	100,00	0,02	98,18
	NO3	10,00	0,00	100,00	0,02	99,80	0,00	100,00	2,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	3,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,60	80,00
	Fe	0,05	0,16	**-68,75**	0,00	100,00	**0,10**	**-50,00**	0,79	0,28	64,56	0,04	94,94	0,03	1,17	0,28	76,07	0,04	96,58	0,03	97,44
	Cr VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	**-100,00**	0,03	0,00	0,01	**-100,00**	0,02	**-100,00**	0,03	**-100,00**
	Cu	0,63	**3,36**	**-81,25**	0,17	73,02	**3,12**	**-79,81**	0,19	**3,65**	**-94,79**	**3,35**	**-94,33**	**4,34**	0,68	**3,65**	**-81,37**	**3,35**	**-79,70**	**3,12**	**-78,21**
	PO4	0,59	**3,04**	**-80,59**	0,48	18,64	**3,32**	**-82,23**	2,38	0,64	73,11	1,04	56,30	**3,08**	2,40	0,64	73,33	1,64	31,67	**3,32**	**-27,71**
M2	NO2	0,00	**0,08**	**-100,00**	**0,07**	**-100,00**	**0,27**	**-100,00**	3,10	0,19	93,87	0,01	99,68	0,16	2,10	0,01	99,52	0,00	100,00	0,02	99,05
	NO3	0,70	0,03	95,71	0,03	95,71	0,27	61,43	1,89	0,07	96,30	0,00	100,00	0,18	9,32	0,00	100,00	0,02	99,79	0,00	100,00
	Fe	0,21	0,14	33,33	0,08	61,90	0,08	61,90	0,87	0,05	94,25	0,00	100,00	0,13	0,42	0,17	59,52	0,13	69,05	0,08	80,95
	Cr VI	0,05	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cu	0,77	**1,12**	**-31,25**	0,00	100,00	**0,81**	**-4,94**	2,78	0,93	66,55	**3,61**	-22,99	2,76	2,41	2,25	6,64	1,12	53,53	**3,61**	-33,24
	PO4	9,00	4,65	48,33	5,68	36,89	4,64	48,44	3,45	2,27	34,20	2,29	33,62	1,66	8,40	0,89	89,40	1,52	81,90	0,21	97,50
M3	NO2	0,01	**0,02**	**-50,00**	**0,02**	**-50,00**	0,00	100,00	0,01	0,00	100,00	0,07	**-85,71**	0,00	11,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
	NO3	4,40	0,40	90,91	1,60	63,64	0,20	95,45	0,02	0,00	100,00	**0,06**	**-66,67**	0,00	6,30	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00
	Fe	0,61	0,13	78,69	0,16	73,77	0,12	80,33	0,34	0,21	38,24	0,06	82,35	0,19	0,24	0,14	41,67	0,07	70,83	0,05	79,17
	Cr VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,34	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cu	1,13	**3,97**	**-71,54**	0,87	23,01	**2,50**	**-54,80**	1,99	**2,86**	**-30,42**	**3,53**	**-43,63**	0,84	3,50	0,85	75,71	0,96	72,57	1,27	63,71
	PO4	3,33	2,11	36,64	0,48	85,59	2,11	36,64	0,85	**2,04**	**-58,33**	**3,96**	**-78,54**	**1,82**	6,36	0,82	87,11	0,37	94,18	0,31	95,13
M4	NO2	14,00	**106,00**	**-86,79**	0,00	100,00	**76,00**	**-81,58**	0,00	0,11	0,00	0,00	0,00	**68,00**	9,00	**10,00**	-10,00	0,00	100,00	4,00	55,56
	NO3	1,00	0,03	97,00	0,00	100,00	0,09	91,00	1,80	**28,00**	**-93,57**	0,00	100,00	0,10	1,50	0,03	98,00	0,00	100,00	0,00	100,00
	Fe	0,65	0,31	52,31	0,07	89,23	0,43	33,85	0,33	0,07	78,79	0,07	78,79	0,00	0,29	0,31	**-6,45**	0,06	79,31	**0,40**	**-27,50**
	Cr VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

	Cu	0,12	**1,55**	**-92,26**	0,00	100,00	**0,64**	**-81,25**	1,82	1,04	42,86	1,07	41,21	0,74	1,27	**1,55**	**-18,06**	0,84	33,86	**2,47**	**-48,58**
	PO4	0,45	**2,08**	**-78,37**	**0,66**	**-31,82**	**0,58**	**-22,41**	2,78	0,41	85,25	0,83	70,14	0,13	1,74	**2,08**	**-16,35**	1,16	33,33	**2,44**	**-28,69**
M5	NO2	4,00	**10,00**	**-60,00**	0,00	100,00	**59,00**	**-93,22**	4,00	**19,00**	**-78,95**	0,11	97,25	**19,00**	0,04	**87,00**	**-99,95**	0,00	100,00	**31,00**	**-99,87**
	NO3	2,10	1,00	52,38	0,01	99,52	0,03	98,57	1,60	0,01	99,38	0,04	97,50	0,01	3,50	0,03	99,14	0,03	99,14	0,02	99,43
	Fe	0,66	0,30	54,55	0,06	90,91	0,18	72,73	0,48	**1,36**	**-64,71**	0,10	79,17	**0,69**	0,16	0,08	50,00	0,00	100,00	**0,84**	**-80,95**
	Cr VI	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cu	0,80	**2,35**	**-65,96**	0,20	75,00	**2,22**	**-63,96**	3,20	0,89	72,19	0,40	87,50	0,28	1,24	1,04	16,13	1,30	**-4,62**	1,00	19,35
	PO4	0,48	**1,64**	**-70,73**	**1,95**	**-75,38**	**0,92**	**-47,83**	1,16	0,30	74,14	**6,72**	**-82,74**	0,69	3,84	0,48	87,50	**3,58**	6,77	**2,42**	36,98
M6	NO2	2,00	**100,00**	**-98,00**	0,00	100,00	**6,00**	**-66,67**	1,00	**112,00**	**-99,11**	0,00	100,00	**83,00**	6,00	**136,00**	**-95,59**	0,00	100,00	**83,00**	**-92,77**
	NO3	5,40	0,07	98,70	0,00	100,00	0,05	99,07	1,50	0,02	98,67	0,02	98,67	0,03	1,30	0,04	96,92	0,02	98,46	0,03	97,69
	Fe	0,15	0,10	33,33	0,07	53,33	0,12	20,00	1,11	0,08	92,79	0,31	72,07	0,10	0,77	0,03	96,10	0,13	83,12	0,10	87,01
	Cr VI	0,00	**0,01**	**-100,00**	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Cu	1,97	**2,47**	**-25,38**	1,18	40,10	**2,55**	**-22,75**	3,12	2,31	25,96	0,49	84,29	1,50	2,04	**2,90**	-29,66	**5,07**	**-59,76**	1,50	26,47
	PO4	3,00	**4,17**	**-28,06**	2,02	32,67	2,00	33,33	0,72	**2,69**	**-73,23**	**1,83**	**-60,66**	**5,48**	1,77	0,52	70,62	**1,91**	**-7,33**	**5,48**	**-67,70**

Nota: M: Muestreo; NO2: Nitratos; NO3: Nitritos; Fe: Hierro; Cr VI: Cromo VI; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; E.C: *Eichornia crassipes*; PR: Porcentaje de remoción; L.M: *Lemna minor*

Anexo XIII: Variación de los contaminantes en las muestras de agua residual

Lugar	Muestreo	NO2 (mg/l)	NO3 (mg/l)	Fe (mg/l)	Cu (mg/l)	PO4 (mg/l)	Cr VI (mg/l)
Zona 1	M 1	1,10	10,00	0,05	0, 63	0,59	0
	M 2	0	0,70	0,21	0,77	9,00	0,05
	M 3	0,01	4,40	0,61	1,13	3,33	0
	M 4	14,00	1,00	0,65	0,12	0,45	0
	M 5	4,00	2,10	0,66	0,80	0,48	0
	M 6	2,00	5,40	0,15	1,97	3,00	0
Zona 2	M 1	2,50	2,00	0,79	0,19	2,38	0
	M 2	3,10	1,89	0,87	2,78	3,45	0
	M 3	0,01	0,02	0,34	1,99	0,85	0,34
	M 4	0	1,80	0,33	1,82	2,78	0
	M 5	4,00	1,60	0,48	3,20	1,16	0
	M 6	1,00	1,50	1,11	3,12	0,72	0,03
Zona 3	M 1	1,10	3,00	1,17	0,68	2,40	0
	M 2	2,10	9,32	0,42	2,41	8,40	0
	M 3	11,00	6,30	0,24	3,50	6,36	0
	M 4	9,00	1,50	0,29	1,27	1,74	0
	M 5	6,00	3,50	0,16	1,24	3,84	0
	M 6	6,00	1,30	0,77	2,04	1,77	0

Nota: Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; M: muestreo; NO2: Nitritos; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente

Anexo XIV: Proceso de fitorremediación

	Zona 1							Zona 2							Zona 3							PRT(%)		
Parámetro (mg/l)	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**PR (%)**	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**PR (%)**	**Control**	**E.C**	**PR (%)**	**L. M**	**PR (%)**	**E.C y L.M**	**PR (%)**	**E.C**	**L.M**	**E.C Y L.M**
NO2	3,51	36,02	-90,26	0,01	99,72	23,54	-85,09	2,50	21,60	-88,43	0,00	100,00	0,00	100,00	1,10	21,60	-94,91	0,00	100,00	0,02	98,18	-91,20	99,91	37,70
NO3	3,93	0,25	93,64	0,27	93,13	0,10	97,46	2,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	3,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,60	80,00	97,88	97,71	92,49
Fe	0,38	0,19	50,00	0,07	81,58	0,17	55,26	0,79	0,28	64,56	0,04	94,94	0,03	96,20	1,17	0,28	76,07	0,04	96,58	0,03	97,44	63,54	91,03	82,97
Cr VI	0,01	0,00	100,00	0,00	100,00	0,00	100,00	0,05	0,00	100,00	0,00	100,00	0,03	66,67	0,00	0,01	-100,00	0,02	-100,00	0,03	-100,00	33,33	33,33	22,22
Cu	0,90	2,47	-63,56	0,40	55,56	3,12	-71,15	0,19	3,65	-94,79	3,35	-94,33	4,34	-95,62	0,68	3,65	-81,37	3,35	-79,70	3,12	-78,21	-79,91	-39,49	-81,66
PO4	2,80	3,04	-7,89	1,87	33,21	3,32	-15,66	2,38	0,64	73,11	1,04	56,30	3,08	-22,73	2,40	0,64	73,33	1,64	31,67	3,32	-27,71	46,18	40,39	-22,03

Nota: NO2: Nitritos; NO3: Nitrato; Fe: Hierro; Cu: Cobre; PO4: Ortofosfato; Cr VI: Cromo hexavalente; Zona 1: Santa Martha; Zona 2: 5 de Junio; Zona 3: Bellavista Norte; E.C: *Eichornia crassipes*; PR: Porcentaje de remoción parcial; L.M: *Lemna minor*; PRT: Porcentaje de remoción total

Anexo XV: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 1

Zona 1															
Muestreo	**E.C (cm)**		**PCR**	**Sig.**	**L.M (cm)**		**PCR**	**Sig.**	**E.C Y L.M (cm)**					**PCR**	
	B.I	**B.F**	**(%)**		**B.I**	**B.F**	**(%)**		**E.C**		**Sig.**	**L.M**		**Sig.**	**(%)**	
									B.I	**B.F**		**B.I**	**B.F**		**E.C**	**L.M**
M1	142,78	125,15	-12,35	0,00	31,90	22,50	-29,47	0,00	173,93	**159,09**	0,05	32,50	28,00	0,05	-8,53	-13,85
M2	131,93	127,96	-3,01		10,60	8,90	-16,04		92,07	**71,74**		10,60	10,40		-22,08	-1,89
M3	157,57	102,54	-34,92		13,70	9,20	-32,85		141,10	**90,74**		11,50	5,50		-35,69	-52,17
M4	228,48	244,35	**6,95**		7,70	11,00	**42,86**		165,85	**154,34**		28,70	33,00		-6,94	**14,98**
M5	188,89	169,24	-10,40		31,70	23,40	-26,18		183,83	**163,95**		31,70	52,40		-10,81	**65,30**
M6	103,09	89,34	-13,34		64,20	44,40	-30,84		94,86	**82,64**		82,30	67,00		-12,88	-18,59
Promedio			-11,18				-15,42								-16,16	-1,04

Nota: Zona 1: Santa Martha; E.C: *Eichornia crassipes*; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de significancia; L.M: *Lemna minor*; B.I: Biomasa Inicial: B.F: Biomasa Final

*Nota: Valores en negrita indican crecimiento de las plantas; valores con signos negativos indican pérdida de biomasa.

Anexo XVI: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 2

Zona 2															
Muestreo	**E.C (cm)**		**PCR**	**Sig.**	**L.M (cm)**		**PCR**	**Sig.**	**E.C Y L.M (cm)**					**PCR**	
	B.I	**B.F**	**(%)**		**B.I**	**B.F**	**(%)**		**E.C**		**Sig.**	**L.M**		**Sig.**	**(%)**	
									B.I	**B.F**		**B.I**	**B.F**		**E.C**	**L.M**
M1	137,71	148,12	**7,56**		38,90	23,10	-40,62		140,82	110,07		29,60	29,10		-21,84	-1,69
M2	195,63	206,64	**5,63**		17,50	10,10	-42,29		98,64	97,91		10,49	9,70		-0,74	-7,53
M3	143,05	114,25	-20,13	0,00	28,40	13,40	-52,82	0,00	189,00	134,59	0,05	6,60	1,60	0,05	-28,79	-75,76
M4	129,39	110,47	-14,62		18,90	12,20	-35,45		99,80	125,65		18,30	9,00		**25,90**	-50,82
M5	245,87	229,60	-6,62		33,80	40,00	**18,34**		122,82	161,92		40,00	37,80		**31,84**	-5,50
M6	70,07	61,79	-11,82		97,70	66,60	-31,83		93,86	97,58		83,00	41,00		**3,96**	-50,60
Promedio			-6,67				-30,78								**1,72**	-31,98

Nota: Zona 2: 5 de Junio; E.C: *Eichornia crassipes*; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de significancia; L.M: *Lemna minor*; B.I: Biomasa Inicial: B.F: Biomasa Final

*Nota: Valores en negrita indican crecimiento de las plantas; valores con signos negativos indican pérdida de biomasa.

Anexo XVII: Biomasa, abundancia/dominancia antes y después del proceso de fitorremediación en la Zona 3

Zona 3															
Muestreo	**E.C**		**PCR**	**Sig.**	**L.M**		**PCR**	**Sig.**	**E.C Y L.M**					**PCR**	
									E.C		**Sig.**	**L.M**		**Sig.**	**(%)**	
	B.I	**B.F**	**(%)**		**B.I**	**B.F**	**(%)**		**B.I**	**B.F**		**B.I**	**B.F**		**E.C**	**L.M**
M1	124,84	117,87	-5,58		34,20	22,40	-34,50		96,46	114,90		23,70	33,70		**19,12**	**42,19**
M2	120,06	110,38	-8,06		29,60	8,20	-72,30		79,63	176,43		22,40	9,40		**54,87**	-58,04
M3	163,01	124,89	-23,39	0,00	17,00	7,00	-58,82	0,00	146,83	107,90	0,05	21,10	9,50	0,05	-26,51	-54,98
M4	180,90	169,10	-6,52		14,90	18,50	**24,16**		148,24	164,53		15,30	14,70		**10,99**	-3,92
M5	296,70	150,87	-49,15		42,30	36,20	-14,42		230,96	141,53		40,90	53,90		-38,72	**31,78**
M6	70,72	63,27	-10,53		45,60	31,20	-31,58		52,57	53,32		85,80	48,30		**1,43**	-43,71
Promedio			-17,21				-31,24								**3,53**	-14,44

Nota: Zona 3: Bellavista Norte; E.C: *Eichornia crassipes*; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de significancia; L.M: *Lemna minor*; B.I: Biomasa Inicial: B.F: Biomasa Final

*Nota: Valores en negrita indican crecimiento de las plantas; valores con signos negativos indican pérdida de biomasa.

Anexo XVIII: Crecimiento radicular en la Zona 1

Zona 1								
Muestreo	**E.C (cm)**				**L.M (cm)**			
	C.I	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**C.I**	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**
M1	10,73	12,48	14,02	0,000	4,82	6,34	23,97	0,000
M2	11,23	13,24	15,18		3,72	5,25	29,14	
M3	9,82	11,79	16,71		4,91	6,78	27,58	
M4	10,43	11,97	12,87		4,73	6,94	31,84	
M5	10,37	12,32	15,83		3,21	5,27	39,09	
M6	9,78	11,21	12,76		3,43	5,14	33,27	
Promedio			14,56				**30,82**	

Nota: Zona 1: Santa Martha; E.C: *Eichornia crassipes*; L.M: *Lemna minor*; C.I: Crecimiento Inicial; C.F: Crecimiento Final; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de Significancia.

Anexo XIV: Crecimiento radicular en la zona 2

Zona 2								
Muestreo	**E.C (cm)**				**L.M (cm)**			
	C.I	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**C.I**	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**
M1	11,23	13,21	17,63	0,000	4,32	5,97	38,19	0,000
M2	10,43	12,78	22,53		3,21	5,13	59,81	
M3	10,97	12,34	12,49		3,67	5,34	45,50	
M4	9,82	11,21	14,15		3,89	5,41	39,07	
M5	10,24	12,34	20,51		3,38	5,10	50,89	
M6	9,34	11,98	28,27		4,98	6,11	22,69	
Promedio			19,26				**42,69**	

Nota: Zona 2: 5 de Junio; E.C: *Eichornia crassipes*; L.M: *Lemna minor*; C.I: Crecimiento Inicial; C.F: Crecimiento Final; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de Significancia.

Anexo XV: Crecimiento radicular en la zona 3

Zona 3								
Muestreo	**E.C (cm)**				**L.M (cm)**			
	C.I	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**	**C.I**	**C.F**	**PCR (%)**	**Sig.**
M1	10,77	12,32	14,39	0,000	3,21	5,98	86,29	0,000
M2	10,21	12,45	21,94		3,12	5,17	65,71	
M3	11,34	13,72	20,99		3,67	5,23	42,51	
M4	10,15	12,20	20,20		4,32	6,24	44,44	
M5	11,12	13,02	17,09		3,98	5,82	46,23	
M6	11,15	13,07	17,22		4,84	5,34	10,33	
Promedio			18,64				**49,25**	

Nota: Zona 3: Bellavista Norte; E.C: *Eichornia crassipes*; L.M: *Lemna minor*; C.I: Crecimiento Inicial; C.F: Crecimiento Final; PCR: Porcentaje de Crecimiento; Sig: Nivel de Significancia