



ESPAMMFL

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA
AGROPECUARIA DE MANABÍ MANUEL FÉLIX LÓPEZ

CARRERA INGENIERÍA AMBIENTAL

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN MEDIO AMBIENTE**

TEMA:

**EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) *ex – situ*
EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE
ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA**

AUTORAS:

XIMENA VALERIA SANTANA SUÁREZ

JESSIE DANIELA SANTOS TELLO

TUTOR:

BLGO. RAMÓN ZAMBRANO AVEIGA

CALCETA, JUNIO 2016

DERECHOS DE AUTORÍA

Ximena Valeria Santana Suárez y Jessie Daniela Santos Tello, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría, que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional, y que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos los derechos de propiedad intelectual a la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual y su reglamento.

Ximena Valeria Santana Suárez

Jessie Daniela Santos Tello

CERTIFICACIÓN DE TUTOR

Ramón Horacio Zambrano Aveiga certifica haber tutelado la tesis EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) *ex – situ* EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA, que ha sido desarrollada por Ximena Valeria Santana Suárez y Jessie Daniela Santos Tello, previa a la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Blgo. Ramón Horacio Zambrano, Mg.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** la tesis titulada **EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES ORGÁNICOS, CASO DE ESTUDIO RÍO MUERTO, CANTÓN MANTA**, que ha sido propuesta, desarrollada y sustentada por Ximena Valeria Santana Suárez y Jessie Daniela Santos Tello, previa a la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TESIS DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Verónica Espinel Pino
MIEMBRO

Arq. Francisco Solórzano Murillo
MIEMBRO

Ing. Joffre Andrade Candell
PRESIDENTE

AGRADECIMIENTO

A Dios nuestro pilar fundamental en nuestras vidas un especial agradecimiento por permitirnos cumplir con paciencia, entendimiento y dedicación la meta de ser ingenieras, un propósito en el cual nos permite ser más para servir mejor;

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que nos da la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual estamos forjando nuestros conocimientos profesionales día a día,

A nuestros padres, hermanos y demás familiares que de una u otra forma nos han colaborado y apoyado incondicionalmente a lo largo de este camino universitario para lograr el objetivo de ser profesionales, y

A las personas que directa e indirectamente que colaboraron en la ejecución del proyecto.

Jessie Santos Tello

Ximena Santana Suárez

DEDICATORIA

A mi madre Laura Tello, por su apoyo incondicional, a mi enamorado Jerry Merizalde, por siempre estar a mi lado dándome su apoyo y ser parte de mi diario vivir y a mis amigos Ximena, Francisco, Andrés, Hugo, Víctor y Willy por ser las personas quien se han ganado mi confianza, admiración y amistad.

Jessie Santos Tello

DEDICATORIA

A mi mamá Jacqueline por todo su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio de ayudarme a cumplir mis sueños y metas y por ser la mujer que más admiro en el mundo.

A mis abuelos Eduardo y Natividad con profundo cariño por sus cuidados y protección, bendición y por ser mi inspiración diaria a ser una mejor persona.

Y a mis amigos Jessie, Francisco, Andrés, Hugo, Víctor, Willy y Jerry por siempre contagiarme de sus alegrías a través de sus ocurrencias y por ser las personas que sin dudarlo han estado en los buenos y malos momentos.

Ximena Santana Suárez

CONTENIDO GENERAL

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES	1
1.1.Planteamiento y formulación del problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Hipótesis	3
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 El agua.....	4
2.2 Contaminación del agua	5
2.3 Río Muerto del cantón Manta	6
2.4 Agentes contaminantes.....	6
2.5 Fitorremediación	9
2.6 La Planta de vetiver	11
2.7 Eficiencia de la planta vetiver.....	12
2.8 Sistema hidropónico.....	13
2.9 Diseño completamente al azar.....	15
2.10 Técnicas estadísticas.....	15
CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO	17
3.1 Ubicación del proyecto.....	17
3.2 Duración del trabajo	17
3.3 Variables de estudio.....	17
3.4 Tipo de investigación	18
3.5 Factor en estudio	18
3.6 Tratamientos	18
3.7 Diseño experimental	19
3.8 Unidad experimental	19
3.9 Análisis estadístico.....	20
3.10 Procedimiento	20
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1. Diagnóstico de las aguas del río Muerto mediante análisis físicos – químicos y microbiológico.....	24

4.2. Utilización de diferentes cantidades de individuos de pasto vetiver en unidades experimentales <i>ex-situ</i>	27
4.3. Comprobación de la eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) mediante análisis de los indicadores en estudio.	30
4.3.1. Variables analizadas estadísticamente.....	30
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES.....	42
5.1 Conclusiones.....	42
5.2 Recomendaciones	42
BIBLIOGRAFÍA	43
ANEXOS	51

CONTENIDO DE CUADROS, GRÁFICOS Y FIGURAS

CUADROS

3.1. Características del Cantón Manta	17
3.2. Combinaciones de los niveles	18
3.3. Tratamientos	18
3.4. Delineamiento experimental	19
3.5. Análisis de Varianza	19
3.6. Descripción de las unidades experimentales	19
3.7. Parámetros a monitorear.....	20
3.8. Parámetros físicos, químicos y microbiológico.....	21
3.9. Monitoreos de los análisis físicos químicos.....	23
4.1. Coordenadas de los puntos de muestreo.....	24
4.2. Resultados de los análisis físicos químicos y microbiológico.....	25
4.3. Resultados del análisis inicial del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.....	30
4.4. Promedios de porcentaje de remoción de DBO, Nitrógeno, Fósforo y turbidez en el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016... ..	36
4.5. Diferencias de medias de los porcentajes de remoción de DBO, turbidez y nitrógeno en el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)	

ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	37
---	----

GRÁFICOS

4.1. Promedio de números de brotes de cada tratamiento del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	28
4.2. Promedio de las raíces del pasto vetiver de cada tratamiento del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	28
4.3. Porcentaje de los esquejes muertos durante los 22 días de ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	29
4.4. Variación de la DBO de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	32
4.5. Variación de los niveles de nitrógeno de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	33
4.6. Variación de los niveles de fósforo de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	34
4.7. Variación de los niveles de turbidez de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) ex – <i>situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.	35

4.8. Variación del oxígeno disuelto semanal de los cuatro tratamientos del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.....	39
4.9. Variación del porcentaje de salinidad semanal de los cuatro tratamientos del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.....	40
4.10. Variación del pH semanal de los cuatro tratamiento del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016...	40
4.11. Valores de variación diaria de la temperatura durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016..	41

FIGURAS

4.1. Croquis del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>) <i>ex – situ</i> en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016...	27
--	----

RESUMEN

El objetivo de esta investigación consistió en evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* en la remoción de los contaminantes orgánicos en las aguas del río Muerto del cantón Manta, para lo cual se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos utilizando 30, 12 y 2 esquejes del pasto vetiver bajo condiciones hidropónicas y un testigo, en un volumen de 20 litros de agua del río Muerto, cada uno con tres repeticiones. Se monitoreó cada ocho días el oxígeno disuelto, pH y salinidad seguidamente también la remoción de nitrógeno, fósforo, turbidez y DBO, el experimento duró cuatro semanas. Como resultados, se verificó con el diagnóstico de las aguas del río Muerto que tiene una alta concentración de materia orgánica e inorgánica DQO (1975 mg/L), originando un bajo nivel de oxígeno disuelto de 0,51 mg/L. Los esquejes del pasto vetiver utilizados en el experimento removieron contaminantes y aumentaron el oxígeno disuelto en todas las unidades experimentales desde la primera semana reflejando su adaptabilidad y desarrollo al pasar de los días; tanto el tratamiento A₂ (2 esquejes + 20 L), y A₃ (12 esquejes + 20 L), mostraron diferencias estadísticamente significativas frente al testigo para remoción DBO a los 15 días, con una significación de $P=0.016$ y $P=0.037$, respectivamente. Así mismo, para turbidez se encontraron diferencias significativas a los 8 días: A₂ ($P=0.004$) y A₃ ($P=0.014$). Sin embargo, el tercer tratamiento, A₃ resultó muy eficiente en la remoción final de: DBO (72.92%), nitrógeno (84.09%), fósforo (65.04%) y turbidez (76.76%), y se observó un aumento del nivel de OD a 5.04 mg/L.

PALABRAS CLAVE

Sistema hidropónico, fitorremediación, rizofiltración, esquejes

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate the efficiency of vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* in the removal of organic pollutants in the waters of the Muerto river in the town of Manta, for which a design was completely randomized with four treatments using 30, 12 and 2 cuttings of vetiver grass under hydroponic conditions and a witness. The grass was put in a volume of 20 liters of water from the river each with three repetitions, monitoring them every eight days where they dissolved oxygen, pH and salinity then also removed nitrogen, phosphorus, turbidity and BOD, the experiment lasted four weeks. As the results, was verified with the diagnosis of the samples, the Muerto river has a high concentration of organic and inorganic matter COD (1975 mg/L), causing a low level of dissolved oxygen of 0.51 mg/L. Vetiver grass cuttings used in the experiment were removed of contaminants and dissolved oxygen increased in all experimental units from the first week reflecting its adaptability and development each passing day; both treatment A₂ (2 cuttings + 20 L), and A₃ (12 cuttings + 20 L) showed statistically significant differences versus control for BOD removal at 15 days, with a significance of $P= 0.016$ and $P= 0.037$, respectively. Also, for turbidity significant differences within the 8 days were found: A₃ ($P= 0.014$) A₂ ($P= 0.004$). However, the third treatment, A₃ proved very efficient in the end: BOD (72.92%), nitrogen (84.09%), phosphorus (65.04%) and turbidity (76.76%), and an increased level of DO to 5.04 mg / L was observed.

KEY WORDS

Hydroponic system, phytoremediation, rhizofiltration, cuttings

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un elemento indispensable para la supervivencia de todos los organismos vivos, mediante factores como su disponibilidad y su composición química, física y biológica afectan la habilidad de los ambientes acuáticos para sostener el funcionamiento de los ecosistemas (Cano, 2010). Sin embargo, este vital recurso se ve cada vez más amenazado debido a la contaminación ambiental y deterioro de su calidad. Las razones de dicha contaminación son numerosas, tales como desarrollo industrial, agricultura intensiva, crecimiento exponencial de la población humana y la producción y uso de decenas de miles de sustancias químicas sintéticas están entre las principales causas de degrado (Hespanhol & Helmer, 2001).

Debido a la continua incorporación de materiales ajenos al recurso hídrico, los ríos se han ido deteriorando poco a poco, aunque tengan la gran capacidad de regenerarse por sí mismos, neutralizando los efectos de las grandes cantidades de aguas residuales industriales, domésticas, agrícolas, entre otras, que reciben. No obstante, frecuentemente las descargas de agua contaminada superan la capacidad de auto regeneración influyendo directamente en la salud del ecosistema del río, lo cual conlleva a la pérdida del oxígeno disuelto en el agua, la desaparición de insectos y peces, con la consecuente destrucción del ecosistema fluvial por alteración de la cadena trófica (Chiriboga, 2010).

Durante los últimos años en Ecuador, se ha acentuado la contaminación de los cuerpos de agua, debido al mal manejo de las aguas residuales domésticas, por parte de las autoridades locales que no aplican las políticas ambientales, el incumplimiento de las leyes y por falta de recursos económicos, ocasionando contaminación directa hacia los cuerpos receptores.

El Cantón Manta, puerto atunero más grande de Latinoamérica posee ríos que atraviesan la ciudad. El río Muerto, nace en territorio del cantón Montecristi, y atraviesa el cantón Manta por los barrios Divino Niño, Los Cactus, Costa Azul y El Palmar hasta desembocar en la playa en la zona de La Florita de la

parroquia Los Esteros, afectando seriamente a sus moradores y a la zona costera (EPAM, 2015). El paso del río por centros poblados ha conllevado a la alteración de las características físicas, químicas y microbiológicas del agua, presentando un aspecto séptico, color negrozco, olores pestilentes y ausencia de vida acuática y si no se toman medidas paliativas urgentes, el riesgo a corto o mediano plazo puede ser mayor.

Por los problemas antes mencionados, se creó la necesidad de realizar la remoción de contaminantes aplicando técnicas económicas y de fácil manejo tales como tecnologías de fitorremediación.

Los antecedentes expuestos permitieron formular la siguiente interrogante:

¿Cuál es la eficiencia del pasto *Chrysopogon zizanioides* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, Cantón Manta?

1.2 JUSTIFICACIÓN

La Constitución del Ecuador (2008) en el Art. 14. Sección segunda, señala: Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, Sumak Kawsay.

Esta investigación se apoya en el objetivo 7 del Plan Nacional del Buen Vivir vigente, donde la política estratégica del numeral 7.6 establece: Gestionar de manera sustentable y participativa el patrimonio hídrico, con enfoque de cuencas y caudales ecológicos para asegurar el derecho humano al agua, estableciendo incentivos para ampliar su eficiencia en el uso de las fuentes hídricas, además de controlar, regular y sancionar la contaminación de este recurso y así desarrollar medidas específicas para su tratamiento y reposición de agua de calidad.

En la actualidad existen diversos sistemas de tratamientos para aguas residuales domésticos e industriales, sin embargo, estos pueden llegar a presentar un valor económicamente alto. Es por ello, que la fitotecnología es utilizada como una alternativa de bajo costo para depurar aguas contaminadas.

Según Truong (2004) el pasto vetiver constituye una herramienta importante ya que se ha demostrado a través de investigaciones realizadas en Australia, China, Tailandia y demás países la tolerancia que tiene este pasto a niveles elevados, a veces tóxicos de la salinidad, acidez, alcalinidad, sodicidad, metales pesados y productos agroquímicos. Estos atributos indican que el vetiver es muy adecuado para el tratamiento de aguas contaminadas por los efluentes domésticos.

Es por ello, que esta investigación se consideró la utilización del pasto *Chrysopogon zizanioides*, como una tecnología de fitorremediación para las aguas contaminadas del río Muerto de Manta y así mitigar la creciente contaminación que se produce en las zonas costeras de la ciudad.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* en la remoción de los contaminantes orgánicos en las aguas del río Muerto del cantón Manta.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diagnosticar las aguas del río Muerto de la ciudad de Manta, mediante análisis físicos – químicos y microbiológico.
- Utilizar diferentes cantidades de individuos de pasto vetiver en unidades experimentales *ex-situ*.
- Comprobar la eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) mediante análisis de los indicadores en estudio.

1.4 HIPÓTESIS

El pasto *Chrysopogon zizanioides* tiene una alta eficiencia en la remoción de contaminantes orgánicos, en las aguas del río Muerto del cantón Manta.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1 EL AGUA

El artículo 12, de la Constitución ecuatoriana, señala que el agua es un patrimonio nacional fundamental e irrenunciable de uso público, esencial para la vida. El agua es una molécula polar considerada un solvente ideal. Esta capacidad de disolución del agua, es fundamental para la vida, ya que interviene en la alimentación de los seres vivos, como las plantas (acarreado nutrientes), en la respiración de los peces (por el oxígeno disuelto) y en la eliminación de todos los organismo, según mencionan Guerrero y Schifter (2011).

El agua dulce es importante para el desarrollo de la vida y el bienestar económico. La Ecological Society of América (2003) indica que, aproximadamente el 2,5 % del agua total de la tierra corresponde al agua dulce, y de este porcentaje, solo el 80 % se encuentra en las capas glaciares; las ultimas fuentes de agua dulce son las precipitaciones. Según la Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua vigente, considera agua dulce cuando tiene una salinidad inferior a 0,5 UPS.

En todo ecosistema el agua constituye una parte esencial, de tal forma que una reducción de este recurso ya sea en la cantidad, en la calidad, o en ambas, origina efectos negativos. Aunque el medio ambiente tiene una capacidad natural de absorción y de autoregenerarse, pero si se excede, la biodiversidad se pierde, los medios de subsistencia disminuyen, las fuentes naturales de alimentos (por ejemplo, los peces) se deterioran y se generan costos de limpieza extremadamente elevados (UNESCO, 2003).

Según la UNESCO (2015) el agua es la base del desarrollo sostenible, varios factores se sostienen en los recursos hídricos como la reducción de la pobreza, el crecimiento económico y la sostenibilidad ambiental. Este recurso natural ayuda a mejorar el bienestar social, desde la alimentación y la seguridad energética hasta la salud humana y ambiental, lo cual es primordial para la subsistencia de todos los seres vivos.

2.2 CONTAMINACIÓN DEL AGUA

La norma vigente de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, describe que el agua se encuentra contaminada, cuando hay presencia de agentes contaminantes, ya sea físicos, químicos o biológicos, o la combinación de estos, en concentraciones y persistencias superiores o inferiores a los que dicta la legislación vigente, capaz de alterar la calidad del cuerpo receptor.

Existen algunas fuentes de contaminación entre las principales corresponden a las aguas residuales donde según la norma vigente de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, las aguas residuales se consideran aquellas provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales; de servicios agrícolas, pecuarios, domésticos, y de cualquier otro uso, así sea mínimo, que hayan sufrido degradación en su calidad original. Así mismo La OEFA (2014), considera que son aguas que necesitan un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural o descargadas a un sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales domésticas son aquellas provenientes de las actividades domésticas del hombre, que contienen desechos fisiológicos, de origen residencial y comercial, proveniente de uso de inodoros, duchas, lavabos, lavado de ropa, etc. (OEFA, 2014 y Aya, 2009).

La disponibilidad del agua utilizable depende de la calidad, una mala calidad del agua incide negativamente en los medios de vida, en la salud de las personas, así como en los costos del tratamiento y productividad de los ecosistemas dulceacuícolas, incluyendo las poblaciones de peces. Por lo que, aumenta el costo relacionado con las medidas correctivas y el tratamiento del agua y no hay muchos recursos disponibles, por lo que se pretenden ejecutar nuevas ideas y tecnologías, incluyendo aquellas basadas en sistemas naturales, junto con la colaboración de los entidades gubernamentales, sector privado y las comunidades para revertir el ritmo actual de deterioro y así recuperar los cuerpos de agua degradados (PNUMA, 2012).

En consecuencia de la incorrecta gestión de los recursos hídricos, se ven afectados los ecosistemas acuáticos que brindan servicios naturales los cuales apoyan a los medios de subsistencia, especialmente en épocas de encarecimiento de los alimentos, por lo que se están perdiendo aceleradamente, por efecto del crecimiento demográfico, cambios en los esquemas de consumo, aumento en la descarga de aguas residuales, expansión urbana, cambio climático, la extensión de la infraestructura hidráulica, la agricultura intensiva y competencia creciente por los recursos naturales (PNUMA, 2012).

2.3 RÍO MUERTO DEL CANTÓN MANTA

El río cuenta con dos esteros, tiene un brazo de mar donde su caudal aumenta en invierno, en verano se lo encuentra seco. Anteriormente, las industrias que están ubicadas en las riberas del río, lo utilizaban para descargar sus aguas residuales de manera directa¹.

En el 2014, se realizó una limpieza completa, en el cual se eliminó el sistema de alcantarillado que estaba conectado de manera directa al río, diseñando un nuevo sistema. A las empresas pesqueras, se les cerro las tuberías y se desazolvó el río, sacando 60 cm de lodos activados que estaban depositados alrededor de 30 años. En la desembocadura del río se realizó un cambio de arena.

Actualmente, cerca del sector de los esteros, realizan descargas de aguas residuales domésticas en un canal de lluvia, además de que aunque se cerraron las tuberías conectadas directamente al río de algunas comunidades, hoy por hoy, sigue habiendo contaminación de materia orgánica.

2.4 AGENTES CONTAMINANTES

Se considera agente contaminante a toda sustancia que está en contacto con un cuerpo de agua natural, provocando el deterioro de su calidad física, química o biológica (AyA, 2009). El TULSMA (2003) indica que los parámetros

¹ Moreira, J. 2015. Río Muerto del Cantón Manta (Entrevista). Manta – Manabí. EC, Dpto. Ambiental de la EPAM.

físicos, químicos y microbiológicos a analizar, deben estar relacionados a los posibles contaminantes que se originan de las actividades y vertidos que se realizan en el sitio de estudio. Entre los indicadores considerados para el monitoreo del estudio, se describen los siguientes parámetros:

- FÓSFORO

El fósforo junto con el nitrógeno, son dos de los nutrientes fundamentales de todos los seres vivos, de forma que contenidos anormalmente altos de estos en las aguas pueden producir un crecimiento incontrolado de la biomasa acuática (eutrofización) (Baird, 2004).

En el agua, el fósforo se encuentra presente en forma de fosfato. Así mismo, la Dirección General del Observatorio Ambiental de El Salvador (2012) expresa, que los elevados niveles de este compuesto, se debe a las descargas de aguas negras, industriales y escurrimientos agrícolas, que contienen fertilizantes y detergentes. Según Sawyer *et al.*, (2001), señalan que la determinación del fosfato es de gran importancia, debido a que los compuestos del fósforo afectan los fenómenos medioambientales.

- NITRÓGENO TOTAL

Entre los métodos analíticos que se utilizan, con mayor frecuencia en los estudios medioambientales se tienen los de determinación de nitrógeno, debido a la importancia que este tiene como indicador en los procesos de tratamientos control de la calidad de las aguas y en el control de las descargas de las aguas residuales al medio (Sawyer *et al.*, 2001). En el agua de origen residual existe amoníaco (NH_3) en forma no ionizada, que es tóxico y la forma ionizada (ion amonio, NH_4^+) relativamente no tóxico (Campíns *et al.*, 2006).

Normalmente, se encuentra nitratos procedentes de fertilizantes, aguas negras y desechos industriales; y producen la eutrofización de lagos o pozas. Los cambios pequeños en las concentraciones de nitrógeno biológicamente asequible, pueden afectar drásticamente los niveles de la vida de los animales y las plantas (Campíns *et al.*, 2006).

- OXÍGENO DISUELTO

Es el oxígeno disponible que se encuentra en un cuerpo de agua, necesario para el desarrollo de la vida acuática y la prevención de olores (TULSMA, 2003). El oxígeno disuelto en el agua, es un buen indicador de cuan contaminada está, debido a que si el oxígeno disuelto se encuentra en niveles bajos por causa de las bacterias durante la degradación de la materia orgánica o de contaminantes, algunos peces y otros organismos no pueden sobrevivir (Rocha, 2010).

El oxígeno disuelto es el factor que determina que los cambios biológicos sean producidos por organismos aeróbicos o anaeróbicos consecuentemente, para mantener las condiciones aeróbicas es vital hacer mediciones de oxígeno disuelto en las aguas naturales que reciben material contaminante de otra manera, proliferaran los organismos anaeróbicos y se generan condiciones nocivas (Sawyer *et al.*, 2001).

- POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)

El potencial hidrógeno es una medida de la acidez o basicidad de una solución, la concentración del ión hidrógeno es muy relevante en las aguas naturales como en las aguas residuales. El pH de la mayoría de las aguas naturales esta entre 6 - 9 unidades. El pH permanece razonablemente constante a menos que la calidad de agua cambie debido a las influencias de tipo natural o antropogénicas (Barba, 2002), por lo que si se da un cambio radical puede afectar de manera negativa a los procesos biológicos y sobrevivencia de las especies que estén interactuando en ese ecosistema (Rocha, 2010).

- DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO)

La Demanda Biológica de Oxígeno, es un parámetro fundamental para medir el grado de contaminación de una agua residual. Es la medida de la cantidad de oxígeno requerido para degradar la materia orgánica fácilmente degradable contenida en una muestra de agua, dada por medio de una población heterogénea de microorganismos, en un tiempo determinado (AyA, 2009).

Entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en un cuerpo de agua, mayor será la inestabilidad de este, debido a la reducción de oxígeno, creando condiciones de deterioro en la vida acuática y otros usos prioritarios del agua (AyA, 2009). Se ha tomado como tiempo de biodegradación de la muestra un tiempo de 5 días. Generalmente este es el tiempo que se requiere para que las bacterias digieran la materia orgánica biodegradable (Rocha, 2010).

- SALINIDAD

Una de las características de la calidad del agua es la salinidad formada por todas las sales disueltas o sólidos en suspensión que tiene las aguas naturales. La cantidad de sólidos disueltos se determina en forma semicuantitativa con la conductividad del agua, cuanto mayor sea la conductividad, mayor es la cantidad de sólidos disueltos y después de cierto valor límite que fija la norma de calidad del agua, ya no es conveniente su consumo directo sin un tratamiento previo (Rocha, 2010).

- TURBIDEZ

La turbidez es registrada en Unidades Nefelométricas de Turbiedad (NTU); es una medida de la claridad de un cuerpo de agua, es decir, la lectura de la turbidez va a ser más alta mientras más nublada este la muestra. La causa de la turbidez se debe a partículas de arcilla y limo, materia orgánica e inorgánica, plancton y otros organismos microscópico presentes en el agua provocando que la intensidad de la luz sea dispersada y absorbida por estas partículas (Thermo Fisher Scientific, 2013 y Ministerio de Ecología y Recursos Naturales Renovables de la Provincia de Misiones, 2014).

2.5 FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación constituye un conjunto de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas que pueden extraer, concentrar, degradar, volatilizar o vaporizar *in situ* o *ex situ* la concentración de varios compuestos o sustancias tóxicas, a través de su agua mineral natural y captación, transporte, asimilación y transpiración, solamente utilizando la energía solar (Delgadillo *et al.*, 2011; Singh *et al.*, 2007).

Por las extraordinarias características fisiológicas y morfológicas que la planta vetiver ha demostrado poseer tales, como ser altamente tolerante a elevadas concentraciones de sustancias tóxicas, el alto ratio de crecimiento y la capacidad de absorción se le considera apta para los diferentes procesos que engloba la fitorremediación (Wildschut, 2013).

Según Wildschut, (2013) los procesos presentes en la fitorremediación son los siguientes:

a) Fitoextracción, se refiere cuando la planta absorbe del suelo o agua los contaminantes y los concentra en su parte vegetal. La contaminación se elimina mediante sucesivas cosechas y tratamiento de la parte vegetativa.

Para ello se emplean determinadas especies de plantas, llamadas hiperacumuladoras por la elevada proporción en la que se acumulan metales pesados en sus tejidos, además de tener una alta producción de biomasa.

b) Fitoestabilización, aquí las plantas reduce la biodisponibilidad de los contaminantes del medio donde se encuentre, y sucesivamente mejora las propiedades físicas y químicas.

c) Fitovolatilización, en el que la planta extrae los contaminantes orgánicos del suelo o del agua y los volatiliza a través de su tejido.

d) Fitodegradación, cuando plantas acuáticas o terrestres asimilan, almacenan y biodegradan sustancias orgánicas.

e) Rizofiltración, se utilizan las raíces de las plantas para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos en el que la masa radicular actúa como filtro que retiene a los contaminantes. La rizofiltración se emplea para el tratamiento de aguas residuales o aguas contaminadas. Vetiver es indicado para estos tipos de tratamientos, ya que se crece bien con las raíces sumergidas en condiciones hidropónicas.

Según Truong (1999) y Roongtanakiat (2006) afirman que el vetiver no es una planta hiperacumuladora, pero, las características únicas del vetiver destacan y superan los límites de la fitorremediación. Debido al carácter no

hiperacumulador, el vetiver no representa un riesgo para los animales de pastoreo y la biomasa cosechada no debe clasificarse como residuos peligrosos.

2.6 LA PLANTA DE VETIVER

La planta vetiver *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, antes clasificada como *Vetiveria zizanioides*, (L.) Nash, es caracterizada por atributos morfológicos únicos por lo que es una planta herbácea, gramínea, perenne que se desarrolla en grandes macollos a partir de una masa radicular muy ramificada y esponjosa por lo que no tiene rizomas ni estolones por lo que no son invasivas, y son estériles por lo que la manera más usual de propagar la planta es separando brotes maduros de la macolla de vetiver, obteniendo hijos o también llamados “esquejes”, a raíz desnuda para ser plantados de forma inmediata en el campo o en contenedores, desarrollando tallos bien erguidos y rectos de 0,5 a 1,5 m (Orihuela, 2007).

Su sistema radicular es muy fuerte desarrollándose verticalmente hasta una profundidad de 4 m aunque lo más frecuente es de 2 m o 3 m, se extienden sólo unos 0,5 m alrededor de la planta, tiene hojas sencillas, largas y rígidas de 0,3 m – 1 m de largo y de 4-10 mm ancho, el vetiver puede alcanzar una altura de 2 m (Wildschut, 2013).

El vetiver una vez plantado crece muy rápido, puede desarrollarse en 6 meses una planta de 2 m de altura y con raíces de 1 m de largo que llegan a la madurez a los 18-24 meses con raíces de hasta 4 m también se caracteriza por poseer una longevidad alta, de más de 50 años. A la vez desarrolla un sistema radicular poderoso, profundo y muy resistente por lo que tanto la parte aérea como subterránea crea una barrera eficaz (Wildschut, 2013).

Vetiver proviene de la India especialmente de los pantanos. Es tanto hidrófita, como xerófitas, una vez establecida puede resistir sequías, inundaciones y prolongados periodos de anegamiento, para su cultivo se necesita realizarlo en pleno sol por lo que requiere altos requerimientos de la luz solar y en sombra (superior a un 40%) crece más despacio o muere. La planta por su lugar de origen estado tropical, se desarrolla óptimamente a temperaturas de 20–30°C,

aunque puede tolerar temperaturas aéreas de -15°C a $+40^{\circ}\text{C}$ (Wildschut, 2013).

En medio acuático, las raíces se desarrollan menos, pero aún presentan una masa densa de raíces finas con un diámetro promedio de 0,5-1 mm. La rizósfera ofrece de esta manera una superficie específica (m^2/m^3) grande para el establecimiento de una masa microbiana activa (Wildschut, 2013). El vetiver como especie propia de pantano muestra un elevado nivel de evapotranspiración que puede llegar a 30 mm/día y además un umbral de salinidad de 8 dS/m (Truong, 1999).

2.7 EFICIENCIA DE LA PLANTA VETIVER

El diccionario de la lengua Española (2014), expresa que la eficiencia es “virtud y facultad para lograr un efecto determinado”; Truong (2004) y Herrera (2015), indican que el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) posee las características adecuadas para la protección del medio ambiente, por su tolerancia a soportar niveles elevado e inclusive tóxicos, además de ser eficiente en absorber nutrientes tales como N y P y metales pesados en aguas contaminadas y de bajo costo.

Se ha demostrado en investigaciones que el vetiver hidropónicamente es capaz de remover nitrógeno total de 100 mg/L a 6 mg/L (94 % de eficiencia); el fósforo total de 10 mg/L a 1 mg/L (90 %); y aumentar niveles de Oxígeno disuelto de <1 mg/L a 8 mg/L (Truong *et al.*, 2000), y en otros estudios previos han demostrado que la planta vetiver para el agua río contaminado, puede eliminar el 98% para el total de P después de 4 semanas y 74% para N total después de 5 semanas (Anon y Zheng *et al.*, 1997). En (2001) Truong y Hart, aplicaron un sistema hidropónico utilizando aguas residuales, el vetiver no sólo fue capaz de eliminar tanto N y P más del 90% del efluente, sino también de reducir el crecimiento de algas y coliformes fecales.

Las aplicaciones de vetiver para el tratamiento de aguas residuales son varias donde se inició en Australia en 1995 y en China en 1997. En China, vetiver fue

utilizado con éxito para purificar el agua río contaminado (Anon, 1997; Zheng *et al.*, 1997).

Se ha utilizado Vetiver en humedales artificiales para la depuración de aguas residuales urbanas y para aguas residuales industriales con una elevada carga orgánica. En todos los casos Vetiver responde bien y se obtienen elevados rendimientos, por encima del 90% en DBO, DQO y SST.

En un estudio Hart *et al.*, (2003) llevaron a cabo una serie de pruebas para evaluar la eficacia del vetiver hidropónico en el tratamiento de efluente después de que ha sido tratada en tanques sépticos. Los resultados indicaron que el mejor método de aplicar para depurar un efluente debe de fluir a 20 L/min a través de las raíces de vetiver, y en un volumen de 20 L del sistema hidropónico se obtiene un alto nivel de disminución en fósforo y nitrógeno. Un metro cuadrado de hidropónica vetiver puede absorber 30.000 mg de N y 3.575 mg de P en ocho días. Estos resultados reconfirmado en anteriores investigaciones en China que muestra vetiver podría eliminar más N y P soluble en el efluente durante un período muy corto de tiempo y eliminando así azul-verde algas en el agua contaminada (Anon y Zheng *et al.*, 1997).

En China, los nutrientes y metales pesados de granja de cerdos son las principales fuentes de contaminación del agua ya que contiene un alto contenido de N y P, los resultados mostraron que vetiver tiene una muy fuerte habilidad de purificación, su relación de captación y purificación de N > 75% y P fue de entre 15 a 58%. (Xuhui *et al.*, y Liao *et al.*, 2003).

2.8 SISTEMA HIDROPÓNICO

El término de hidropónico hace referencia a cultivos en una solución de agua y nutrientes, el sostén que solía ser el suelo es sustituido por otra forma de anclaje o estructura flotante de manera que en poco tiempo y con menos esfuerzo se cultive (Bosques, 2010), en este sistema la raíz no suele desarrollarse tanto puesto que el agua les proporciona los nutrientes y no tiene que recorrer espacios en busca de sustentos como el caso de cultivos en tierra (Alpizar, 2004), por lo que ya se ha estado reemplazando los métodos convencionales de producción de plantas.

Existen algunos sistemas hidropónicos los cuales destacan dos principales el sustrato sólido es el más utilizado donde el anclaje de las raíces, el cual se puede colocar en camas o canales. En el segundo sistema, considerado realmente hidropónico, es el de la raíz flotante, en donde las raíces permanecen sumergidas en una solución líquida nutritiva, la cual debe ser aireada periódicamente para suministrarle oxígeno a las raíces (Guzmán, 2004 & Jiménez, 2010)

El Sistema Hidropónico aplicado para desarrollar en condiciones hidropónicas la planta de vetiver, es el sistema Adic Voca referido así por Troung y Hart (2001) donde consiste en ubicar estructuras flotantes en balsa forradas en malla de anejo para el establecimiento del vetiver.

En Tailandia, Chansiri y Boonsong (2005), para comparar la eficiencia de dos vetiver ecotipos en el tratamiento de las aguas residuales domésticas de diferentes fortalezas utilizaron la técnica hidropónica en doce recipientes de plástico de 0,85 x 1,55 x 0,50 m cada uno (ancho x largo x alto) se establecieron junto con el tubo de entrada y la válvula de conectado al tanque de almacenamiento de agua; la profundidad del agua se mantuvo a 0,4 m.

Para la estructura flotante que se colocó en la superficie del agua junto con las plantas se utilizaron tableros de espuma flex que tenían una dimensión de 0,6 x 1,2 x 0,025 m (ancho x largo x alto). Se realizaron 60 agujeros de un diámetro de 4,5 cm en un área de 10 x 10 cm², cada agujero estaba cubierto con una esponja para asegurar la posición de cada vetiver.

Lishenga *et al.*, (2015), describieron el rendimiento comparativo de los sistemas de vetiver en el tratamiento de aguas residuales domésticas estableciendo tres diferentes técnicas: en un medio de suelo (sistema basado suelo), con raíces suspendidas en agua (sistema hidropónico) y como un híbrido de estos dos. Donde se les administró con tanque interno post-séptico, niveles de aguas residuales cuya de DBO, SST, NT y PT se midieron antes de la aplicación, y cinco días después, se establecieron 60 plantas de vetiver utilizando la técnica hidropónica; todos estos fueron tres veces replicado. Las unidades se suministraron cuarenta litros de aguas residuales de conocida concentración de

contaminantes. Los resultados indicaron que, en general, el suelo- sistema de vetiver basada logró la mayor reducción en los niveles de contaminantes, seguido por el de los sistemas hidropónicos híbrido, el mayor hallazgos fueron que tanto el medio suelo y las plantas de vetiver juegan un importante papel en la remediación de aguas residuales.

2.9 DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

Según Castejón (2011), es el diseño más sencillo de usar, los tratamientos se establecen al azar entre las unidades experimentales. Este diseño es aplicable cuando las unidades experimentales actúan por igual, es decir, son homogéneas. La homogeneidad de las unidades experimentales ejerciendo un control adecuado sin embargo, se debe tener presente que todo material biológico, por homogéneo que sea, presenta cierta fluctuación y por lo tanto son incontrolables.

Su nombre se debe del hecho a que existe completamente una aleatorización, también se lo denomina como Diseño de una Vía. Una de las ventajas de este diseño es su flexibilidad, ya que hay una total libertad en la unidad experimental, sin embargo, en comparación con otros dispositivos experimentales donde se puede ejercer control, es menos sensible y tiene poder analítico débil (Castejón, 2011).

2.10 TÉCNICAS ESTADÍSTICAS

El fin de la estadística en una investigación es interpretar datos adquiridos en una muestra de sujetos. Según Jiménez (s.f) y Las técnicas estadísticas se aplican de manera amplia en varias disciplinas. Se utilizan para confirmar hipótesis de un diseño de estudio o para explorar datos en busca de información, este último sirve para proponer nuevas hipótesis a partir de un nuevo estudio diseñado concretamente para ello (Jiménez, s.f, y Ruíz, 2004).

- **PRUEBA DE TUKEY**

Es un test que trata de especificar una Hipótesis alternativa genérica como la de cualquiera de los Test ANOVA. Permite comparar las medias de los

números de niveles de un factor después de haber rechazado la Hipótesis nula de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA (Llopis, 2013)

- PRUEBA DE DUNNET

Esta prueba compara las medias de todos los tratamientos contra un control (testigo), el cual a su vez, considera como un tratamiento. Esta prueba no permite establecer diferencias entre las medias de los otros tratamientos entre sí (Wong, 2010).

CAPITULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1 UBICACIÓN DEL PROYECTO

La siguiente investigación se la realizó en el cantón Manta, el cual cuenta con las siguientes características:

Cuadro 3.1. Características del Cantón Manta

CARACTERÍSTICAS	MANTA
Coordenadas geográficas	00° 57' de latitud sur y 80° 42' de longitud oeste
Extensión territorial	306 Km ²
Temperatura promedio anual (°C)	24.8°C
Precipitación promedio anual (mm)	300 mm

Fuente: CADS-ESPOL, 2013

3.2 DURACIÓN DEL TRABAJO

El presente estudio adquirió una duración de aproximadamente 6 meses, desde octubre 2015.

3.3 VARIABLES DE ESTUDIO

3.3.1 VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de contaminantes orgánicos

Indicadores

Niveles de DBO

Niveles de Nitrógeno

Niveles de Fósforo

Niveles de Turbidez

3.3.2. VARIABLE INDEPENDIENTE

Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*)

Indicadores

Crecimiento de hojas (nuevos brotes)

Crecimiento de la raíz

3.4 TIPO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación fue de modalidad cuantitativa, deductiva y experimental, que necesitó de procedimientos sistemáticos objetivos, en el cual se analizaron diferentes elementos que fueron medidos y cuantificados.

3.5 FACTOR EN ESTUDIO

FACTOR A: El pasto vetiver (Esquejes)

NIVELES (N° ESQUEJES × VOLUMEN DE AGUA DEL RÍO MUERTO)

Cuadro 3.2. Combinaciones de los niveles

Nivel	N° Esquejes	Volumen de agua
A ₁	30	20 Litros
A ₂	2	20 Litros
A ₃	12	20 Litros
Testigo	0	20 Litros

3.6 TRATAMIENTOS

La combinación proporcionó para cuatro tratamientos, con tres repeticiones dispuestas en un diseño Completamente al Azar, teniendo un total de 12 unidades experimentales.

Cuadro 3.3. Tratamientos

N° tratamiento	Factor A
1	A ₁
2	A ₂
3	A ₃
4	Testigo

3.7. DISEÑO EXPERIMENTAL

Cuadro 3.4. Delineamiento experimental

Diseño experimental	Diseño Completamente al Azar (DCA) Unifactorial
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones	3
Niveles	Esquejes del pasto vetiver
	1. 30 esquejes
	2. 2 esquejes
	3. 12 esquejes
	4. Sin esquejes (Testigo)

3.7.1 ESQUEMA DE ANÁLISIS DE VARIANZA

Cuadro 3.5. Análisis de Varianza

Fuente de variación	Grados de libertad
Total	11
Tratamiento	3
Error Experimental	8

3.8. UNIDAD EXPERIMENTAL

Cuadro 3.6. Descripción de las unidades experimentales

Unidades Experimentales	Nomenclatura	Combinaciones	
		Esquejes del pasto vetiver	Agua del río
T ₁ R ₁	A1	30 esquejes	20 L
T ₁ R ₂	A2	30 esquejes	20 L
T ₁ R ₃	A3	30 esquejes	20 L
T ₂ R ₁	A4	2 esquejes	20 L
T ₂ R ₂	A5	2 esquejes	20 L
T ₂ R ₃	A6	2 esquejes	20 L
T ₃ R ₁	A7	12 esquejes	20 L
T ₃ R ₂	A8	12 esquejes	20 L
T ₃ R ₃	A9	12 esquejes	20 L
T ₄ R ₁	Testigo 1	Sin esquejes	20 L
T ₄ R ₂	Testigo 2	Sin esquejes	20 L
T ₄ R ₃	Testigo 3	Sin esquejes	20 L

3.8.1. DATOS A MONITOREAR

Cuadro 3.7. Parámetros a monitorear

Parámetros	Unidades
Nitrógeno	mg/L
Fósforo	mg/L
DBO	mg/L
Oxígeno disuelto	mg/L
Potencial de hidrógeno	Unidades de pH
Salinidad	%
Turbidez	FAU

3.9 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Las variables fueron sometidas al respectivo análisis de varianza y aquellas que presentaron significación estadística se le realizaron las siguientes pruebas estadísticas:

- Prueba de Tukey al 0,05
- Prueba de Dunnett al 0,05

3.10. PROCEDIMIENTO

El procedimiento se desarrollará en base a los objetivos específicos:

DIAGNÓSTICO DE LAS AGUAS DEL RÍO MUERTO MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOS – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

Actividad 1.1. Se realizó un muestreo en la vía aeropuerto, sector la florita, que es una área crítica del río Muerto, donde existe antecedentes de contaminación por descargas de aguas residuales, que se georreferenció mediante un GPS Garmin CX60.

Actividad 1.2. Se recolectó las muestras según las normativas NTE INEN 2176:2013 y 2226:2013, las cuales fueron trasladada con las técnicas y precauciones generales de la normativa NTE INEN 2169:2013 al laboratorio química ambiental y microbiológico de la ESPAM “MFL”, donde se realizaron los siguientes análisis:

Cuadro 3.8. Parámetros físicos, químicos y microbiológico

Parámetros	Método
Coliformes totales	NMP
Oxígeno disuelto	S.M. Ed 21. 2005. 2510B
pH	S.M. Ed 21. 2005. 4500H+B
Temperatura	S.M. Ed 21. 2005. 2550B
Conductividad eléctrica	S.M. Ed 21. 2005. 2510B
Turbidez	S.M. NOVA 60
DBO	S.M. Ed 21. 2005. 5210B
Nitritos	NOVA 60 14776
Nitrato	NOVA 60 14563
Fosfatos (fósforo total)	NOVA 60 14543
DQO	NOVA 60 14690
Sulfatos	S.M. Ed 21. 2005. NOVA 60 14548

Actividad 1.3. Una vez realizados los análisis, los resultados obtenidos se los comparó con los límites permisibles establecidos en libro VI anexo 1 del TULSMA (2003).

UTILIZACIÓN DE DIFERENTES CANTIDADES DE INDIVIDUOS DE PASTO VETIVER EN UNIDADES EXPERIMENTALES ex-situ.

Actividad 2.1. El material inicial vegetal del pasto vetiver se lo compró a la empresa LUDANMAS OBRAS Y PROYECTOS, se obtuvo 150 hijos a raíz desnuda que fueron plantados en bolsas de polietileno con sustrato para el desarrollo de sus raíces, y se dejaron en esos contenedores aproximadamente dos meses, de los cuales se prendieron 144 plantas en promedio de una altura de 40 cm, según (Truong, 2009) cuando aparecen al menos tres brotes, las plantas están listas, de las cuales se seleccionó 132 individuos del pasto vetiver en donde las raíces estuvieran más desarrolladas.

Posteriormente se sacaron del sustrato para desnudar las raíces y estas fueron previamente lavados con detergente, con el objetivo de eliminar agentes contaminantes que puedan afectar el desarrollo de la planta en condiciones hidropónicas, así mismo se podaron a una misma longitud las hojas que según (Orihuela, 2007) las hojas se deben cortar a los 30 cm para reducir la transpiración y estimular la rápida emergencia de raíces y hojas.

Actividad 2.2. Como base de las unidades experimentales, se utilizó tachos volumétricos transparentes de 20 L, en los cuales se ubicó el agua proveniente del río Muerto la cual se recolectó manualmente utilizando pequeños recipientes en los puntos de muestreo referentes a focos de contaminación, ésta se almacenó en un tanque de 270 L para su homogenización, luego, se procedió a distribuir 20 L de agua extraída para cada una de las unidades experimentales, luego se utilizaron 132 individuos de pasto vetiver a raíz desnuda previamente ya preparados para ubicarlos en la plataforma flotante de poliestireno diseñada para cada una de las unidades experimentales.

Actividad 2.3. Se adaptó el modelo hidropónico Adic Voca desarrollado por Troung y Hart (2001), donde se usó una plataforma flotante de poliestireno (espuma flex de 30 cm de diámetro); cada planta tenía una distancia de 4cm verticalmente y 5 cm horizontalmente, se realizó agujeros de un diámetro de 3cm. Cada agujero estuvo cubierto con una esponja para asegurar la posición de cada vetiver, cabe recalcar que las dimensiones fueron las mismas para todas las unidades experimentales.

Durante el experimento, se consideró la toma de datos de las condiciones ambientales como la temperatura, precipitaciones y del crecimiento de la raíz y de nuevos brotes (macollos).

COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) MEDIANTE ANÁLISIS DE LOS INDICADORES EN ESTUDIO.

Actividad 3.1. Se decidió a realizar el primer monitoreo a los ocho días de haber iniciado el experimento.

Cuadro 3.9. Monitoreos de los análisis físicos químicos.

Número de monitoreo	Fecha
1. Análisis inicial	13 de enero del 2016
2. Análisis realizado a los 8 días	20 de enero del 2016
3. Análisis realizado a los 15 días	27 de enero del 2016
4. Análisis realizado a los 22 días	3 de febrero del 2016

Para el análisis inicial se tomó una muestra representativa de 500 ml del tanque donde se almacenó en un principio el agua recolectada del río Muerto, y para cada monitoreo se procedió tomar el mismo volumen (500 ml) en cada unidad experimental para los análisis de DBO, fósforo, pH y salinidad que se realizaron en el laboratorio química ambiental de la ESPAM "MFL" siguiendo las técnicas y precauciones generales de la normativa NTE INEN 2169:2013 para el manejo y conservación de las muestras, el parámetro de oxígeno disuelto se lo tomó *in situ*; mientras que el parámetro de nitrógeno se lo realizó en el laboratorio de la empresa EMAARS-EP (Empresa Eminentemente Técnica "Haciendo Patria") situada en la parroquia La Estancilla del Cantón Tosagua.

Actividad 3.2. Para los parámetros seleccionados (DBO, nitrógeno, fósforo, turbidez), se calculó el porcentaje de remoción de la siguiente manera (Morales y Palta, 2013):

$$\% \text{ Remoción} = \frac{VPi - VPf}{VPi} \times 100 \quad [3.1]$$

Donde:

VPi: Valor Parámetro Inicial.

VPf: Valor Parámetro final.

Posteriormente, se procedió a realizar el análisis estadístico con el programa estadístico SPSS.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. DIAGNÓSTICO DE LAS AGUAS DEL RÍO MUERTO MEDIANTE ANÁLISIS FÍSICOS – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICO.

4.1.1 GEORREFERENCIACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO

Para el diagnóstico de las aguas del Río Muerto se determinaron 6 puntos de muestreo en el área crítica ubicada en la vía aeropuerto, sector florita (Anexo 1), en los cuales se obtuvo una muestra compuesta para la realización de los respectivos análisis físicos- químicos y microbiológico. En el cuadro 4.1 se presenta los lugares seleccionados, así como las coordenadas.

Los puntos de muestreo están georreferenciados en los lugares donde se visualizaron focos de contaminación, por aguas residuales domésticas y de desechos sólidos.

Cuadro 4.1. Coordenadas de los puntos de muestreo.

Puntos	COORDENADAS UTM 17 M		
	X	Y	H
P1 – sector La florita	534243	9894762	36 m
P2– sector La florita	534342	9894725	65 m
P3– sector La florita	534069	9894824	47 m
P4 – vía aeropuerto	533692	9895097	36 m
P5– vía aeropuerto	533676	9895135	34 m
P6 – desembocadura	533717	9895167	33 m

4.1.2 INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS

En la cuadro 4.2 se muestran los resultados de los análisis físicos químicos y microbiológico realizados en los laboratorios del área Agroindustrial de la ESPAM “MFL”, así como los diferentes criterios de calidad admisibles para aguas de ríos presentados en el Anexo 1 del libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua.

Cuadro 4.2. Resultados de los análisis físicos químicos y microbiológico.

RESULTADOS DE LA MUESTRA COMPUESTA DEL RÍO MUERTO					
PARÁMETROS		RESULTADOS	Límites Máximos Permisibles		
			1	2	3
Físicos	Temperatura	25,6 °C	< 35°C	0 - 3 °C	Máxima 32 °C
	Conductividad eléctrica	18,14 mS/cm	-	-	-
	Turbidez	104 FAU o UTN	-	-	50 UTN
Químicos	Oxígeno disuelto	0,51 mg/L	-	No menor a 6 mg/L	No menor a 5 mg/L
	Ph	7,82	6 - 9	-	6,5 - 9
	DBO ₅	170 mg/L	100 mg/L	2 mg/L	-
	Nitritos	0,131 mg/L	0,2 mg/L	1 mg/L	0,06 mg/L
	Nitratos	0,026 mg/L	0,13 mg/L	10 mg/L	-
	Fosfatos	9,7 mg/L	-	-	-
	DQO	1975 mg/L	250 mg/L	-	-
	Sulfatos	180 mg/L	-	400 mg/L	-
Microbiológico	Coliformes Totales	≥1600 NMP/100ml	2000NMP/100 ml	3000 NMP/100 ml	-

(1) Límite de descarga a un cuerpo de agua marina

(2) Límite máximo permisible para aguas de consumo humano que requieren tratamiento convencional

(3) Criterios de calidad de aguas para la preservación de flora y fauna en aguas dulces, marinas y de estuarios.

La concentración de fosfatos que se obtuvo fue de 9,7 mg/L, lo cual está directamente relacionado con la eutrofización en las aguas y considerando un estudio presentado por Pütz (2008) donde especifica que las concentraciones críticas para una eutrofización inicial en una agua corriente se encuentra entre 0,1-0,2 mg/l de fosfatos y entre 0,005-0,01 mg/l en aguas tranquilas, lo cual refleja en el caso del río Muerto que existe una abundancia muy alta de nutrientes. En dicha situación, según RAPAL (2010) el ecosistema acuático, donde su estado de equilibrio es alterado, reacciona, modificando su funcionamiento, acelerando procesos indeseables y este aporte de fosfato al río es debido a las actividades antropogénicas, las cuales poseen concentraciones altas de detergentes fosforados y de las industrias que descargan sus efluentes al río.

El oxígeno disuelto en el agua se encontró a niveles muy bajos por todo el sector muestreado, lo cual es un indicador de cuan contaminado está el río. En el punto 1 sector La florita, el oxígeno disuelto se encontró a 0,68 mg/l

siguiendo así hasta la desembocadura en 0,37 mg/l, 0,51 mg/l, 0,61 mg/l; esto, probablemente se debe a que el río recibe descargas de grasas, aceites y detergentes produciendo alteraciones en sus características, tales como expresa Arce (2001) que produce acidificación y bajos niveles de oxígeno disuelto, por lo que estos compuestos orgánicos impiden el libre paso de oxígeno hacia el agua, por otra parte según Sawyer *et al.*, (2001) en las aguas naturales que reciben material contaminante, proliferarán los organismos anaeróbicos y se generarán condiciones nocivas.

La Demanda Bioquímica de oxígeno presente en la muestra del río supera los valores máximos permisibles de descarga a un cuerpo de agua marina y de consumo humano y uso doméstico. Esto indica un grado alto de contaminación por carga orgánica, AyA (2009) considera que entre mayor sea la cantidad de materia orgánica en un cuerpo de agua, mayor será la inestabilidad de este, debido a la reducción de oxígeno, creando condiciones de deterioro en la vida acuática y otros usos prioritarios del agua

La turbidez presente en el río supera los valores máximos permisibles con un valor mayor a los 100 UTN. Se pudo observar que el río ha perdido transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Gonzales (2011), indica que aguas turbias tienden a ser más calientes por la presencia de partículas en suspensión que difunden y absorben calor, reduciendo la concentración de oxígeno disuelto. Las descargas directas al cuerpo de agua puede ser una de las principales causas que afecten este parámetro, además, el río se caracteriza por ser poco profundo provocando una sedimentación más rápida perjudicando la vida acuática.

La concentración de DQO en la muestra analizada es de 1975 mg/L, indicando una alta contaminación de aguas residuales, según Metcalf y Eddy (2003), consideran que las composiciones típicas de una agua residual urbana presentan concentraciones de 250 mg/ L (débil), 430 mg/ L (media) y 800 mg/L (fuerte), lo que demuestra que el problema no solo proviene de las descargas de aguas residuales domésticas, sino también de descargas de aguas industriales sin previo tratamiento, ya que estas pueden llegar a tener una DQO entre 100 mg/L hasta 60 000 mg/L según Martínez (1996).

4.2. UTILIZACIÓN DE DIFERENTES CANTIDADES DE INDIVIDUOS DE PASTO VETIVER EN UNIDADES EXPERIMENTALES *ex-situ*.

El experimento se estableció con 4 tratamientos y cada uno con 3 réplicas, obteniendo un total de 12 unidades experimentales, de las cuales 9 fueron escenario para la utilización de diferentes cantidades de individuos o esquejes del pasto vetiver, constando así el uso total de 132 esquejes obtenidos previamente. Se sorteó completamente al azar la ubicación de las unidades experimentales obteniendo el siguiente orden (Figura 4.1).

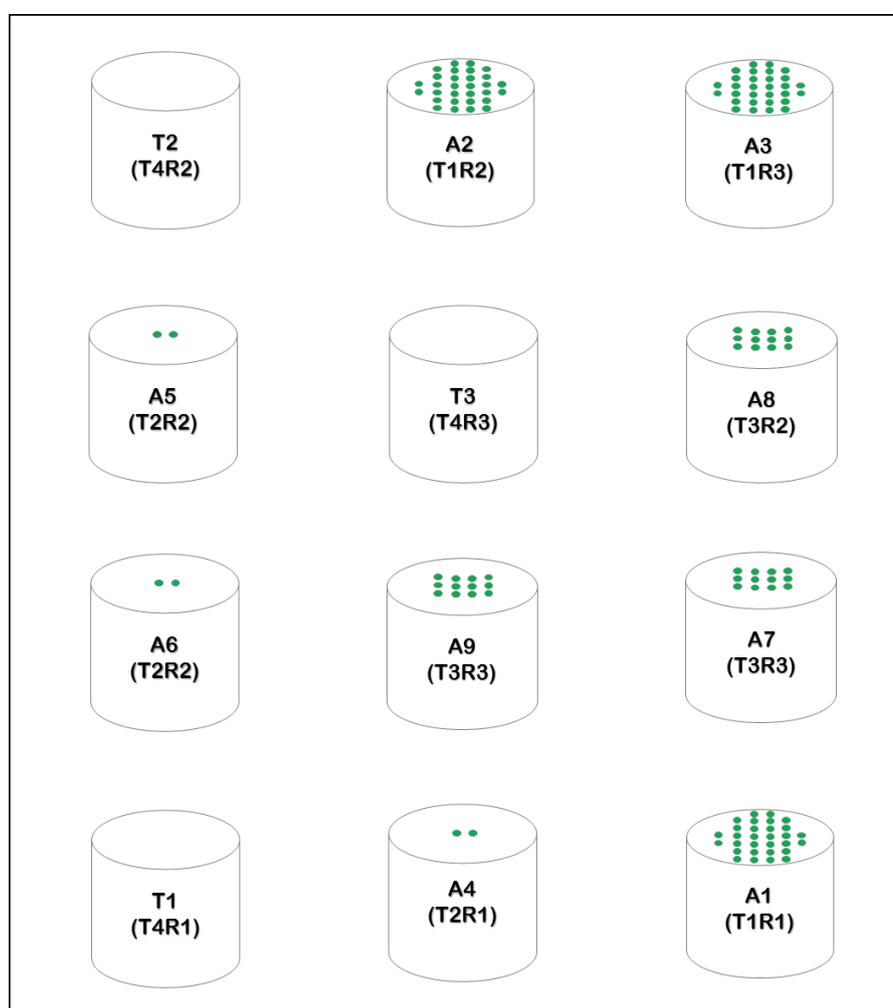


Figura 4.1. Croquis del ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex-situ* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

En la primera semana del experimento los esquejes del vetiver no reflejaron crecimiento, y según Kong *et al.*, (2003), especifica que el vetiver puede germinar nuevos brotes jóvenes y raíces a los 3 y 7 días después de estar en

aguas residuales con DQO <400 mg/L, por lo tanto quiere decir que el agua del ensayo procedente del río Muerto donde se encontraban los esquejes supera esa cantidad de DQO, ver en (Cuadro 4.2) lo cual demuestra que hay una fuerte presencia de materia no biodegradable.

Por lo que se observó, ya en el segundo monitoreo (15 días después de haber iniciado el ensayo) que los esquejes recién se adaptaban a su nuevo hábitat y retomaban su creciendo, visualizando los nuevos brotes jóvenes que emergían (Gráfico 4.1) y referente al crecimiento en proyección vertical de las raíces en cada una de las unidades experimentales (Gráfico 4.2), se obtuvo un promedio de 5,22 cm de crecimiento durante todo el experimento.

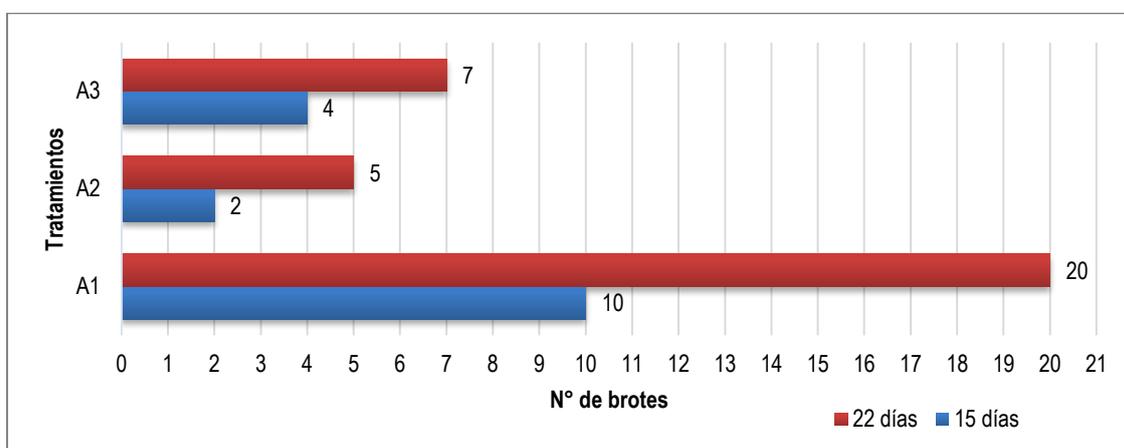


Gráfico 4.1. Promedio de números de brotes de cada tratamiento del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016

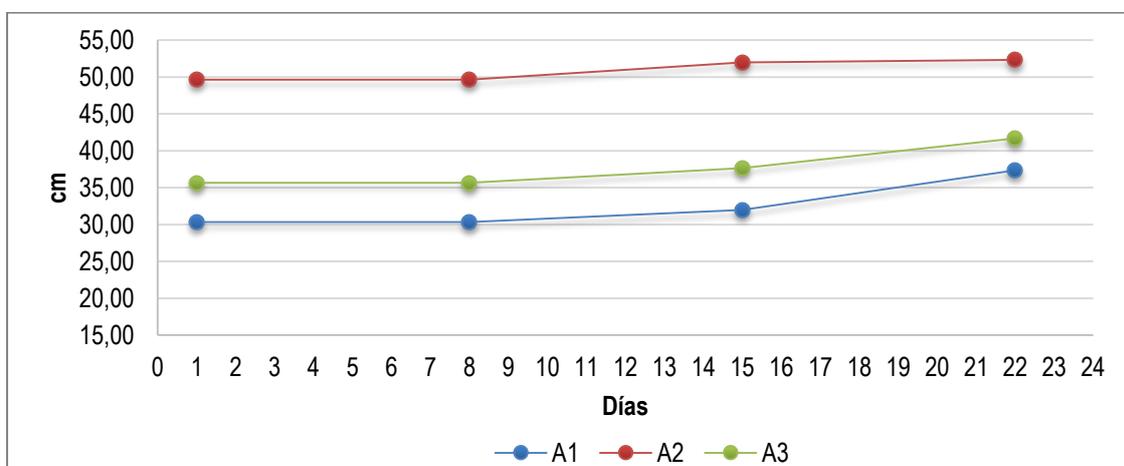


Gráfico 4.2. Promedio de las raíces del pasto vetiver en cada tratamiento del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016

Por otra parte, durante todo el experimento mostraron síntomas cloróticos de coloración pardusca en algunas de las hojas por estrés fisiológico, probablemente por exceso de metales que se encuentra en el agua del río Muerto, corroborando lo manifestado por Torres *et al.*, (2007) en un estudio preliminar de fitorremediación, donde revela que los síntomas de estrés es una de las respuestas visibles ante una alta concentración de toxicidad por parte de los metales, y que estos síntomas en las plantas son muchas veces frecuentes a los distintos metales, como son la disminución del crecimiento y amarillamiento de las hojas por reducción de la eficiencia fotosintética conocido fitopatológicamente “clorosis”.

Durante los 22 días que duró todo el ensayo, el porcentaje total de mortalidad fue de 18%, lo cual representa a los 24 de 132 individuos del pasto vetiver que no sobrevivieron, y donde hubo mayor pérdida con el 25% de esquejes muertos fue en el tercer tratamiento A₃ (12 esquejes + 20 L). Probablemente no hayan resistido por ser los esquejes muy tiernos por lo que se observó que todos aquellos que habían muertos no tenían bien desarrollado sus tallos erguidos, sin embargo, tenían un enraizamiento bien desarrollado, razón, por la que se los decidió ubicarlos en el ensayo.

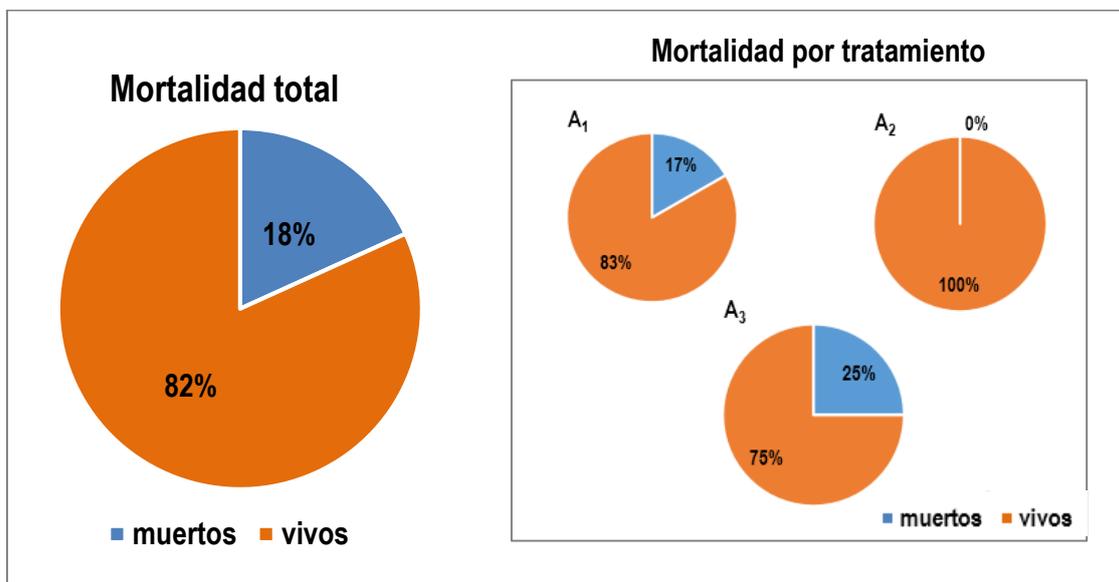


Gráfico 4.3. Porcentaje de los esquejes muertos durante los 22 días de ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex – situ* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016

4.3. COMPROBACIÓN DE LA EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) MEDIANTE ANÁLISIS DE LOS INDICADORES EN ESTUDIO.

Para la realización del ensayo se registró como dato inicial los siguientes resultados, proveniente de la muestra que se tomó del tanque donde se almacenó el agua recolectada del río Muerto, antes, de que se distribuyera a cada una de las unidades experimentales.

Cuadro 4.3. Resultados del análisis inicial del ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

RESULTADOS DE LA MUESTRA INICIAL DEL ENSAYO		
Parámetros		Resultados
Físicos	Temperatura (°C)	29,7
	Salinidad (%)	7,20
	Turbidez (FAU)	98
Químicos	Oxígeno disuelto (mg/L)	1,60
	pH	7,8
	DBO (mg/L)	80
	Nitrógeno (mg/L)	27,3
	Fósforo (mg/L)	1,64

Los datos obtenidos de esa muestra representativa analizada en enero 2016, si se compara con los resultados (Cuadro 4.2) del diagnóstico que se le realizó al río Muerto en octubre del 2015, se puede observar una variación en el comportamiento de los parámetros físico- químicos, puesto que los meses de diciembre 2015 y enero 2016 se registraron precipitaciones fuertes.

4.3.1. VARIABLES ANALIZADAS ESTADÍSTICAMENTE

4.3.1.1. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE LA DBO

En el ANOVA (Cuadro 4.4), se encontraron diferencias significativas al 0,05 de confianza a los 15 días, y no significativas para los 8 y 22 días.

Al efectuarse la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad, se observó dos rangos comparativos entre los tratamientos, con el mayor promedio el tratamiento A₂ con 87,50% y el de menor promedio fue el testigo con 72,08% (Cuadro 4.4).

Se aplicó también la prueba de Dunnett al nivel 0,05; esta prueba compara las medias de los tratamientos con la de un control en específico (Testigo). Se observó que las medias de los tratamientos A₂ y A₃ son significativamente diferentes comparadas con la del testigo; por otra parte, el tratamiento A₁ no mostró significación (Cuadro 4.5).

En el gráfico 4.4 se muestra como la DBO fue disminuyendo de acuerdo a los dos primeros monitoreos y justamente a los 15 días en los tratamientos A₂ y A₃ se encontró significación estadística ($P=0,008$ $F=8,132$); sin embargo, transcurrido 22 días, el tratamiento A₃ mostró un aumento destacable (26 mg/L), ello puede deberse a múltiples factores tales como, la mortalidad de esquejes del vetiver (25%) (Gráfico 4.3) o a las muertes de las algas, dado que los procesos de descomposición demanda de oxígeno (Pütz, 2008); por otra parte referente a los cambios percibidos en el testigo se le puede atribuir a la presencia de algas verdes filamentosas como la asociación *Azolla - Anabaena* la cual es una fijadora del nitrógeno en el aire, pero a la vez debido a la fotosíntesis, aporta con oxígeno al medio acuático (Luque *et al.*, s.f)

La remoción total de la DBO utilizando el pasto vetiver fue de 76,30%, y el de testigo 68,75%; esto concuerda con estudios realizados por Mongkon *et al.*, (2003), donde se evidenció en un estudio de manejo primario de aguas residuales, que los tratamientos de éstas, con pasto vetiver, obtuvieron una eficiencia mayor a los tratamientos que no tenían el pasto.

Según Njau *et al*, (2003) indica que las plantas acuáticas realizan un papel importante en la remoción de DBO, debido a que actúan como bombas de oxígeno atmosférico, para luego junto a los descomponedores microbianos digieren la materia orgánica existente en ese cuerpo de agua.

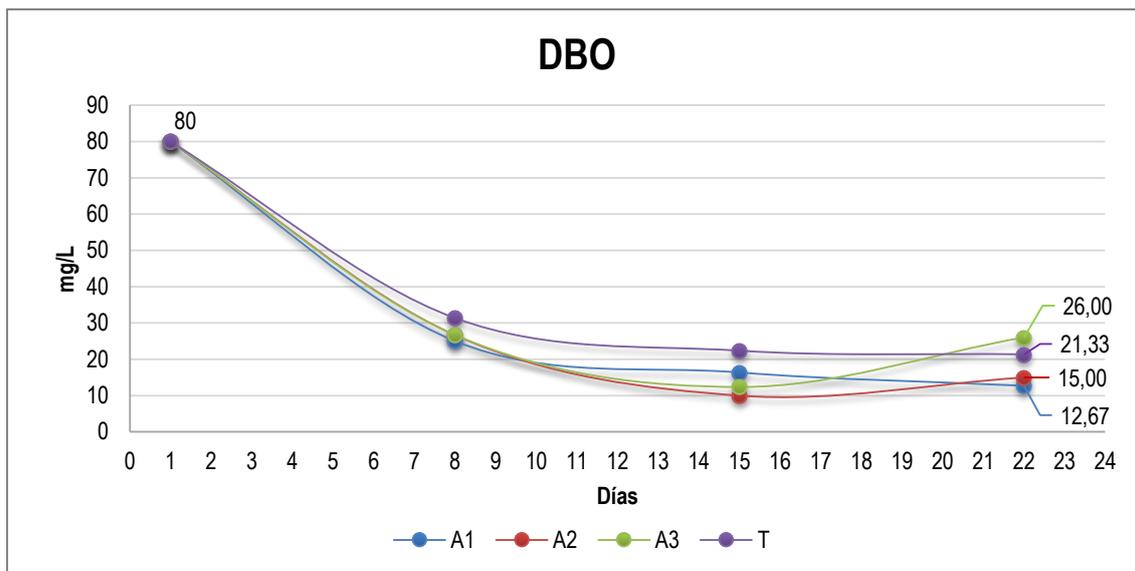


Gráfico 4.4. Variación de la DBO de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.

4.3.1.2. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO

El Análisis de Varianza (Cuadro 4.4), para esta variable se presentó diferencias significativas para la remoción a los 8 días, y no significativas para los 15 y 22 días.

Efectuada la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad se observó dos rangos comparativos, correspondiéndole el mayor promedio al tratamiento A₁ con el 84,01%, y el de menor 69,60% correspondiente al tratamiento A₂ (Cuadro 4.4).

Aplicando la prueba de Dunnett al 0,05 de probabilidad (Cuadro 4.5), se observó que no hay significación alguna entre las diferencias de medias de los tratamientos comparadas con la de testigo.

En el gráfico 4.5 se muestra el descenso de los niveles de nitrógeno en cada uno de los tratamientos, logrando una eficiencia con el pasto vetiver del 82,73% de remoción total. Estos datos concuerdan con estudios realizados por Anon, y Zheng *et al.*, (1997) han demostrado que la planta vetiver para el agua río contaminado, puede eliminar 74% para nitrógeno total después de 5 semanas.

Sin embargo, el agua tratada sin pasto vetiver (testigo) logró una eficiencia de remoción de 68,54%, esto se debe a que el nitrógeno presenta diversas

transformaciones en su ciclo. Palta y Morales (2013), señala debido a los cambios de temperatura que se da en el ambiente, parte del nitrógeno se volatiliza como gas amoniacal y otra parte es consumida por los microorganismos autóctonos presentes en el agua.

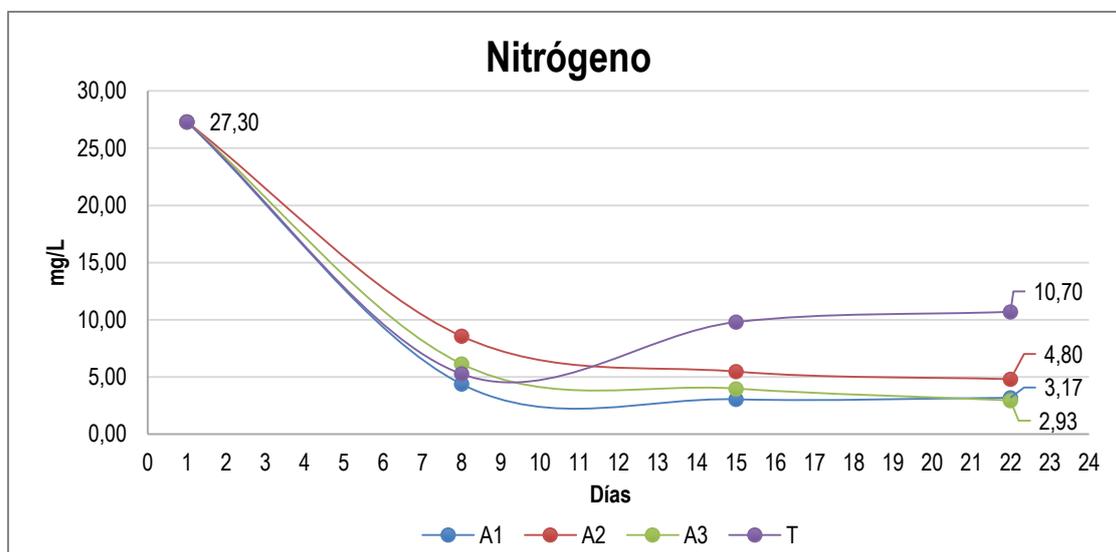


Gráfico 4.5. Variación de los niveles de nitrógeno de los cuatro tratamientos durante el ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.

4.3.1.3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE FÓSFORO

Para esta variable, el ANOVA (Cuadro 4.4), no determinó diferencias significativas. Sin embargo en el gráfico 4.6, se puede observar un descenso de los niveles de fósforo en cada uno de los tratamientos, este descenso no está necesariamente ligado a la acción del vetiver. Estos cambios se le podría atribuir a que el fósforo es citado como el principal limitante en procesos de eutrofización de aguas y utilizado por algas para su crecimiento poblacional, y cabe recalcar que durante el experimento hubo crecimiento de numerosas algas, las cuales al pasar los días se fueron fijando a las paredes de los tachos, sobre todo en los tratamientos dónde no había pasto vetiver (Anexo 7), con lo que es necesario mencionar lo que manifiesta Ruiz, *et al.*, (2006) que en un ensayo con el vetiver en agua cruda también hubo crecimiento de micro ecosistemas de fitoplancton o algas que pudieran haber causado desequilibrio en los análisis principalmente en los niveles de fósforo.

No obstante, el promedio final de remoción de fósforo durante todo el ensayo, fue de 61,55%, superando resultados a varias investigaciones previas como es el caso de una investigación realizada por Truong (2003), donde ha evaluado el pasto vetiver en diferentes lechos de relleno, señala que después de 75 días el pasto vetiver removió 17,44% de fósforo total.

Y en otras investigaciones se han demostrado que el vetiver bajo condiciones hidropónicas es capaz de disminuir el fósforo total de 10 mg/L a 1 mg/L (90 %) y en agua de río contaminado, puede eliminar el 98% para el total de P después de 4 semanas, así lo indican Truong *et al*, (2000), Anon y Zheng *et al.*, (1997).

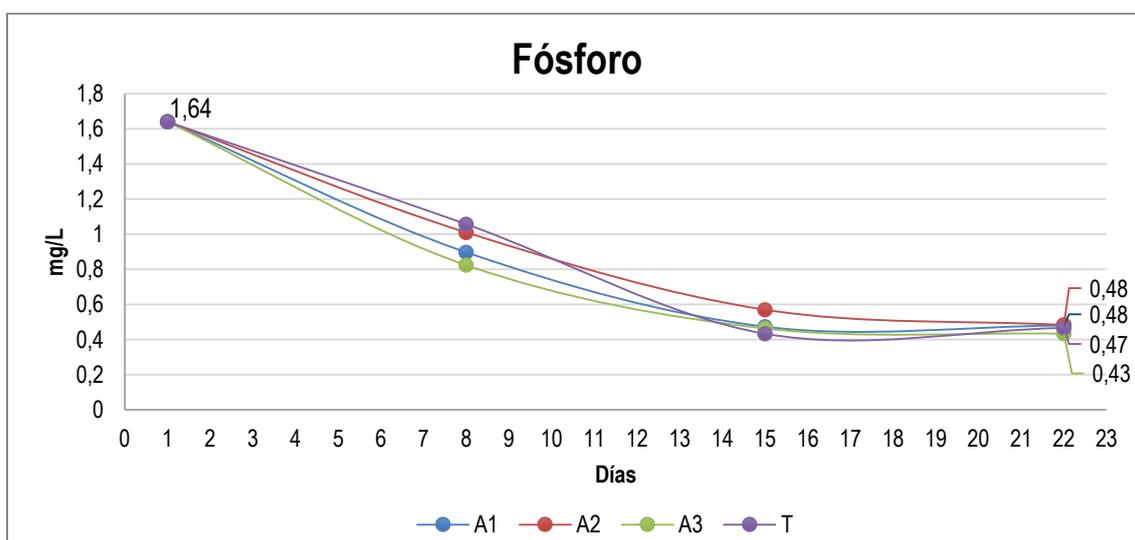


Gráfico 4.6 Variación de los niveles de fósforo de los cuatro tratamientos durante el ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

4.3.1.4. PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE TURBIDEZ

Al efectuar el Análisis de Varianza (Cuadro 4.4), se encontró diferencias significativas a los 8 días y no significativas para los 15 y 22 días.

Al realizar la prueba de Tukey al 0,05 de probabilidad se determinó dos rangos comparativos entre los tratamientos, correspondiéndole el mayor promedio al tratamiento A₂ con 53,74% y menor promedio resultado para el tratamiento A₁ con 38.10% (Cuadro 4.4).

De acuerdo a la prueba de Dunnett al 0,05 de probabilidad (Cuadro 4.5), se encontró que las medias de los tratamientos A₂ y A₃ son significativamente diferentes con el testigo, mientras que el tratamiento A₁ ante el testigo no logró significación estadística.

En el gráfico 4.7 se observa como fue disminuyendo la turbiedad en los tratamientos, y en los 8 días, donde hubo significancia estadística se refleja la diferencia con el testigo ante los tratamientos con el pasto vetiver, pasando esa semana el testigo siguió descendiendo, probablemente al decrecimiento de algas por lo que no disponían más nutrientes para seguir reproduciéndose, por lo que comenzaron a sedimentarse o posiblemente se dio el proceso de la floculación natural que consiste según Curt *et al.*, (2002) en la unión de partículas cargadas eléctricamente que colisionan entre sí.

Y la eficiencia de remoción total de turbidez que se alcanzó al finalizar el experimento fue 74,83%. Estos datos concuerdan con Jiménez y Vargas (2015), donde realizaron un estudio para evaluar la eficiencia del pasto vetiver en aguas superficiales, ellos afirmaron que dicho pasto favorece a la disminución de la turbiedad en el agua después de obtener el 74,11% de remoción en su experimento a los 29 días.

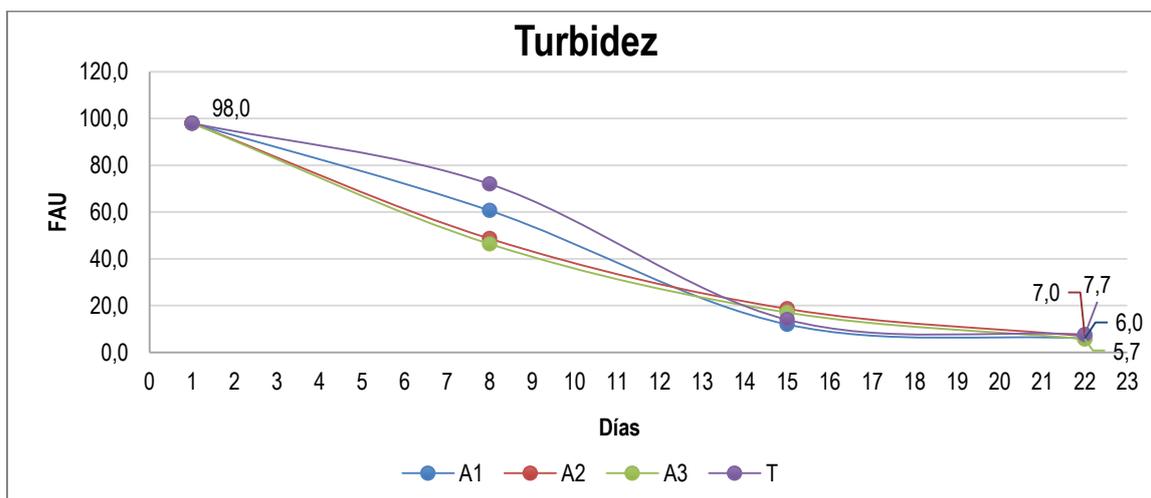


Gráfico 4.7. Variación de los niveles de turbidez de los cuatro tratamientos durante el ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

Cuadro 4.4. Promedios de porcentaje de remoción de DBO, Nitrógeno, Fósforo y turbidez en el ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

Fuente de variación	Remoción DBO (%)			Remoción Nitrógeno (%)			Remoción Fósforo (%)			Remoción Turbidez (%)		
	8 días	15 días	22 días	8 días	15 días	22 días	8 días	15 días	22 días	8 días	15 días	22 días
Tratamiento	ns	*	ns	*	ns	ns	ns	ns	ns	*	ns	ns
A₁	68,75	79,58 ab	84,17	84,01 a	88,89	88,4	45,33	71,14	54,47	38,1 ab	87,75	93,88
A₂	66,67	87,5 a	81,25	69,6 b	79,24	83,03	38,41	65,24	70,53	53,74 a	75,85	93,88
A₃	66,67	84,58 a	67,5	76,56 ab	86,2	88,64	49,8	71,75	73,58	49,32 ab	87,76	93,2
Testigo	60,83	72,08 b	73,33	80,71 ab	64,1	60,8	35,57	73,58	73,58	26,53 b	85,71	92,18
Nivel de significación	0,336	0,008	0,055	0,040	0,137	0,051	0,349	0,399	0,231	0,025	0,127	0,265
Error Estándar	2,98	2,37	3,85	2,94	7,09	6,57	5,75	3,42	6,89	5,23	3,55	0,64
C.V %	7,84	5,06	8,7	6,55	15,42	14,18	23,57	8,42	17,54	21,6	7,3	1,18

ns. Diferencias no significativas

*. Diferencias significativas

C.V. Coeficiente de variación del error

Promedios con letras iguales en una misma fila no difieren estadísticamente, según Tukey (P>0,05).

Cuadro 4.5. Diferencias de medias de los porcentajes de remoción de DBO, turbidez y nitrógeno en el ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

T de Dunnnett	Remoción DBO (%)			Remoción Turbidez (%)			Remoción Nitrógeno (%)		
	15 días			8 días			8 días		
		E.E	Sig.		E.E	Sig.		E.E	Sig.
A₁ - Testigo	7,5	7,39	0,334	11,57	3,34	0,129	3,3	4,15	0,772
A₂ - Testigo	15,41 *	7,39	0,016	27,21 *	3,34	0,004	-11.11	4,15	0,068
A₃ - Testigo	12,5 *	7,39	0,037	22,79 *	3,34	0,014	-4,15	4,15	0,645

*. La diferencia de medias es significativa en el nivel 0.05 según T de Dunnnett.

E.E. Error estándar

Sig. Nivel de Significación

El análisis estadístico indica que los tratamientos A₂ y A₃ se encuentran en el mismo rango comparativo en las variables que presentaron significación (DBO, nitrógeno y turbidez) por lo que ambos son estadísticamente diferentes ante el testigo, ratificado con el test de Dunnnett, de esta manera se podría decir que ambos tratamientos adquirieron los mejores resultados, que se podría aplicar para la remoción orgánica de una agua. Sin embargo, el tratamiento A₃ en los promedios finales de remoción es quien obtuvo en todas las variables a excepción de la DBO mayor porcentaje que A₂, probablemente por la mortandad que se obtuvo en el tratamiento, tanto de los esquejes del vetiver como de las algas, puesto que los procesos de descomposición dan como resultado una demanda de oxígeno.

La remoción total de DBO (76,30%), mostró diferencias significativas a los 15 días, en la remoción total del nitrógeno (82,73%), se encontraron éstas a los 8 días al igual que la turbidez (74,83%), ello hace el vetiver una planta eficiente en la remoción de los contaminantes orgánicos ya en los primeros días en la aplicación de tres de las cuatro variables analizadas. No obstante, no se puede decir lo mismo en lo que respecta a la remoción total del fósforo (61,55%), la cual no mostró diferencias significativas, debido a que el fósforo es el principal limitante de la eutrofización del agua, y éste pudo haber sido usado por las algas para su crecimiento poblacional durante los primeros días del experimento. Una vez alcanzada la máxima densidad poblacional, las algas

podrían haber decrecido rápidamente en número debido a que no contaban ya con este nutriente; ello explicaría además parte del descenso de la turbidez.

3.2. VARIABLES COMPLEMENTARIAS

A) OXÍGENO DISUELTO

En el gráfico estadístico (Gráfico 4.8), ilustra el nivel de oxígeno disuelto durante el ensayo, donde se puede observar que el parámetro ascendió de igual manera para los cuatros tratamientos a los 8 primeros días de haber iniciado el ensayo, descendiendo ya para los 15 días, a partir de esta volvió ascender nuevamente reflejándose en los datos obtenidos a los 22 días alcanzando un nivel de oxígeno disuelto 5,64 mg/L para el tratamiento A₁, 5,04 mg/L para A₂, 4,44 mg/L para A₃, a excepción del testigo quién obtuvo 2,86 mg/L por lo que después de los 15 días siguió descendiendo hasta al final del experimento.

La temperatura es uno de los factores influyentes en el comportamiento del oxígeno disuelto. Vernier (2006), explica que los niveles de OD tienden a oscilar durante el día a causa de las actividades de las plantas, tendiendo a elevarse en las mañanas. Cabe mencionar que durante el experimento, el monitoreo de este parámetro se lo realizó a una hora constante (10h00 am), ya que Vernier (2006), indica que a causa de las fluctuaciones del OD, es recomendable que los ensayos OD se realicen a una misma hora cada día.

En los primeros 8 días se observó un crecimiento de algas en todos los tratamientos, lo cual explica que los valores de OD se hayan elevado. Poco después las algas comenzaron a morir descompuestas por las bacterias aeróbicas, las cuales requieren de oxígeno por lo que a los 15 días se evidenció un descenso del OD.

Así mismo lo indica Vernier (2006), en su ensayo donde expresa que, a medida que mueren las algas, el requerimiento de oxígeno de la descomposición aeróbica aumenta, resultando una caída brusca en los niveles de OD. Sin embargo, a los 22 días se pudo observar que para los tratamientos A₁, A₂ y A₃

ascendió los valores de OD, posiblemente por la cantidad presente de plantas en el agua, lo cual explica porque el tratamiento “testigo” siguió descendiendo.

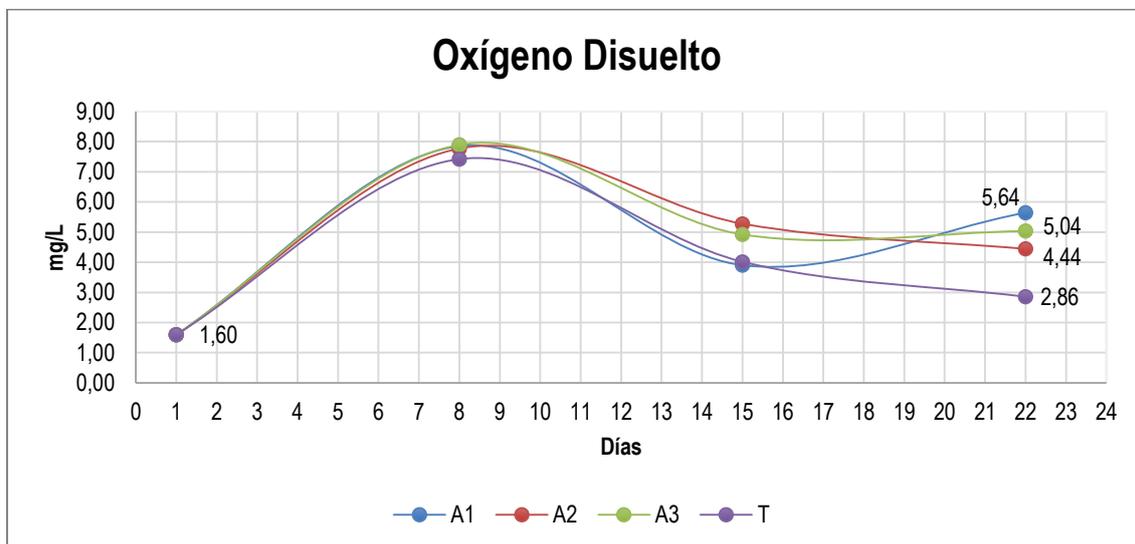


Gráfico 4.8. Variación del oxígeno disuelto semanal de los cuatro tratamientos del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex – situ* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.

B) SALINIDAD

En el gráfico 4.8 presenta la variación del porcentaje de salinidad que se obtuvo mediante el ensayo, donde se observa que para los tres tratamientos A1, A2 y A3 se mantuvieron en similitud con el rango que iniciaron, aun así el que obtuvo menor valor fue el tratamiento A2 con 6,20%, mientras, para el testigo hubo una marcada variación, pues desde el inicio mostró ascender terminando con un porcentaje de salinidad del 12,67%.

Este ascenso de salinidad tiene relación con los datos del gráfico 4.8 donde, según Vernier (2006), explica que las altas temperaturas más el grado de concentración de sales, produce un estado anóxico en las aguas.

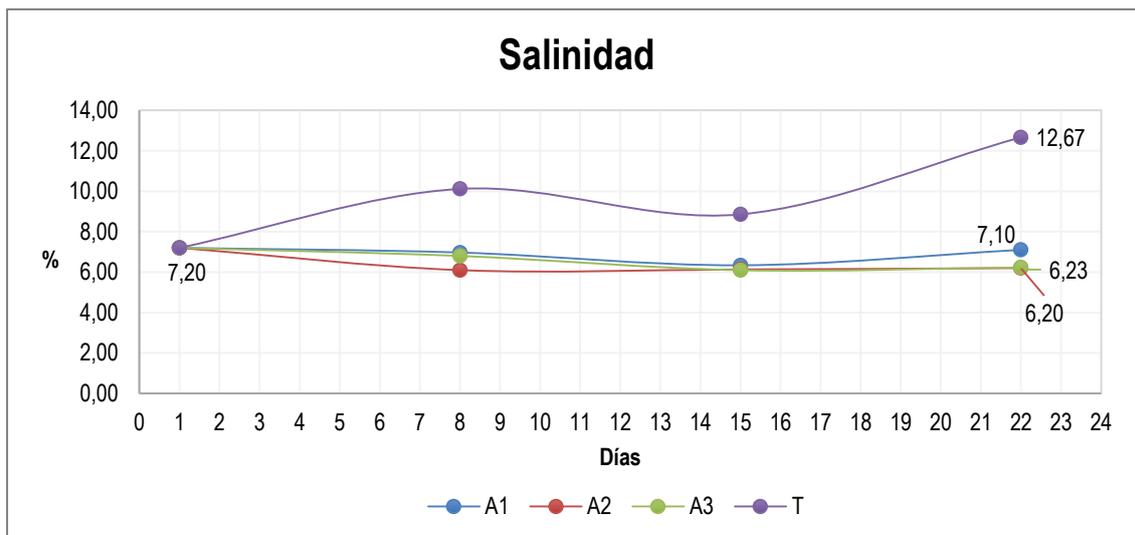


Gráfico 4.9. Variación del porcentaje de salinidad semanal de los cuatro tratamientos del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.

C) PONTECIOMETRÍA (pH)

La variación del pH se muestra en el gráfico 4.10 en el cual se puede apreciar que durante el ensayo todos los tratamientos ascendieron uniformemente a un pH alcalino. Vernier (2006), señala que la remoción de CO₂ en el proceso de fotosíntesis produce un efecto significativo en el pH, generando un aumento de este. Esto ocurre a causa de las incrustaciones calcáreas presentes en la superficie de la planta.

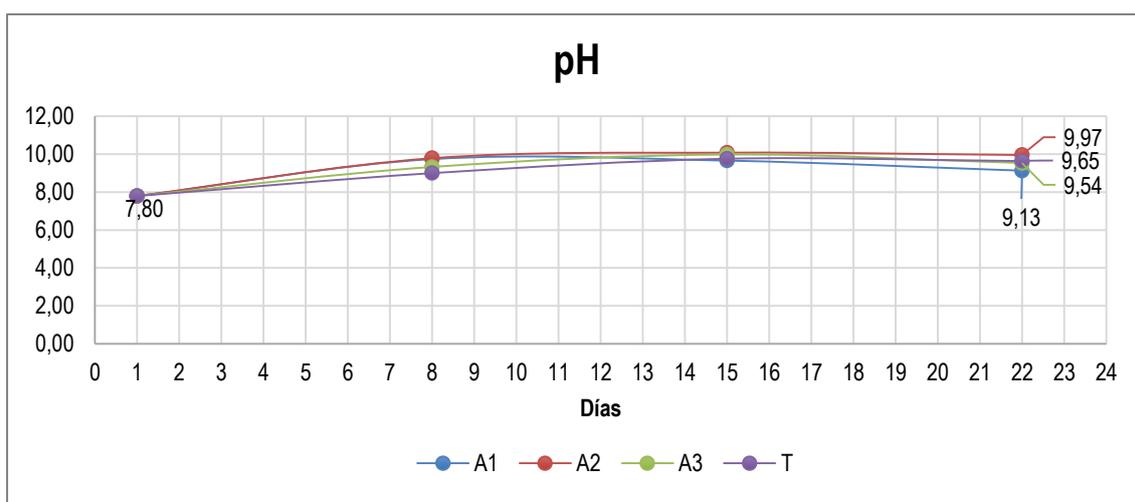


Gráfico 4.10. Variación del pH semanal de los cuatro tratamientos del ensayo “Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex – situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta”. 2016.

4.3.3. DATO COMPLEMENTARIO

4.3.3.1. TEMPERATURA

Se registraron datos durante los 22 días que duró el ensayo, donde se observa valores menores de temperatura por la mañana que aumentan al medio día y desciende parcialmente en la última lectura del día.

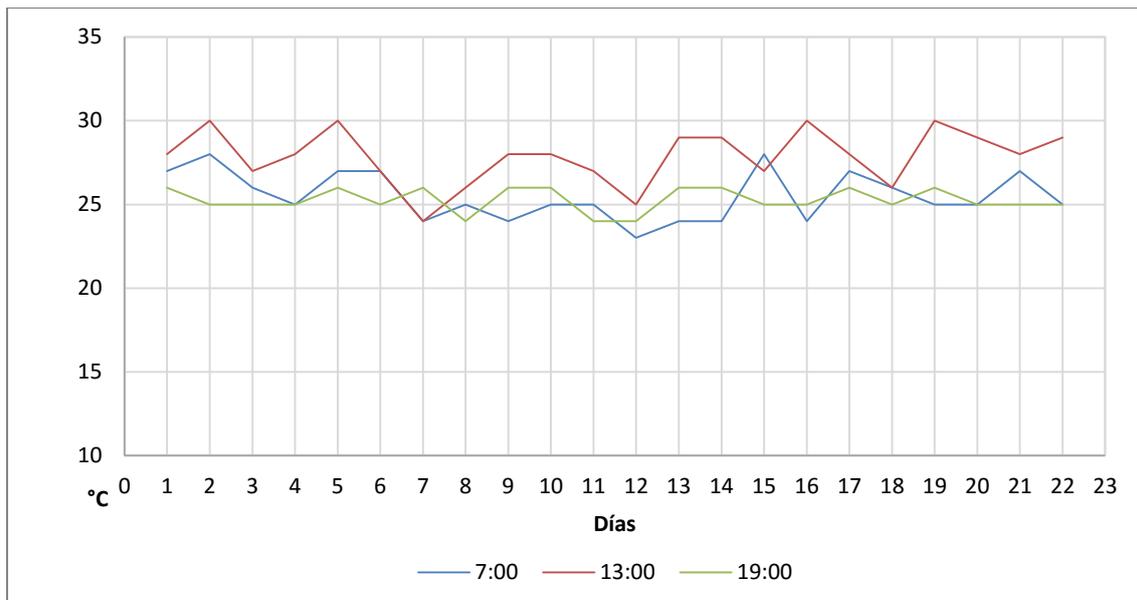


Gráfico 4.11. Valores de variación diaria de la temperatura durante el ensayo "Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) *ex - situ* en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta". 2016.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMEDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- Los datos obtenidos del análisis físico – químicos y microbiológico, del río Muerto indican que los niveles de DBO, DQO, Fosfatos y Oxígeno Disuelto, están por encima de los diferentes criterios de calidad admisibles del anexo 1 del libro VI del TULSMA.
- Los esquejes del pasto vetiver utilizados en el ensayo presentaron adaptación, desarrollo y resistencia al agua del río Muerto, determinándose un 18% de mortalidad, lo que probablemente se debe al uso de esquejes muy tiernos.
- En las variables que se obtuvo significación estadística, el porcentaje de remoción de los contaminantes orgánicos presentes en las aguas del río Muerto, fue mayor al 75%, lo que hace al pasto vetiver sea altamente eficiente, en solo 22 días de tratamiento.
- El mejor tratamiento en comparación a los demás fue el de la aplicación de 12 esquejes del pasto vetiver en un volumen de 20 litros de agua, por lo que presentó significación estadística y mayores porcentajes de remoción en las variables en estudio.

5.2 RECOMENDACIONES

- Es necesario realizar análisis de los parámetros físicos químicos en épocas de lluvia, debido a las variaciones de flujo que presenta el río Muerto lo cual puede presentar cambios relevantes en los parámetros analizados.
- Utilizar esquejes que tengan bien desarrollado su tallo, para evitar menor porcentaje de mortalidad.
- En lo posterior investigar la aplicación de pasto vetiver y su eficiencia en remover metales pesados presentes en las aguas del río Muerto de Manta.

BIBLIOGRAFÍA

- Alzipar, L. 2004. Hidroponía cultivo sin tierra. 1 ed. Editorial Ecológica de Costa Rica. CR. p 15,16
- Anon. 1997. A consideration and preliminary test of using vetiver for water utrophication control in Taihu Lake in China. Proc. Environmental group, institute of Soil Science, Academia Sinica, Nanjing. Proc. International Vetiver Workshop, Fuzhou, CN.
- AyA (Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillados). 2009. Programa Nacional de Manejo Adecuado de las Aguas Residuales Costa Rica 2009-2015 (En línea). CR. p 41-42. Consultado, 14 de julio 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.bvs.sa.cr>
- Arce, A. 2001. Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua: Muestreo y preservación de grasa y aceites y determinación en campo de pH, temperatura y materia flotante. (En línea) MX. Consultado, 11 de junio 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/>
- Baird, C. 2004. Química ambiental. Contaminación de aguas superficiales por fosfatos. 2 ed. Editorial Reverté, S.A. Barcelona. ES. p 491
- Barba, L. 2002. Conceptos básicos de la contaminación del agua y parámetros de medición: pH. Santiago de Cali, (En línea). CO. p 41-42. Consultado, 14 de julio. 2015. Formato PDF.
- Bosques, J. 2010. Curso básico de hidroponía. Capa Moca. PR. p 29
- Campíns, P; Molins, C; Meseguer, S and Moliner, Y. 2006. TrAC Trends in Analytical Chemistry: A guide for selecting the most appropriate method for ammonium determination in water analysis. Vol. 25. 3 ed. p 282
- Cano, L. 2010. Estudio comparativo de índice de calidad de agua. Santiago, CH. p 17,18.
- Castejón, O. 2011. Diseño y Análisis de Experimentos con Statistix. Venezuela. Universidad Rafael Urdaneta. p 27 y 69.

- Chansiri, M; and Boonsong, K. 2005. Efficiency of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash) cultivated with floating platform technique in municipal wastewater treatment. Nakorn Ratchasima, TH. Paper H0041, Suranaree University of Technology, Vol. 12. p 73-80
- Chiriboga, C. 2010. Propuesta de un sistema de monitoreo para la caracterización de las aguas residuales que recepta el río Tahuando. Tesis pregrado. Ing. en Recursos Naturales. UTN. Ibarra, Imbabura. EC.
- Constitución de la República del Ecuador. 2008. Título II. Capítulo segundo. Sección primera y segunda. Artículo 12 y 14. p 24.
- Curt, M; De Miguel, E. y De Miguel, J. 2002. Manual de Fitodepuración, Filtro de macrófitas en flotación: fitodepuración en humedales, conceptos generales. Cap. 5. Madrid, ES. p 70 (En línea). Consultado, 05 jun. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.fundacionglobalnature.org/>
- Delgadillo, A; González, C; Prieto, F; Villagómez, J y Acevedo, O. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Hidalgo, MX. Revista Tropical and Subtropical Agroecosistemas. Vol. 14. p 597-612
- Dirección General del Observatorio Ambiental. 2012. Informe de la Calidad de Agua de los Ríos de El Salvador (En línea). Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. San salvador. SV. p 88-89. Consultado, 14 de julio. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.marn.gob.sv>
- DRAE (Diccionario de la Lengua Española). 2014. 23.^a edición. Madrid, ES.
- Ecological Society of America. 2003. Sustaining Healthy Freshwater Ecosystems (En línea). Tomo 10. p 1. Consultado 14 de julio. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.esa.org>
- EPAM. (Empresa Pública de Agua del Cantón Manta), 2015. Trabajos en el río Muerto. (En línea). EC. Consultado, 05 de mayo, 2015. Formato HTML. Disponible <http://www.epam.gob.ec>
- Guerrero, M y Schifter, I. 2011. La huella del agua. La Ciencia para todos. Primera edición. México D.F. MX. p 26.

- Gonzales, C. 2011. Monitoreo de la calidad del agua. La turbidez. (En línea). Consultado, 15 diciembre 2015. Formato PDF. Disponible en <http://academic.uprm.edu/>
- Guzmán, G. 2004. Hidroponía en casa: Una actividad familiar. p 5 (En línea). CR. Consultado, 10 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.mag.go.cr>
- Hart, H; Truong, P; and Cody, R. 2003. Hydroponic Vetiver Treatment of Post Septic Tank Effluent Queensland, Australia. (En línea). AU. Consultado, 15 jul, 2015. Formato PDF Disponible <http://prvn.rdpb.go.th/files/2-06t.pdf>
- Herrera, J. 2015. Evaluación de parámetros de resistencia al corte en suelos de ladera cubiertos con pasto vetiver (*chrysopogon zizanioides*) en la vía neiva-vegalarga departamento del huila. Trabajo de grado. Magíster en Ingeniería Civi. Bogotá, CO. p 29
- Hespanhol, I. y Helmer, R. 2001. Hespanhol, I. y Helmer, R. 2001. Enciclopedia de salud y seguridad en el trabajo: Riesgos ambientales para la salud. Contaminación del agua. Editorial Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales 4 ed. Cap 53. Madrid. ES. p 18. (En línea). Consultado, 05 de mayo, 2015. Formato PDF. Disponible. <http://www.empleo.gob.es/>
- Jiménez, E y Vargas, S. 2015. Evaluación de la eficiencia del pasto vetiver para la fitorremediación de las aguas superficiales del caño cola de pato ubicado en el sector rural del municipio de acacias departamento del meta. p 38. (En línea). Consultado, 08 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://repository.unad.edu.co/>
- Jiménez, J. s.f. Métodos estadísticos. p 125. (En línea). Consultado, 24 de nov. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.sefh.es/>
- Jiménez, M. 2010. Manual instructivo alternativas productivas en cultivos hidropónicos. Comité Coordinador Operativo Geco Huetar Atlántico, Platicar-INTA Sector Caribe Norte de Costa Rica. P 9-10. (En línea). CR. Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.platicar.go.cr>
- Kong, X; Lin, W; Wang, B. y Fuh, L. 2003. Estudio sobre la purificación del vetiver para aguas residuales procedentes de un criadero de cerdos.

Guangzhou, CN. (En línea). Consultado 21 de marzo 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org>.

Lishenga, I; Nyaanga, D; Owino, J. y Wambua, R. 2015. Efficacy of Hydroponic and Soil-Based Vetiver Systems in the Treatment of Domestic Wastewater. *Revista International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology*. Vol. 26. p 53-63

Liao, X; Shiming, L; Yinbao, W and Zhisun, W. 2003. Studies on the Abilities of *Vetiveria zizanioides* and *Cyperus alternifolius* for Pig Farm Wastewater Treatment, Guangzhou, CN. Consultado, 21 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org>.

Llopis, J. 2013. La estadística: Una orquesta hecha instrumento. Test HSD de Tukey (En línea). Consultado, 17 de julio. 2015. Disponible en <https://estadisticaorquestainstrumento.wordpress.com>

Luque, O; Troung, P; Morao, D. y Ceballos, D. s.f. Modelo teórico para explicar los principios involucrados en el tratamiento de aguas residuales por el vetiver. Cervecería polar-planta San Joaquín-Venezuela. Caracas, VE. p 3. (En línea). Consultado, 08 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org/>

Martínez, J. 1996. Estudio de la calidad de las aguas superficiales del río San Pedro. Aguascalientes, MX. *Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*. No 17. p 33.

Metcalf y Eddy. 2003. *Wastewater Engineering. Treatment and Reuse*. 4ed McGraw-Hill, New York, USA.

Mongkon, T; T. Patcharee., P. Santibhab, y P. Sultipong. 2003. Vetiver grass research: Primary management of wastewater from community. Tercera conferencia internacional y exhibición. *Vetiver y agua*. Guangzhou, CN. p 128-139.

Morales, S y Palta, G. 2014. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el municipio de Popayán, Cauca. *Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. Vol. 1. N° 2. p 57-65.

- Njau K. y H. Mlay. 2003. Wastewater Treatment and other research initiatives with Vetiver grass. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, CN. p 231-240.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales (En línea). PE. p 2-3. Consultado, 14 de julio. 2015. Formato PDF. Disponible en <https://www.oefa.gob.pe>
- Orihuela, J. 2007. Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) (En línea). PE. Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en www.vetiver.com
- Palta, G y Morales, S. 2013. Fitodepuración de aguas residuales domesticas con poaceas: *Brachiaria mutica*, *Pennisetum purpureum* y *Panicum maximun* en el municipio de Popayán, Cauca. p 62. (En línea). Consultado, 08 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.scielo.org.co/>
- Plan Nacional del Buen Vivir. 2013. Objetivos nacionales para el buen vivir. Objetivo 7. p 221 – 242.
- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente). 2012. Aguas saludables para el desarrollo sostenible: Estrategia operativa del PNUMA para el agua dulce (2012-2016)
- Pütz, P. 2008. Informe práctico: analítica de laboratorio y sistema de control de proceso nutrientes (fosfato). (En línea). Consultado, 08 junio. 2016. Formato PDF. Disponible en es.hach.com
- RAPAL (Red de Acción en Plaguicidas y sus Alternativas para América Latina). 2010. Contaminación y eutrofización del agua: Impactos del modelo de agricultura industrial. Montevideo, UR. p 14. (En línea). Consultado, 08 junio. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.rapaluruaguay.org/>
- Rocha, E. 2010. Ingeniería de tratamiento y acondicionamiento de aguas Editorial Universidad Autónoma de Chihuahua. México. (En línea). MX. Consultado, 16 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.oocities.org/>

- Roongtanakiat, N. 2006. Vetiver in Thailand: general aspects and basic studies. *Kasetsart Journal: Natural Science* Vol. 24. p 13-19 (En línea). Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/>
- Ruiz, C; Luque, O; Rodríguez, O. y Alarcón, M. 2006. Desarrollo de un sistema de tratamiento para la remoción de flúor del agua mediante el uso de vetiver *Vetiveria zizanioides* L., en Guarataro. Yaracuy. VE. (En línea). Consultado, 08 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org/>
- Ruiz, D. 2004. Manual de Estadística (En línea). p 32. Consultado, 23 de julio. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.eumed.net>
- Sawyer, C; McCarty, P; Parkin, G. 2001. Química para ingeniería ambiental. 4 ed. Editorial: Contextos Gráficos. Bogotá, CO. p 475 - 645
- Scavo, M; Rodríguez, O y Luque, O. s.f. Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto vetiver (*vetiveria zizanioides*), provenientes de una planta de producción de gaseosas, en villa de cura, estado Aragua. VE. p 11. (En línea). Consultado, 08 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org/>
- Singh, R; Dhanial, G; Sharma, A and Jaiwal, P. 2007. Environmental Bioremediation Technologies: Biotechnological Approaches to improve Phytoremediation Efficiency for Environment Contaminants. 1 ed. IN. p 225.
- Thermo Fisher Scientific. 2013. Catálogo de productos para procesos de agua. Massachusetts, USA. (En línea). Consultado, 24 de nov. 215. Formato PDF. Disponible en <http://www.thermoscientific.de/>
- Torres, G; Navarro, A; Languasco1, J; Campos, K. y Cuizano, N. 2007. Estudio preliminar de la fitoremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratioides* (lechuga de agua). Lima, PE. Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, Vol. 3. p 13-20
- Truong, P. 1999. Vetiver Grass Technology for Mine Rehabilitation. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin Nº 2. Vetiver Conf. TH. (En línea). Consultado, 21 de julio del 2015. Formato HTML. Disponible en <http://www.vetiver.com/>

_____. Mason, F; Waters, D. and Moody, P. 2000. Application of Vetiver Grass Technology in off-site pollution control. I. Trapping agrochemicals and nutrients in agricultural lands. Vetiver Conf. TH. (En línea). Consultado, 21 de julio del 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/>

_____. Hart, H. 2001. Vetiver System for Wastewater Treatment. Pacific Rim Vetiver Network Technical Bulletin N° 2001/2. (En línea). Consultado, 21 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/>

_____. 2003. Vetiver system for water quality improvement. Tercera conferencia internacional y exhibición. Vetiver y agua. Guangzhou, CN. p 64-78

_____. 2004. Vetiver Grass Technology for mine tailings rehabilitation Ground and Water Bioengineering for Erosion Control and Slope Stabilisation. Science Publishers Inc. NH, USA.

_____. 2009. Aplicaciones del sistema vetiver manual técnico de referencia. 1 ed. Bangkok, Tailandia. P 127.

TULSMA (Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente). 2003. Libro VI. Título VII. Anexo 1. Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.

UNESCO (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura). 2003. Informe de la Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. (En línea). Consultado, 19 nov. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/>

_____. 2015. Segundo Informe de la Naciones Unidas sobre agua para un mundo sustentable. (En línea). Consultado, 20 nov. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/>

Vernier International. 2006. Ciencias con lo mejor de Venier. Calidad del agua (En línea). Consultado, 16 abril. 2016. Formato PDF. Disponible en <http://www.vernier.com/>

- Wildschut, L. 2013. Mercados potenciales de tecnologías de biorremediación con vetiver. 1 ed. Madrid. ES. (En línea). Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.eoi.es>
- Wong, E. 2010. ¿Después de un análisis de variancia...qué? Ejemplos en ciencia de alimentos. Revista agronomía mesoamericana Vol. 21. p 350-351.
- Xuhui, K; Weiwen, L; Biqing, W and Fuhe, L. 2003. Study on vetiver's purification for wastewater from pig farm. Proc. Third International Vetiver Conference, Guangzhou, CN. (En línea). Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.com/>
- Zheng, C; Tu, C; and Chen, H. 1997. Preliminary study on purification of eutrophic water with vetiver. Proc. International Vetiver Workshop, Fuzhou, CN. (En línea). Consultado, 15 de jul. 2015. Formato PDF. Disponible en <http://www.vetiver.org/>

ANEXOS

Anexo 1. Georreferenciación de los puntos de muestreo vía aeropuerto – sector La florita



Anexo 2. Áreas críticas seleccionadas para el muestreo**2-A. Punto 1. Sector la florita****2-B. Punto 2. Sector la florita****2-C. Punto 3. Sector la florita****2-D. Punto 4. Vía aeropuerto****2-E. Punto 5. Vía aeropuerto****2-F. Punto 6. Desembocadura**

Anexo 3. Diagnóstico del río Muerto

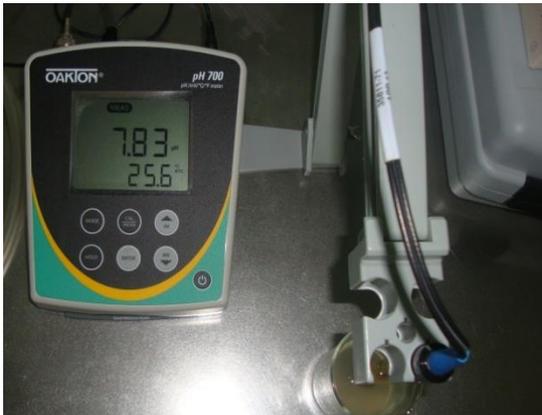
3-A. Recolección del agua para la muestra compuesta



3-B. Determinación del oxígeno disuelto en cada punto



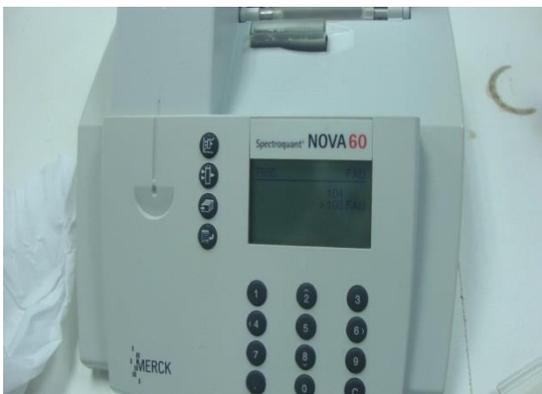
3-C. Análisis físicos – químicos y microbiológico.



pH



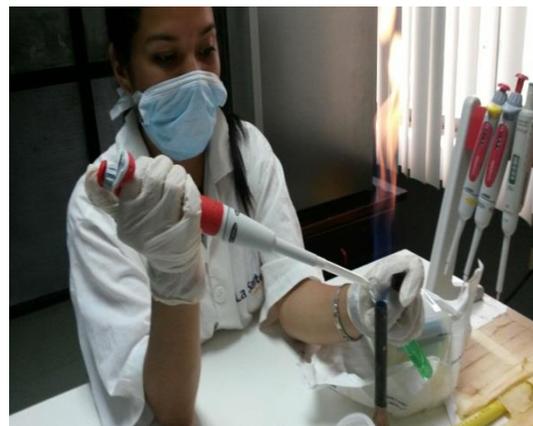
Conductividad eléctrica



Turbidez

DBO₅

DQO



Coliformes totales

Anexo 5. Obtención de esquejes



5-A. Obtención del pasto vetiver



5-B. Bolsas de polietileno con sustrato



5-C. Progreso de crecimiento del pasto



5-D. Preparación de los esquejes



5-E. Plantas listas para el experimento

Anexo 6. Desarrollo del diseño experimental

6-A. Recolección del agua del río Muerto



6-B. Homogenización de las muestras



6-C. Preparación de las unidades experimentales



Distribución del agua extraída



Plataforma flotante de poliestireno



Medida de la raíz



Ubicación del pasto vetiver



Modelo hidropónico

Anexo 7. Adaptación de la planta Vetiver

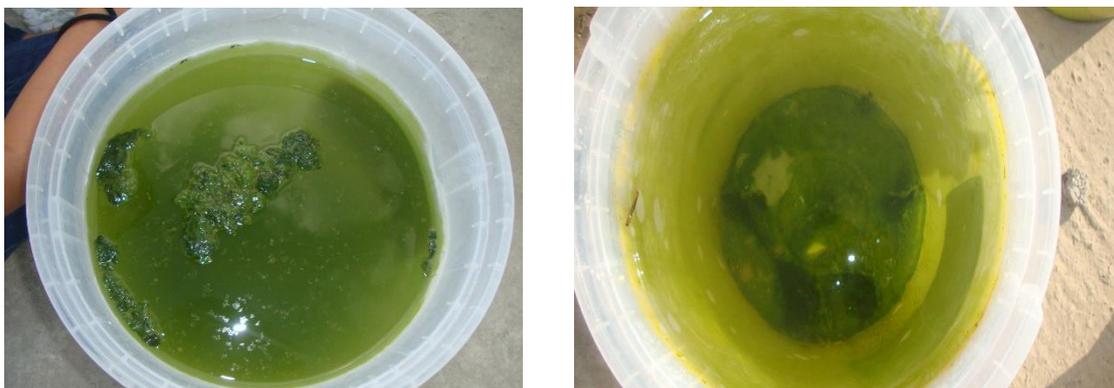
7-A. Desarrollo de la raíz durante el experimento



7-B. Desarrollo de las hojas durante el experimento



7-C. Proliferación de algas



Anexo 8. Análisis del agua en tratamiento

8-A. Muestras del agua tratada



8-B. Análisis de las muestras



Anexo 9. Porcentajes de remoción de DBO del ensayo

MONITOREO DE DBO (MG/L)				
T	0 días	8 días	15 días	22 días
T ₁ R ₁	80	30	10	15
T ₁ R ₂	80	25	20	15
T ₁ R ₃	80	20	19	8
T ₂ R ₁	80	30	10	5
T ₂ R ₂	80	20	10	20
T ₂ R ₃	80	30	10	20
T ₃ R ₁	80	30	10	28
T ₃ R ₂	80	25	15	22
T ₃ R ₃	80	25	12	28
T ₄ R ₁	80	32	20	25
T ₄ R ₂	80	30	22	20
T ₄ R ₃	80	32	25	19

REMOCIÓN DBO (%)			
TRATAMIENTOS	8 DÍAS	15 DÍAS	22 DÍAS
T ₁ R ₁	62,5	87,5	81,25
T ₁ R ₂	68,75	75	81,25
T ₁ R ₃	75	76,25	90
T ₂ R ₁	62,5	87,5	93,75
T ₂ R ₂	75	87,5	75
T ₂ R ₃	68,75	81,25	72,5
T ₃ R ₁	62,5	87,5	65
T ₃ R ₂	62,5	87,5	75
T ₃ R ₃	68,75	85	65
T ₄ R ₁	60	75	68,75
T ₄ R ₂	62,5	72,5	75
T ₄ R ₃	60	68,75	76,25

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción 8 días	Tratamiento	104,557	3	34,852	1,312	0,336
	Error Experimental	212,5	8	26,563		
	Total	317,057	11			
Remoción 15 días	Tratamiento	409,766	3	136,589	8,132	*0,008
	Error Experimental	134,375	8	16,797		
	Total	544,141	11			
Remoción 22 días	Tratamiento	517,057	3	172,352	3,882	0,056
	Error Experimental	355,208	8	44,401		
	Total	872,266	11			

*. Diferencias significas
Sig. Nivel de significación

Anexo 10. Porcentajes de remoción de fósforo del ensayo

MONITOREO DE FÓSFORO (mg/l)				
T	0 días	8 días	15 días	22 días
T ₁ R ₁	1,64	0,73	0,38	0,66
T ₁ R ₂	1,64	0,92	0,44	0,34
T ₁ R ₃	1,64	1,04	0,6	0,44
T ₂ R ₁	1,64	1,26	0,57	0,41
T ₂ R ₂	1,64	0,92	0,54	0,57
T ₂ R ₃	1,64	0,85	0,6	0,47
T ₃ R ₁	1,64	0,7	0,41	0,54
T ₃ R ₂	1,64	0,76	0,63	0,38
T ₃ R ₃	1,64	1,01	0,35	0,38
T ₄ R ₁	1,64	0,97	0,38	0,32
T ₄ R ₂	1,64	1,06	0,45	0,47
T ₄ R ₃	1,64	1,14	0,47	0,51

REMOCIÓN FÓSFORO (%)			
TRATAMIENTOS	8 DÍAS	15 DÍAS	22 DÍAS
T ₁ R ₁	55,49	76,83	59,76
T ₁ R ₂	43,90	79,27	65,45
T ₁ R ₃	36,59	63,41	73,17
T ₂ R ₁	23,17	65,24	75,00
T ₂ R ₂	43,90	67,07	65,24
T ₂ R ₃	53,66	61,59	76,83
T ₃ R ₁	57,32	75,00	67,07
T ₃ R ₂	48,17	63,41	71,34
T ₃ R ₃	38,41	78,66	76,83
T ₄ R ₁	40,85	76,83	80,49
T ₄ R ₂	35,37	72,56	71,34
T ₄ R ₃	30,49	71,34	68,90

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción 8 días	Tratamiento	377,273	3	125,758	1,267	0,349
	Error Experimental	794,22	8	99,278		
	Total	1171,493	11			
Remoción 15 días	Tratamiento	117,238	3	39,079	1,112	0,399
	Error Experimental	281,104	8	35,138		
	Total	398,342	11			
Remoción 22 días	Tratamiento	754,642	3	251,547	1,766	0,231
	Error Experimental	1139,509	8	142,439		
	Total	1894,151	11			

*. Diferencias significas
Sig. Nivel de significación

Anexo 11. Porcentajes de remoción de turbidez del ensayo

MONITOREO DE TURBIDEZ (FAU)				
T	0 días	8 días	15 días	22 días
T ₁ R ₁	98	50	9	5
T ₁ R ₂	98	61	13	7
T ₁ R ₃	98	71	14	6
T ₂ R ₁	98	55	15	7
T ₂ R ₂	98	38	22	6
T ₂ R ₃	98	53	19	8
T ₃ R ₁	98	39	10	7
T ₃ R ₂	98	43	34	5
T ₃ R ₃	98	57	7	5
T ₄ R ₁	98	65	13	7
T ₄ R ₂	98	77	17	8
T ₄ R ₃	98	74	12	8

REMOCIÓN TURBIDEZ (%)			
TRATAMIENTOS	8 DÍAS	15 DÍAS	22 DÍAS
T ₁ R ₁	48,98	90,82	94,90
T ₁ R ₂	37,76	86,73	92,86
T ₁ R ₃	27,55	85,71	93,88
T ₂ R ₁	43,88	84,69	92,86
T ₂ R ₂	61,22	77,55	93,88
T ₂ R ₃	56,12	65,31	94,90
T ₃ R ₁	60,20	89,80	92,86
T ₃ R ₂	45,92	80,61	91,84
T ₃ R ₃	41,84	92,86	94,90
T ₄ R ₁	33,67	86,73	92,86
T ₄ R ₂	21,43	82,65	91,84
T ₄ R ₃	24,49	87,76	91,84

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción 8 días	Tratamiento	1337,827	3	445,942	5,441	*0,025
	Error Experimental	655,663	8	81,958		
	Total	1993,49	11			
Remoción 15 días	Tratamiento	291,81	3	97,27	2,571	0,127
	Error Experimental	302,655	8	37,832		
	Total	594,465	11			
Remoción 22 días	Tratamiento	5,809	3	1,936	1,595	0,265
	Error Experimental	9,71	8	1,214		
	Total	15,519	11			

*. Diferencias significas
Sig. Nivel de significación

Anexo 12. Porcentajes de remoción de nitrógeno del ensayo

MONITOREO NITROGENO (mg/L)					REMOCIÓN NITROGENO (%)			
T	0 días	8 días	15 días	22 días	TRATAMIENTOS	8 DÍAS	15 DÍAS	22 DÍAS
T ₁ R ₁	27,3	4,2	2,2	3,5	T ₁ R ₁	84,62	91,94	87,18
T ₁ R ₂	27,3	4,8	1,5	2,9	T ₁ R ₂	82,42	94,51	89,38
T ₁ R ₃	27,3	4,1	5,4	3,1	T ₁ R ₃	84,98	80,22	88,64
T ₂ R ₁	27,3	9,4	5,2	3,6	T ₂ R ₁	65,57	80,95	86,81
T ₂ R ₂	27,3	7,9	6,8	7,5	T ₂ R ₂	71,06	75,09	72,53
T ₂ R ₃	27,3	8,4	4,4	3,3	T ₂ R ₃	72,16	81,68	89,74
T ₃ R ₁	27,3	4,8	2,3	3,9	T ₃ R ₁	82,42	91,58	85,71
T ₃ R ₂	27,3	7,6	5	2,8	T ₃ R ₂	69,23	83,88	87,91
T ₃ R ₃	27,3	6	4,6	2,1	T ₃ R ₃	78,02	83,15	92,31
T ₄ R ₁	27,3	7,3	5,8	16,8	T ₄ R ₁	73,26	78,75	38,46
T ₄ R ₂	27,3	4,7	6,7	9,5	T ₄ R ₂	82,78	75,46	65,20
T ₄ R ₃	27,3	3,8	16,9	5,8	T ₄ R ₃	86,08	38,10	78,75

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Remoción 8 días	Tratamiento	347,353	3	115,784	4,462	0,04
	Error Experimental	207,591	8	25,949		
	Total	554,944	11			
Remoción 15 días	Tratamiento	1110,552	3	370,184	2,457	0,138
	Error Experimental	1205,457	8	150,682		
	Total	2316,009	11			
Remoción 22 días	Tratamiento	1568,248	3	522,749	4,039	0,051
	Error Experimental	1035,294	8	129,412		
	Total	2603,541	11			

*. Diferencias significas
Sig. Nivel de significación