



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA AGROPECUARIA DE MANABÍ
MANUEL FÉLIX LÓPEZ**

DIRECCIÓN DE CARRERA: MEDIO AMBIENTE

**INFORME DE TRABAJO DE TITULACIÓN
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MEDIO AMBIENTE**

MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TEMA:
INCIDENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MATERIA
ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES URBANAS**

AUTORAS:

CHÁVEZ QUILUMBA MORELIA ALEXANDRA

LOOR FUENTES ERIKA STEFANÍA

TUTOR:

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D.

CALCETA, DICIEMBRE 2019

DERECHOS DE AUTORÍA

MORELIA ALEXANDRA CHÁVEZ QUILUMBA y ERIKA STEFANÍA LOOR FUENTES, 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.

CHÁVEZ QUILUMBA MORELIA

LOOR FUENTES ERIKA

CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D., certifica haber tutelado el proyecto **INCIDENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES URBANAS A TRAVÉS DE BIOLECHOS**, que ha sido desarrollada por **MORELIA ALEXANDRA CHÁVEZ QUILUMBA** y **ERIKA STEFANÍA LOOR FUENTES**, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

ING. AGUSTÍN LEIVA PÉREZ, Ph.D.

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **INCIDENCIA DE LA VEGETACIÓN EN LA REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN AGUAS RESIDUALES URBANAS A TRAVÉS DE BIOLECHOS**, que ha sido propuesto, desarrollado por Morelia Alexandra Chávez Quilumba y Erika Stefanía Loor Fuentes, previa la obtención del título de Ingeniera en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE GRADO DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.

Ing. Verónica Vera Villamil, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Jonathan Chicaiza Intriago, Mg.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Blga. Fernanda Pincay Cantos M.Sc.

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento va a quienes me han orientado a lo largo de mi vida, a mis padres Dalila Quilumba y Manuel Chávez quienes con paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mí el ejemplo de esfuerzo y valentía.

A mis hermanos, Carlos, Julio y Francheska por apoyarme cuando más los necesite y no abandonarme en los momentos difíciles. Y a mi tío Neil Quilumba y demás familiares que de una u otra forma me han colaborado y apoyado incondicionalmente a lo largo de este camino universitario.

Les agradezco a mis amigos que estuvieron presentes en la realización de este trabajo, especialmente a Zuleyka Pionargote y Angelo Aguilera por estar presente en mis días coloridos, pero sobre todo en los grises.

A mi tutor de tesis, Dr. Agustín Leiva y miembros del tribunal de Tesis: Blga. María Fernanda Pincay, Ing. Verónica Vera Villamil, Ing. Jonathan Chicaiza Intriago, quienes con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitieron el desarrollo de este trabajo.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López que me dio la oportunidad de una educación superior de calidad y en la cual he forjado mis conocimientos profesionales día a día.

CHÁVEZ QUILUMBA MORELIA A.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por ser mi guía espiritual.

A la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López y profesores que me han inculcado buenos principios, enseñanzas y la primicia de estudiar en educación superior de calidad.

A mis padres, Mercedes Fuentes y Carlos Loo que son el motor fundamental de mi vida y gracias a ellos he podido alcanzar mis metas y descollar mis fracasos.

A mis hermanos (as), especialmente a Fernanda y Daniela ya que gracias a su ejemplo día a día he podido sobrellevar muchas situaciones presentes.

Al amor de mi vida José mi flaco, gracias a su apoyo y cariño hemos sobrepasado obstáculos.

LOOR FUENTES ERIKA S.

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico al pilar fundamental de mi vida, mi familia les agradezco por todo el esfuerzo, la paciencia, el apoyo y por darme las fuerzas necesarias para seguir adelante y lograr a mi objetivo. Gracias a su por su apoyo incondicional.

Pero sobre todo se lo dedico a mis ganas de superarme día a día, a la paciencia que he tenido, a las largas horas de trabajo, me lo dedico a mí misma porque me he demostrado que con esfuerzo y perseverancia se logra cualquier meta que nos planteamos en la vida.

CHÁVEZ QUILUMBA MORELIA A.

DEDICATORIA

Con la satisfacción y alegría de haber culminado una de mis metas les dedico este trabajo a mis padres Carlos Loor y Mercedes Fuentes porque me brindaron apoyo en todos los aspectos, comprensión y fuerzas y por ser la parte fundamental de mi vida.

A mi ángel Anita ya que fue el más grande ejemplo de ternura y amor.

LOOR FUENTES ERIKA S.

CONTENIDO GENERAL

| | |
|--|----------|
| Derechos de autoría..... | ii |
| Certificación de tutor | iii |
| Aprobación del tribunal | iv |
| Agradecimiento | v |
| Agradecimiento | vi |
| Dedicatoria..... | vii |
| Dedicatoria..... | viii |
| Contenido general..... | ix |
| Contenido de tablas, gráficos y figuras | xi |
| Tablas | xi |
| Gráficos | xii |
| Figuras..... | xii |
| Resumen | xiii |
| Palabras claves..... | xiii |
| Abstract..... | xiv |
| Key words | xiv |
| 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. Objetivo específicos | 3 |
| 1.4. Hipótesis | 3 |
| 1.4.1. Alternativa | 3 |
| 1.4.2. Nula..... | 3 |
| CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO | 4 |
| 2.1. Aguas residuales urbanas | 4 |
| 2.1.1. Características de las aguas residuales | 4 |
| 2.1.2. Tratamientos biológicos de las aguas residuales | 5 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.3. Remediación de aguas por fitorremediación | 6 |
| 2.1.4. Tipos de fitorremediación. | 7 |
| 2.2. Vegetación para remediación de aguas residuales | 8 |
| 2.2.1. Papiro (<i>Cyperus papyrus</i>)..... | 8 |
| 2.2.2. Pasto vetiver (<i>Chrysopogon zizanioides</i>)..... | 9 |
| 2.3. Biolechos | 9 |
| 2.3.1. Definición | 9 |
| 2.3.2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HFSS) | 10 |
| 2.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)..... | 11 |
| 2.5. Remoción de materia orgánica..... | 11 |
| 2.6. Turbidez..... | 11 |
| 2.7. Límite permisible de descarga a un cuerpo de agua dulce | 12 |
| CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO | 13 |
| 3.1. Ubicación | 13 |
| 3.2. Duración del trabajo | 13 |
| 3.3. Métodos y técnicas | 13 |
| 3.3.1. Métodos | 13 |
| 3.3.2. Técnicas..... | 14 |
| 3.4. Factores en estudio..... | 14 |
| 3.5. Diseño experimental | 14 |
| 3.6. Unidad experimental | 15 |
| 3.7. Datos a monitorear..... | 15 |
| 3.8. Variables a medir | 16 |
| 3.8.1. Variable independiente..... | 16 |
| 3.8.2. Variable dependiente | 16 |
| 3.9. Análisis estadístico..... | 16 |
| 3.10. Manejo del experimento | 16 |

| | |
|---|-----------|
| 3.10.1. Fase I. Caracterizar el agua residual de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta a partir de los análisis físicos y químicos..... | 16 |
| 3.10.2. Fase II. Determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en los diferentes tratamientos..... | 18 |
| CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 20 |
| 4.1. Fase I. Caracterización del agua residual de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta a partir de los análisis físicos y químicos..... | 20 |
| 4.1.1. Interpretación de los resultados del análisis inicial | 20 |
| 4.1.2. Diseño y distribución de las unidades experimentales a los tratamientos... | 21 |
| 4.2. Fase II. Determinación del porcentaje de remoción de materia orgánica en los diferentes tratamientos..... | 23 |
| 4.2.1. Variables analizadas estadísticamente | 23 |
| 4.2.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ | 23 |
| 4.2.1.2. Turbidez | 25 |
| 4.2.1.3. Porcentaje de remoción en las variables analizadas estadísticamente ... | 27 |
| 4.2.2. Variables complementarias | 27 |
| 4.2.2.1. Potencial de hidrógeno (pH)..... | 28 |
| 4.2.2.2. Temperatura..... | 29 |
| CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | 32 |
| 5.1. Conclusiones | 32 |
| 5.2. Recomendaciones | 32 |
| Bibliografía | 33 |
| Anexos..... | 41 |

CONTENIDO DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Factores y tratamientos de la investigación. | 12 |
| Tabla 3.1. Factores y tratamientos de la investigación. | 14 |

| | |
|--|----|
| Tabla 3.2. Descripción de las unidades experimentales..... | 15 |
| Tabla 3.3. Parámetros a monitorear en la investigación..... | 15 |
| Tabla 3.4. Análisis de varianza. | 16 |
| Tabla 3.5. Parámetros físicos y químicos..... | 17 |
| Tabla 4.1. Resultados de análisis físicos y químicos..... | 20 |
| Tabla 4.2. Especies vegetales utilizadas..... | 22 |
| Tabla 4.3. Distribución de los tratamientos..... | 23 |
| Tabla 4.4. Análisis de varianza de la DBO ₅ (mg/dm ³). | 23 |
| Tabla 4.5. Prueba de TUKEY de la variable DBO ₅ (Vegetación). | 23 |
| Tabla 4.6. Análisis de varianza de la Turbidez (NTU)..... | 25 |
| Tabla 4.7. Prueba de TUKEY de la variable turbidez (Vegetación). | 25 |
| Tabla 4.8. Resultados de pH..... | 28 |
| Tabla 4.9. Resultados de temperatura °C. | 29 |
| Tabla 4.10. Resultados de los parámetros medidos..... | 30 |

GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 4.1. Representación gráfica de los valores medios de DBO ₅ | 24 |
| Gráfico 4.2. Representación gráfica de los valores medios de turbidez. | 26 |
| Gráfico 4.3. Variación de la remoción porcentual de DBO ₅ y Turbidez según los tratamientos aplicados. | 27 |
| Gráfico 4.4. Representación gráfica de los valores de pH..... | 28 |
| Gráfico 4.5. Representación gráfica de los valores de temperatura. | 29 |

FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 3.1. Ubicación de la investigación. | 13 |
| Figura 4.1. Modelo del sistema de aireación para los biolechos..... | 21 |
| Figura 4.2. Modelo del sistema de aireación y las unidades experimentales para la aplicación de los tratamientos. | 22 |

RESUMEN

El presente estudio evaluó la incidencia de diferentes tipos de vegetación en la remoción de materia orgánica del efluente de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta del cantón Bolívar; para ello se utilizó un diseño experimental completamente al azar bifactorial los cuales fueron: tipo de vegetación y número de esquejes, con seis tratamientos y replicándose tres veces. Se utilizó un volumen de 20 litros de agua residual para cada unidad experimental obtenidos del efluente anteriormente mencionado. Cada siete días se monitoreó DBO₅, turbidez, pH y temperatura. Los valores iniciales fueron 450mg/dm³ de DBO₅, 83,05 NTU de turbidez, 7,8 de pH, 21,4°C, estos valores se compararon con los resultados obtenidos en la semana tres para poder determinar la eficiencia de los tratamientos. Se evidenció que el tratamiento T4 en el cual se utilizó pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) con 9 esquejes presentó mayor eficiencia de remoción en DBO₅ la cual fue 108,0mg/dm³ (89,85%) y 24,53 NTU (88,59%) en turbidez con medias de 7,1 pH y 22,7°C, mientras que el T1 en el que se aplicó papiro (*Cyperus papyrus*) con 9 esquejes presentó menor eficiencia de remoción en DBO₅ de 188,6mg/dm³ (79,11%) y 41,77 (64,57%) en turbidez con medias de 7,3 pH y 22,8°C. Finalmente, con el análisis de varianza se acepta la hipótesis indicando que con la utilización de cobertura vegetal como el pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se logra remociones de materia orgánica superiores al 52% en las aguas residuales urbanas de Calceta.

PALABRAS CLAVES

Fitorremediación, papiro (*Cyperus papyrus*), pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), esquejes.

ABSTRACT

The present study evaluated the incidence of different types of vegetation in the removal of organic matter from the effluent of the oxidation lagoon of Calceta city in Bolívar canton; for this, a completely randomized bifactorial experimental design was used, which were: type of vegetation and number of cuttings, with six treatments and replicated three times. A volume of 20 liters of wastewater was used for each experimental unit obtained from the aforementioned effluent BOD₅, turbidity, pH and temperature were monitored every seven days. The initial values were 450 mg/dm³ of BOD₅, 83.05 NTU turbidity, 7.8 pH, 21.4°C, these values were compared with the results obtained in week three to determine the efficiency of the treatments. It was evidenced that the T4 treatment in which vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) was used with 9 cuttings showed greater removal efficiency in BOD₅ which was 108.0 (89.85%) and 24.53 (88.59%) in turbidity with averages of 7.1 pH and 22.7°C, while the T1 in which papyrus (*Cyperus papyrus*) was applied with 9 cuttings showed lower removal efficiency in BOD₅ of 188.6 (79.11%) and 41, 77 (64.57%) in turbidity with averages of 7.3 pH and 22.8°C. Finally, with the analysis of variance, the hypothesis is accepted indicating that with the use of vegetation cover such as vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*) organic matter removals greater than 52% are achieved in the urban wastewater of Calceta.

KEY WORDS

Phytoremediation, papyrus (*Cyperus papyrus*), vetiver grass (*Chrysopogon zizanioides*), cuttings.

CAPÍTULO I. ANTECEDENTES

1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El agua es un recurso de importancia mundial por sus diferentes usos en las actividades antropogénicas, que ha traído como consecuencia un descontrol en el manejo de las aguas residuales que dejan en sus actividades (Díaz y Valdés, 2011) y son comúnmente descargadas en ríos, arroyos, lagos e incluso al mar sin un tratamiento adecuado (Morales, López, Vera y Vidal, 2013).

En la entrevista realizada por López (2015) a Alvarado, licenciada en Ciencias Ambientales de la Universidad Autónoma de Zacatecas, explica que “las aguas residuales contienen materia orgánica con alto contenido de nitrógeno, fósforo y otros elementos químicos”, según Díaz y Alvarado (2012) al no recibir un tratamiento adecuado, estos contaminantes se vuelven agentes de proliferación de patógenos, emanaciones de gases y otros.

En el ámbito nacional, Ecuador presenta una tasa significativa de crecimiento poblacional, aumentando el consumo de recursos naturales, la producción de desechos y generación de aguas residuales (Isch, 2011). Según La Hora (2016) en Ecuador solo se realiza el adecuado tratamiento al 12% de las aguas residuales.

En Manabí, la ciudad de Calceta cuenta con un sistema de depuración que consiste en lagunas de estabilización para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad (Alcívar, Velásquez y Pinargote, 2013) el cual presenta una operación deficiente, por lo que aumenta la probabilidad que la población de sus alrededores se expongan a malos olores, propagación de insectos (moscas y mosquitos) y enfermedades (Noles, 2016) Alcívar et al. (2013) añaden que sus descargas van al río Carrizal.

Dicho esto, se busca evaluar la incidencia de dos tipos de vegetación en la disminución de materia orgánica en las aguas residuales urbanas. Ante lo expuesto, se formula la siguiente interrogante:

¿Cómo incide la vegetación papiro (*Cyperus papyrus*) y pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de materia orgánica en las aguas residuales urbanas de la laguna de oxidación de Calceta?

1.2. JUSTIFICACIÓN

Al realizar esta investigación, se busca cumplir lo establecido en la Constitución de la República del Ecuador (2008) que en el Art. 14 indica: “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”. Y apoyándose en el Plan Nacional del Buen Vivir (2013) en su Objetivo tres, que hace referencia a “Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones”.

Además, se respalda sobre la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del agua (2014) que en el Art. 64 establece “La naturaleza o Pacha Mama tiene derecho a la conservación de las aguas con sus propiedades como soporte esencial para todas las formas de vida; y, la restauración y recuperación de los ecosistemas por efecto de los desequilibrios producidos por la contaminación de las aguas y la erosión de los suelos”.

Pech y Ocaña (2013) mencionan que, como respuesta de interés para la recuperación y manejo de aguas residuales se han desarrollado alternativas de bajo consumo eléctrico y sin la necesidad de equipos costosos, como son los sistemas naturales, humedales artificiales y lagunas de oxidación. Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade (2010) sostienen que las tecnologías naturales de depuración de aguas residuales como los biolechos también llamados humedales artificiales, son métodos menos costosos y satisfactorios en la eliminación de materia orgánica e incluso en elementos patógenos y nutrientes.

Con la aplicación de dichas alternativas se logran beneficios ambientales al relacionarse con procesos naturales capaces de disminuir los niveles de contaminación de las aguas residuales domésticas o industriales (Programa de Agua y Saneamiento Región América Latina y el Caribe [WSP], 2006).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la incidencia del papiro (*Cyperus papyrus*) y pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en la remoción de materia orgánica en aguas residuales urbanas.

1.3.2. OBJETIVO ESPECÍFICOS

- Caracterizar el agua residual de la laguna de oxidación de la ciudad de Calceta a partir de los análisis físicos y químicos.
- Determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en los diferentes tratamientos.

1.4. HIPÓTESIS

1.4.1. ALTERNATIVA

Al menos uno de los biolechos con cobertura vegetativa remueve más del 52% la materia orgánica de las aguas residuales urbanas de la laguna de oxidación de Calceta del cantón Bolívar.

1.4.2. NULA

Ninguno de los biolechos con cobertura vegetativa remueve más del 52% la materia orgánica en aguas residuales urbanas de la laguna de oxidación de Calceta del cantón Bolívar.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. AGUAS RESIDUALES URBANAS

Para el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) las aguas residuales son las que presentan alteraciones en sus características originales por causa de las actividades humanas y que requieren un tratamiento previo, antes de ser reutilizadas, vertidas a un cuerpo hídrico o descargadas al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales que no reciben tratamiento se convierten en focos de contaminación y enfermedades, no solo generando malos olores si no también la reproducción de vectores transmisores del dengue, según la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2017) “las enfermedades transmitidas por vectores representan más del 17% de todas las enfermedades infecciosas, y provocan cada año más de 700.000 defunciones. Más de 3900 millones de personas, en más de 128 países, corren el riesgo de contraer dengue, con una estimación de 96 millones de casos al año”.

Marín, Solís, López, Bautista, Romellón (2016) los contaminantes presentes en las aguas residuales no tratadas disminuyen el oxígeno disuelto medido como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y Demanda Química de Oxígeno (DQO), aumentan los Sólidos Suspendidos Totales (SST) y nutrientes de Nitrógeno Total (NT) y Fósforo Total (PT) provocando la eutrofización, es por esto la importancia de tratar las aguas residuales con el fin de evitar la contaminación de agua superficial e inclusive agua subterránea.

2.1.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Estas características intervienen en su capacidad para proteger tanto a la vida humana como a la vida vegetal y animal. Según Patiño y Zhinín (2015) mediante estos parámetros se puede detectar los problemas presentes en los procesos de tratamiento en una estación depuradora de aguas residuales. A continuación, se muestran las características del agua residual:

- **Físicas:** esta característica tiene directa influencia sobre las condiciones estéticas y de aceptabilidad del líquido, comprendidas por contenidos de sólidos

(solubles e insolubles) turbidez, color, pH, temperatura, olor y sabor (Muñoz, 2008).

- **Químicas:** generalmente compuesta por proteínas, carbohidratos, agentes tensoactivos, grasas animales, cloruros, pesticidas, fenoles, metales pesados, sales minerales, arcillas, lodos, arenas y gravas entre otros. Las aguas residuales domésticas están compuestas por gases en diferentes concentraciones entre ellos los que más destacan: Oxígeno disuelto, Ácido sulfhídrico, Anhídrido carbónico, Metano. (López, Méndez, García y Cervantes, 2017).
- **Biológicas:** hacen referencia a los principales microorganismos que se encuentran en las mismas. Estos microorganismos pueden ser clasificados como eucariotas, eubacterias y arqueobacterias (Bermúdez, 2016).

Para Rojas (2002) las aguas residuales están formadas por un 99.9% de agua y el restante por residuos sólidos:

Los residuos sólidos se forman por materia mineral y materia orgánica.

- Materia mineral resulta de los subproductos desechados de las actividades cotidianas y de la calidad de las aguas de abastecimiento.
- Materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

2.1.2. TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS DE LAS AGUAS RESIDUALES

Según Morató, Subirana, Gris, Carneiro y Pastor (2006) las tecnologías sostenibles para el tratamiento del agua emplean procedimientos naturales como la aplicación de plantas acuáticas como un tratamiento secundario o terciario alternativo de aguas residuales, por otro lado, Buenfil (s.f) resalta que se puede aprovechar la necesidad de nutrientes que tienen las plantas para su desarrollo y los microorganismos presentes en el suelo los cuales degradan la materia orgánica.

Celis, Junod y Sandoval (2005) argumentan que en estas tecnologías se reemplazan los aditivos químicos por la vegetación acuática, el suelo y microorganismos, donde el agua escurre bajo un lecho de piedras donde se plantan las especies acuáticas, y con esto se logra evitar la aparición de cualquier rastro de mal olor y la crianza de zancudos.

Para Narváez, Miranda y Narváez (2012) los humedales artificiales son tratamientos físico-biológico donde se controlan los procesos de filtración y fitorremediación que ocurren en la naturaleza, se aprovecha la auto-purificación del suelo combinando características de ecosistemas terrestres y acuáticos, según Martínez, Ramos y Rodríguez (2007) se recurre a la grava como soporte para fijar las plantas que filtran ciertos contaminantes orgánicos.

2.1.3. REMEDIACIÓN DE AGUAS POR FITORREMEDIACIÓN

Carpaena y Bernal (2007) definen como fitorremediación al uso de plantas verdes tanto como para eliminar los contaminantes del entorno y para reducir su peligrosidad, por otro lado, Agudelo, Macias y Suárez (2005) la definen como un proceso que utiliza plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar, estabilizar, concentrar y/o destruir contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelos, lodos y sedimentos.

Según Delgadillo, González, Prieto, Villagómez y Acevedo (2011) la fitorremediación presenta las siguientes ventajas:

- Tecnología sustentable.
- Eficiente en contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- De bajo costo de operación.
- No se requiere personal especializado para su manejo.
- Se puede realizar de manera *in situ* y *ex situ*.
- Actúa positivamente sobre el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas, debido a la formación de una cubierta vegetal.
- Tiene una alta probabilidad de ser aceptada por el público, ya que es estéticamente agradable.
- Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).

Mientras que Núñez, Vong, Borges y Olguín (2004) indican las siguientes desventajas:

- En especies como árboles o arbusto el proceso es relativamente lento.
- El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.

- En el caso de la fitovolatilización, los contaminantes acumulados en las hojas pueden ser liberados al ambiente nuevamente.
- Los contaminantes acumulados en maderas pueden liberarse por procesos de combustión.
- No todas las plantas son tolerantes o acumuladoras.
- En sistemas acuáticos puede favorecer la propagación de plagas.

2.1.4. TIPOS DE FITORREMEDIACIÓN.

Según López, Gallegos, Pérez y Gutiérrez (2005) la desintoxicación de contaminantes por fitorremediación se realiza recurriendo al menos uno de los siguientes métodos:

- **Fitoextracción:** en este método las raíces de las plantas funcionan como esponjas y absorben los contaminantes presentes en el medio donde son plantadas y finalmente se trasladan a otras partes de la planta, como las hojas, el tallo y las ramas, las flores o los frutos y es ideal para contaminantes inorgánicos como metales pesados.
- **Fitodegradación:** es la transformación de un contaminante, por medio de compuestos procedentes de las plantas. Comúnmente, el rompimiento de un contaminante orgánico, es facilitado por la actividad microbial en la zona radicular, y es llamado rizodegradación. Así mismo, las raíces pueden alterar las condiciones del suelo, al aumentar la entrada de aire y regular el contenido de humedad, así crear condiciones que favorecen la biodegradación de microorganismos nativos (Peña, Madera, Sánchez y Medina, 2018).
- **Fitoestabilización:** se emplean plantas que inmovilicen los contaminantes de manera química, ya sea directamente por las raíces o bien, mediante sustancias que excretan las raíces y que dificultan su solubilidad (Carrillo, Andrade, Hernández y Cobos, 2015).
- **Rizofiltración:** aprovecha las raíces de las plantas para descontaminar agua superficial, subterránea o efluentes líquidos contaminados con metales pesados, toxinas orgánicas, entre otros elementos (Guevara, De la Torre, Villegas y Crillo, 2009).
- **Fitoestimulación:** en esta estrategia se explota la capacidad de algunas plantas para acumular contaminantes en sus raíces, tallos o follaje, las cuales pueden

ser fácilmente cosechadas, se implementan para extraer metales de suelos contaminados, por medio de plantas conocidas como metalofitas, sin embargo, también pueden implementarse para tratar aguas residuales (Núñez, Vong, Borges y Olguín, 2004).

- **Fitotransformación:** se refiere a la transformación, degradación o metabolización del contaminante dentro del tejido vegetal o en la zona rizosférica por la acción de enzimas secretadas por la raíz (Brutti, Beltrán y García, 2018).

2.2. VEGETACIÓN PARA REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

2.2.1. PAPIRO (*Cyperus papyrus*)

Cyperus papyrus es de origen africano y asiático introducido en todo el mundo, particularmente en América, planta acuática o palustre, arraigante rizomatosa, perenne, monocotiledónea, cespitosa, de crecimiento rápido; presenta tallos en secciones más bien triangulares, erectos, entre 2-5 m de altura y de 6cm de grosor en la base, presentan un tejido esponjoso de grandes espacios intercelulares que facilitan la circulación del aire. Sus hojas son basales pequeñas de color verde jade, largas, delgadas, firmes, con espigas marrones, de 10 a 30cm de largo y sus hojas dispuestas en estrella (Patiño y Zhinín, 2015).

Según Orozco (2010) los papiros “tienen largos troncos granizos que llevan en el ápice una gran inflorescencia liviana y plumosa en abanico y, curiosamente, los nuevos brotes surgen siempre del mismo segmento. El papiro se multiplica principalmente a través de sus rizomas, de las que brotan nuevos troncos a intervalos regulares” (p.15).

- **EFICIENCIA DE LA PLANTA PAPIRO (*Cyperus papyrus*) EN AGUAS RESIDUALES**

Según Pérez, Alfaro y Sasa (2013) esta especie es apta para la aplicación en humedales artificiales por presentar características como tolerar temperaturas de 20 a 33°C y pH entre 6 y 8, tener la capacidad para soportar altos niveles de insolación y su adaptabilidad a suelos arenosos altamente húmedos, estas características le atribuyen un buen desempeño como macrófita enraizada, presentan buen crecimiento y resistencia a plagas.

Según Torres, Magno, Pineda y Cruz (2017) el papiro realiza la producción de oxígeno en su parte sumergida y por ende sus raíces o rizomas en el medio ayudan a la liberación de oxígeno, origina semillas que son trasladadas por el viento, se multiplica principalmente a través de sus rizomas, de las que brotan nuevos troncos intervalos regulares. Las partes sobre el agua atenúan la luz previniendo el crecimiento de algas.

2.2.2. PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*)

Chrysopogon zizanioides es una planta perenne de rápido crecimiento con un sistema de raíces extenso, denso y profundo y tallos fuertes, el pasto vetiver prefiere suelos profundos y arenosos, pero se adapta a todo tipo de suelos, incluso poco profundos, pedregosos o rocosos, crecen a temperaturas de 20–30°C, aunque tolera temperaturas aéreas de –15°C a +40°C. Por debajo de 10–15°C deja de crecer (Wildschut, 2013).

- **EFICIENCIA DEL PASTO VETIVER (*Chrysopogon zizanioides*) EN AGUAS RESIDUALES**

Según Santana y Santo (2016) la planta *Chrysopogon zizanioides* posee características esenciales para la protección del medio ambiente, además indican que al ser utilizados en humedales artificiales con el propósito de depurar aguas residuales urbanas y aguas residuales industriales que presentan elevada carga orgánica, el pasto vetiver presenta elevados rendimientos por encima del 90% en DBO₅, DQO y SST.

Otras características del vetiver es que son muy eficientes en la absorción de N, P, Hg, Cd y Pb en agua y tolera un muy amplio rango de pH del suelo (pH desde 3.0 hasta 11.0) muy resistente a la salinidad, al sodio y al magnesio, a la sequía y a la falta de fertilidad una vez establecido gracias a su fuerte y profundo sistema radicular, y a su asociación con microorganismos del suelo que lo ayudan a obtener nutrientes en suelos fértiles (Truong, Tan Van y Pinnars, 2009).

2.3. BIOLECHOS

2.3.1. DEFINICIÓN

Los sistemas de biopurificación o biolechos son sistemas sencillos hechos a base de suelo y materiales biológicos, son construcciones simples y económicas, donde

procesos fisicoquímicos y biológicos cumplen reteniendo, degradando y reduciendo el potencial de contaminación de las aguas superficiales y subterránea, estas excavaciones son impermeabilizadas y rellenas de una capa de grava o arcilla, una matriz biológicamente activa y una capa cubierta vegetal (Siligoy, 2017).

Es decir que el tratamiento se enfoca en la remoción de la materia orgánica contenida en forma natural en el agua y en la degradación de una gran diversidad de compuestos químicos, orgánicos, inorgánicos mediante el uso de plantas.

2.3.2. HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL (HFSS)

Según Narváez, et al. (2012) los humedales artificiales (HA) son tratamientos físico-biológico donde se controlan los procesos de filtración y fitorremediación que ocurren en la naturaleza aprovechando la auto-purificación del suelo combinando características de ecosistemas terrestres y acuáticos, Romero (2002) señala que se han utilizado para el tratamiento de aguas residuales municipales estos pueden ser de superficie libre de agua (espejo de agua) o de flujo subsuperficial (sin espejo de agua).

Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009) señalan que los elementos de un HA son las plantas, el sustrato y la población microbiana mientras que Martínez et al. (2007) indican que se recurre a la grava como medio de soporte para fijar las plantas que filtran ciertos contaminantes orgánicos. Por otro lado, Wildschut (2013) sugiere que se aprovechan especies vegetales acuáticas o adaptadas a estar inundadas, además señala que sus raíces aportan oxígeno a la masa microbiana, actúan como medio filtrante, la cual retiene los sólidos en suspensión. A su vez, ofrecen una superficie sobre la cual la población microbiana (bacterias y hongos) puede desarrollarse y ejercer su función depuradora.

Para Pérez (2009) en este tipo de humedal el agua residual es tratada a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso, Marín y Correa (2010) señalan que comúnmente son de grava gruesa y arena con grosor de 0,45 a 1mm y con pendiente de 0 a 1%, mientras que Morales et al. (2013) recomiendan una profundidad entre 0,5 y 0,8 m para el medio granular.

Según Estrada (2010) los humedales artificiales de flujo subsuperficial (HFSS) presentan poca profundidad con grava para permitir un flujo subterráneo a largo

plazo sin obstrucciones, permitiendo además que las raíces y tubérculos de las plantas crezcan en los espacios porosos de la grava, este autor indica que este tipo de humedal puede considerarse como un reactor biológico tipo “proceso biopelícula sumergida”.

2.4. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO (DBO₅)

Según Cascaret, Pérez, Marañón y Bajo (2009) se usa la DBO₅ para medir el contenido de materia orgánica en aguas tanto naturales como residuales, además, es una medida de control de la calidad del agua. Es la cantidad de oxígeno requerido por los microorganismos para estabilizar el material orgánico biodegradable presente, ocurre en condiciones aerobias. Ofrece una medida de la fortaleza de los contaminantes, en términos del oxígeno que necesitan en caso de ser descargados dentro del curso de aguas receptoras, en las cuales existen condiciones aerobias (Mayarí, Espinosa y Gutiérrez, 2005).

2.5. TURBIDEZ

Para González (2011) es una medida de la claridad de una muestra, que se refiere a la concentración de partículas en suspensión no disueltas presentes en un líquido, cuantos más sólidos en suspensión hay en el agua, más sucia parece y el valor de turbidez es más alto estas partículas se clasifican como sólidos suspendidos: son residuos de materia orgánica y también son de origen inorgánico (partículas de arcillas, silicatos, feldespatos, etc.) y su unidad de medida es “Unidades de turbidez nefelométrica” o “NTU” (Martínez, 2006).

2.6. REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA

Según Romero et al. (2009) la remoción se la comprende como la capacidad que presenta un sistema para la eliminación de la concentración de los contaminantes que contiene una muestra de agua residual, expresada en la ecuación 2.1 que se observa a continuación:

$$\% \text{ Remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} * 100 \quad [2.1]$$

Donde:

C_i : Concentración inicial DBO_5

C_f : Concentración final DBO_5

Este mismo autor destaca que uno de los principales objetivos de los tratamientos de aguas residuales es la remoción de materia orgánica utilizando el mecanismo de metabolismo bacteriano, el cual consiste en la utilización de la materia orgánica como fuente de energía y carbono por las bacterias.

2.7. LÍMITE PERMISIBLE DE DESCARGA A UN CUERPO DE AGUA DULCE

Toda descarga de agua residual realizadas a un cuerpo de agua dulce debe cumplir los límites establecidos por el TULSMA (2013), detallados en la tabla 2.1.

Tabla 2.1. Factores y tratamientos de la investigación.

| Parámetros | Unidades | Límite máximo permisible | Norma |
|---|--------------------|--------------------------|--|
| Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO_5) | mg/dm ³ | 100 | Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor |
| Turbidez | NTU | >5 | |
| pH | | 07-8 | |
| Temperatura | °C | 20-30 | |

Fuentes: TULSMA (2013).

CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

3.1. UBICACIÓN

El presente trabajo se lo realizó en el sitio “Bella Vista” a 300 metros del cantón Junín de la provincia de Manabí, la ubicación geográfica de este sitio son las coordenadas $0^{\circ}55'40''$ de latitud sur y $80^{\circ}12'21''$ longitud oeste, en el hemisferio sur.



Figura 3.1. Ubicación de la investigación.

Fuente: Google Maps.

3.2. DURACIÓN DEL TRABAJO

Se requirió de 12 meses de elaboración desarrollados en dos periodos que fueron determinados por la distribución de actividades que competían en el desarrollo de la misma.

3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

3.3.1. MÉTODOS

- **Estadístico:** Obteniendo los análisis de los datos experimentales de las variables de investigación se realizó la organización de datos, se utilizó estadística descriptiva para la recolección, organización, tabulación, presentación y reducción de la información y la estadística inferencial por el análisis de varianza.
- **Analítico:** Para el desarrollo de las respuestas se realizó un análisis estadístico de los resultados obtenidos a partir del desarrollo del diseño experimental se

identificó las relaciones entre variables para luego hacer uso de los datos obtenidos.

- **Bibliográfico:** Se recopiló información bibliográfica para el sustento de resultados y procesos que se realizaron en la investigación. Estas incluyen fuentes confiables como páginas web, tesis, artículos científicos, libros y conferencias que contenían información sobre lo requerido en el proyecto.

3.3.2. TÉCNICAS

Muestreo de aguas residuales urbanas: El muestreo se lo realizó con la recolección del agua residual traída de la laguna de oxidación de Calceta, se recolectó un volumen de 1000ml en frascos PVC para la ejecución de los análisis DBO₅, 50ml para los análisis físicos de pH y turbiedad de las muestras utilizando las recomendaciones bibliográficas para lo cual se analizaron las variables de interés.

3.4. FACTORES EN ESTUDIO

- **Tipo de vegetación.**
 - V1= Papiro (*Cyperus papyrus*).
 - V2= Pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*).
- **Número de esquejes.**
 - E1 = 9 esqueje.
 - E2 = 14 esquejes.
 - E3 = 19 esquejes.

Tabla 3.1. Factores y tratamientos de la investigación.

| Nº | Código | Tipo de vegetación | Número de esquejes | Material de relleno | Volumen de agua |
|----|--------|--------------------|--------------------|------------------------------|-----------------|
| T1 | V1E1 | Papiro | 9 | | |
| T2 | V1E2 | Papiro | 14 | | |
| T3 | V1E3 | Papiro | 19 | | |
| T4 | V2E1 | Pasto vetiver | 9 | Piedra (15cm) y arena (10cm) | 20 litros |
| T5 | V2E2 | Pasto vetiver | 14 | | |
| T6 | V2E3 | Pasto vetiver | 19 | | |

Fuente: Autoras.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Se realizó un diseño completamente al azar (DCA), bifactorial el cual permitió manipular y controlar las variables en estudio para obtener resultados medibles en

un factor de respuesta, este diseño consta de seis tratamientos con tres repeticiones, obteniendo un total dieciocho unidades experimentales.

Tabla 3.2. Descripción de las unidades experimentales.

| Unidades experimentales | Código | Tipo de vegetación | Número de esquejes | Material de relleno | Volumen de agua |
|-------------------------------|--------|--------------------|--------------------|------------------------------------|-----------------|
| T ₁ R ₁ | V1E1 | Papiro | 9 | Piedra (15cm) y arena (10cm) | 20 litros |
| T ₁ R ₂ | | Papiro | 9 | | |
| T ₁ R ₃ | | Papiro | 9 | | |
| T ₂ R ₁ | V1E2 | Papiro | 14 | | |
| T ₂ R ₂ | | Papiro | 14 | | |
| T ₂ R ₃ | | Papiro | 14 | | |
| T ₃ R ₁ | V1E3 | Papiro | 19 | | |
| T ₃ R ₂ | | Papiro | 19 | | |
| T ₃ R ₃ | | Papiro | 19 | | |
| T ₄ R ₁ | V2E1 | Pasto vetiver | 9 | | |
| T ₄ R ₂ | | Pasto vetiver | 9 | | |
| T ₄ R ₃ | | Pasto vetiver | 9 | | |
| T ₅ R ₁ | V2E2 | Pasto vetiver | 14 | | |
| T ₅ R ₂ | | Pasto vetiver | 14 | | |
| T ₅ R ₃ | | Pasto vetiver | 14 | | |
| T ₆ R ₁ | V2E3 | Pasto vetiver | 19 | | |
| T ₆ R ₂ | | Pasto vetiver | 19 | | |
| T ₆ R ₃ | | Pasto vetiver | 19 | | |

Fuente: Autoras.

3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

De acuerdo a las características de la unidad experimental, las coberturas vegetales fueron: papiro (*Cyperus papyrus*) y pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) utilizando 9, 14 y 19 cantidades de esquejes para los tratamientos, se replicó tres veces cada tratamiento, en un período de 21 días, tomando muestras cada 7 días para pH y temperatura. Las tinas tienen un diámetro de 60cm por 30cm de altura los cuales se dividieron en 15cm de grava 10cm de arena y 5cm para la vegetación empleada.

3.7. DATOS A MONITOREAR

Los parámetros tanto de pH y temperatura fueron considerados como parámetros de control por lo que a estos no se les aplicó el análisis de varianza.

Tabla 3.3. Parámetros a monitorear en la investigación.

| Parámetros | Unidades |
|------------------------|--------------------|
| DBO ₅ | mg/dm ³ |
| Turbidez | FAU |
| Potencial de hidrógeno | Unidades de pH |
| Temperatura | °C |

Fuente: Autoras.

3.8. VARIABLES A MEDIR

3.8.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tipo de vegetación y número de esquejes.

3.8.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Remoción de materia orgánica.

3.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos adquiridos en la realización del experimento se efectuaron por medición directa en los muestreos, con cada uno de sus respectivos instrumentos, consecutivamente en el Microsoft Excel se recopilaron los datos obtenidos y luego ser trasladados al programa IBM SPSS Statistics donde se realizó el ANOVA (Análisis de Varianza) y la prueba de Tukey al 5% probabilidades de error, para determinar diferencias significancias entre las medias de los tratamientos de las variables: DBO₅, turbidez, pH y temperatura, además se utilizó en paquete de Microsoft Excel para obtener los gráficos de las variables y de la remoción porcentual a través de gráficos de dispersión.

Tabla 3.4. Análisis de varianza.

| Fuentes de variación | GI |
|-----------------------|----|
| Esquejes | 2 |
| Vegetación | 1 |
| Vegetación * esquejes | 2 |
| Error | 12 |
| Total corregida | 17 |

Fuente: Autoras.

3.10. MANEJO DEL EXPERIMENTO

3.10.1. FASE I. CARACTERIZAR EL AGUA RESIDUAL DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE CALCETA A PARTIR DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

Actividad 1.2. Extraer la muestra inicial

Para el proceso de recolección de muestra se utilizó el procedimiento establecido por la norma ecuatoriana NTE INEN 2176:2013 y 2169:2013, se recolectó una muestra del efluente de la laguna de oxidación (1000ml), a la que se le realizó los

análisis físicos: temperatura y turbidez, químico: pH, y biológico: DBO₅ en el Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspecciones LABCESTA S.A.

Tabla 3.5. Parámetros físicos y químicos.

| Variable | Método utilizado | Unidad | Resultado | Límite máximo permisible | Norma |
|------------------|---|--------------------|-----------|--------------------------|--|
| DBO ₅ | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | mg/dm ³ | | 100 | Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor TULSMA |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada | NTU | | < 5 | |
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | | | 7-8 | |
| Temperatura | | °C | | 20-30 | |

Fuente: Autoras.

Una vez obtenidos los resultados se los comparó con los límites permisibles establecidos en el libro VI anexo 1 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULSMA, 2013).

Actividad 1.2. Diseñar el modelo de los biolechos

Se ilustró gráficamente el diseño de los biolechos mediante el software AutoCAD considerando las medidas de los equipos a utilizar y la distribución de los tratamientos.

Actividad 1.3. Obtener los materiales necesarios

Se utilizó cobertura vegetal rica en fibra celulósica considerando la metodología aplicada por Universidad Nacional del Litoral [UNL] (2019), quien utiliza camas biológicas que son diseñadas basándose en la biomezcla que tiende a variar conforme la zona en la que se realiza, utilizando materiales propios del medio.

Basado en el diseño, se obtuvieron los materiales necesarios como son las especies vegetales, el papiro (*Cyperus papyrus*) se obtuvo en Portoviejo donde se compró 150 tallos que fueron cortados desde la base e introducidas en recipientes con agua por un mes para la obtención de los brotes. En el caso del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) se compraron dos bultos para obtener los brotes, para ello se procedió a cortar las hojas y tallos hasta 20cm, dividiéndolo en tres partes para el manejo del mismo, retirando las hojas secas y podridas, además de cortar las raíces hasta 5cm de la base, lavando con agua limpia para retirar los residuos

del suelo, los brotes conseguidos se sumergieron en recipientes de cinco centímetros de agua por cuatro días siguiendo la técnica de Alegre (2007) y se seleccionaron los de mejor crecimiento para la utilización en los procesos de purificación.

Actividad 1.4. Construir los biolechos

Se construyeron los biolechos basados en el diseño experimental establecido para el progresivo análisis. En los recipientes destinados para el desarrollo, se colocaron grava y arena que fueron lavadas hasta quedar limpias, colocándolas a una profundidad de 25cm, correspondiendo 15cm de grava que según Beltrano y Gimenez (2015) poseen una buena estabilidad estructural, baja capacidad de retención de agua y elevada porosidad y 10cm de arena que posee una buena capacidad de retención de agua y que su capacidad de aireación disminuye en función del tiempo por la compactación. Se le colocó un sistema de aireación a través de las unidades experimentales, construidos con tubos PVC de 2,5 pulgadas (3cm) y en la parte inferior de cada tina se le instaló una llave de agua que tuvo la función de efluente para la toma de muestras.

Actividad 1.5. Distribución de las unidades experimentales a los tratamientos

Para el desarrollo de las unidades experimentales una vez colocada la estructura de las tinas (proporciones de grava y arena), se realizó las siembras conforme las unidades experimentales previamente establecidas en la tabla 3.2. que consisten en la distribución de las plantas vetiver y papiro en cada una de las tinas. Fueron necesarios 430 litros de agua tomados del efluente de las lagunas de oxidación de la ciudad de Calceta, para luego distribuirla en 20 litros en cada unidad experimental.

3.10.2. FASE II. DETERMINAR EL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

Actividad 2.1 Toma de muestra a los tratamientos aplicados

Se tomaron muestras de los efluentes en cada tratamiento durante tres semanas, para lo cual se realizó una toma de todas las réplicas, realizando una homogenización, fueron necesarios 1000ml para la realización de los análisis DBO₅,

50ml para los análisis físicos de pH y turbiedad, los cuales se enviaron al laboratorio. La temperatura se la obtuvo en el momento de la toma de la muestra.

Actividad 2.2. Realizar el análisis estadístico

Se utilizó el programa estadístico SPSS, para la obtención de la significancia entre los niveles de los factores utilizados, que permitió identificar el factor más influyente y seguidamente a través de la prueba de Tukey se identificó la magnitud de la diferencia entre las medias obtenidas.

Actividad 2.3. Obtener los porcentajes de remoción de materia orgánica

Se realizó el análisis de los datos resultantes antes y después de la aplicación de los tratamientos, utilizando para ello la ecuación [2:1].

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. FASE I. CARACTERIZACIÓN DEL AGUA RESIDUAL DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA CIUDAD DE CALCETA A PARTIR DE LOS ANÁLISIS FÍSICOS Y QUÍMICOS

4.1.1. INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS DEL ANÁLISIS INICIAL

Como punto de partida se realizó un análisis de las aguas residuales que salen de la laguna de oxidación directa al cauce del río Carrizal, dichos resultados que fueron obtenidos por el Laboratorio de Análisis Ambiental e Inspecciones LABCESTA S.A. detallados en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultados de análisis físicos y químicos.

| Variable | Método | Unidad | Resultado | Límite máximo permisible | Norma |
|------------------|--|--------------------|-----------|--------------------------|--|
| DBO ₅ | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | mg/dm ³ | 450 | 100,00 | Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor TULSMA |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada | NTU | 83,05 | < 5 | |
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | | 7,8 | 7-8 | |
| Temperatura | | °C | 21,66 | 20-30 | |

Fuente: Autoras.

Se pudo observar que los niveles de pH (7,8) y temperatura (21,66), se encuentran dentro de los rangos que la Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor establece como adecuada.

Al analizar la variable de DBO₅ esta presenta una descarga con 450mg/dm³ valor que sobrepasa los límites establecidos como permisibles, revelando contaminación por materia orgánica, el Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado, (2009) indica que un cuerpo de agua presenta mayor inestabilidad cuando presenta mayor cantidad de materia orgánica ya que disminuye el oxígeno, la vida acuática y el uso del agua.

La turbidez presente en el agua es de 83,05 NTU (Unidades Nefelométrica de Turbidez) superando al 5 NTU que es el valor máximo aceptado, para Gonzáles (2011) los altos niveles de turbidez generan un aumento en la temperatura del agua

debido a la presencia de partículas de suspensión debido a que propagan y retienen el calor.

En base a, los resultados obtenidos este proyecto se enfoca en comprobar una alternativa que logre disminuir dichos valores y así cumplir con lo establecido en la Norma técnica para el control de descargas líquidas.

4.1.2. DISEÑO Y DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES A LOS TRATAMIENTOS

Luego se realizó un diseño basado en el lecho de turbas que menciona Torregrasa (2007) el mismo que consistió en un proceso de filtración de agua residual que pasa por una capa turba que se encuentra asentada en un sistema de drenaje con materiales granulares como gravilla y garbancillo.

En la figura 4.1, muestra un sistema de aireación que es indispensable para la eliminación de microorganismos, estimulación de la degradación de materia orgánica y crecimiento de bacterias (Fernández, 2001).

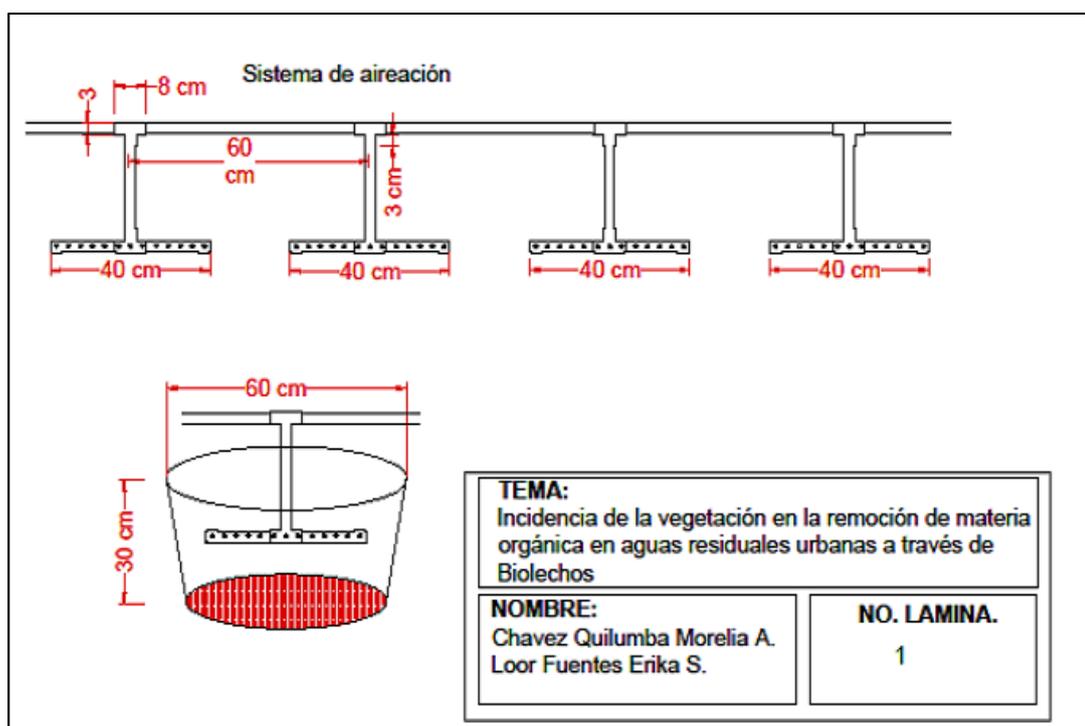


Figura 4.1. Modelo del sistema de aireación para los biolechos.

Fuente: Autoras.

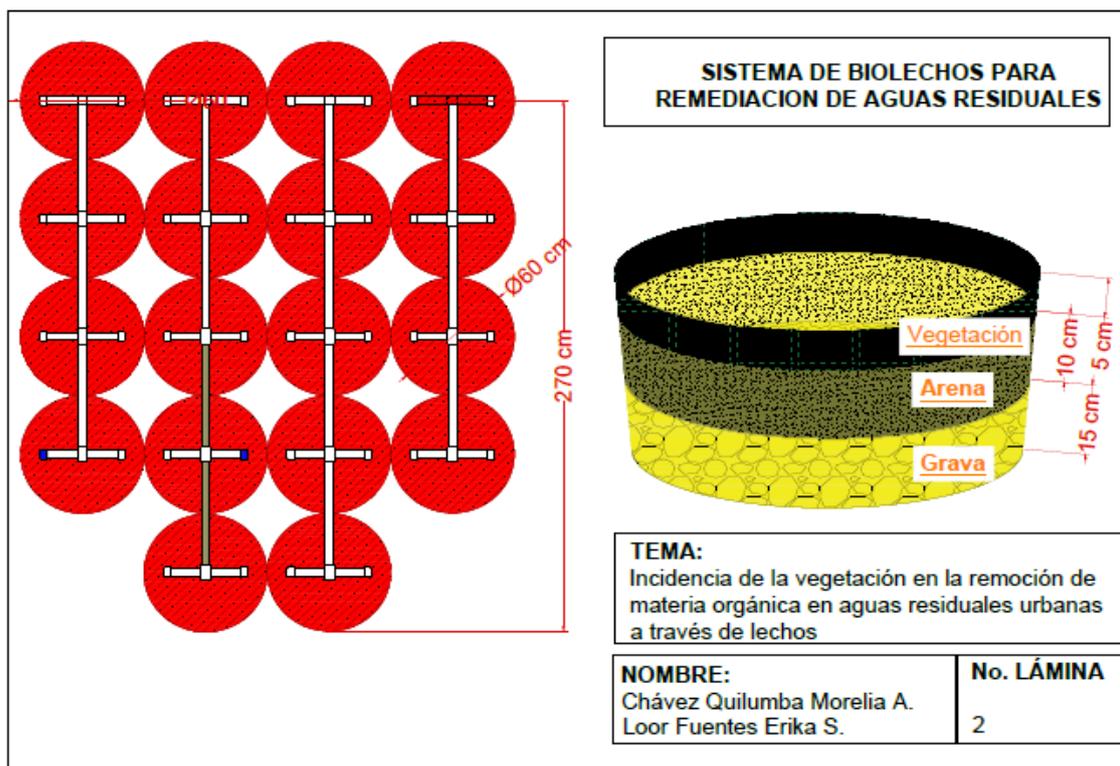


Figura 4.2. Modelo del sistema de aireación y las unidades experimentales para la aplicación de los tratamientos.
Fuente: Autoras.

Se utilizó *Cyperus Papyrus*, especies con eficacia para la aplicación en humedales (Pérez, Alfaro y Sasa, 2013), que fueron seleccionadas conforme Fernández (2001) quien explica que depende únicamente de la adaptabilidad de las especies a la zona local donde se realizó la investigación, la capacidad de transportar oxígeno, la tolerancia de concentraciones elevadas a contaminante y su facilidad de manejo.

Luego de la limpieza de los esquejes obtenidos en el mercado se procedió a la reproducción de los mismos logrando obtener 200 nuevos esquejes de papiro y 150 de pasto vetiver, de los cuales se escogieron los 126 esquejes necesarios, como se detallan en la tabla 4.2.

Tabla 4.2. Especies vegetales utilizadas.

| Especies | Esquejes iniciales | Nuevos esquejes | Total de esquejes utilizados |
|---------------|--------------------|-----------------|------------------------------|
| Papiro | 150 | 200 | 126 |
| Pasto vetiver | 170 | 150 | 126 |

Fuente: Autoras.

Luego la obtención de los esquejes se sorteó la ubicación de las unidades experimentales la cual se encuentra detallada en la tabla 4.3.

Tabla 4.3. Distribución de los tratamientos.

| Tratamientos y repeticiones | | | |
|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| T ₁ R ₁ | T ₃ R ₁ | T ₄ R ₂ | T ₁ R ₃ |
| T ₄ R ₁ | T ₂ R ₁ | T ₅ R ₁ | T ₅ R ₂ |
| T ₁ R ₂ | T ₅ R ₃ | T ₆ R ₁ | T ₆ R ₃ |
| T ₄ R ₃ | T ₃ R ₂ | T ₂ R ₂ | T ₃ R ₃ |
| | T ₂ R ₃ | T ₆ R ₂ | |

Fuente: Autoras.

4.2. FASE II. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA EN LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS

4.2.1. VARIABLES ANALIZADAS ESTADÍSTICAMENTE

4.2.1.1. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO DBO₅

Con los resultados de la investigación se realizó un análisis estadístico con el programa SPSS como se detalla en la tabla 4.4:

Tabla 4.4. Análisis de varianza de la DBO₅ (mg/dm³).

| Fuentes de variación | Suma de cuadrados tipo III | gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------------|----------------------------|----|------------------|--------|-------|
| Esquejes | 38,706 | 2 | 19,353 | 0,036 | 0,965 |
| Vegetación | 9384,043 | 1 | 9384,043 | 17,550 | 0,001 |
| Vegetación * esquejes | 828,145 | 2 | 414,073 | 0,774 | 0,483 |
| Error | 6416,385 | 12 | 534,699 | | |
| Total corregida | 16667,280 | 17 | | | |

Fuente: SPSS, (2019).

Al considerar la interacción entre los factores esquejes y vegetación se identifica que no existe variación entre sus medias, es decir, los tratamientos no muestra diferencia significativa, pero al suponer uno de los factores (Tipo de vegetación), muestra que existe diferencia significativa mencionando una significancia de 0,001 resultados que de acuerdo a Árias y Brix, (2003) es posible por la eliminación de materia orgánica, donde actúa la actividad biológica e intervención de bacterias que se encuentran adheridas a las plantas lo cual permiten la reducción a través de la conversión biológica.

Tabla 4.5. Prueba de TUKEY de la variable DBO₅ (Vegetación).

| Vegetación | DBO ₅ (mg/dm ³) | | | |
|--------------------|--|-------|---|---|
| | Medias | Error | N | |
| Papiro (V1) | 157,37 | 7,7 | 9 | A |
| Pasto vetiver (V2) | 111,7 | 7,7 | 9 | B |

Fuente: SPSS, (2019).

A partir del análisis de ANOVA, se realizó la comparación de las medias mediante la prueba de Tukey, que permitió identificar que las medias entre las vegetaciones

utilizadas son diferentes, es decir, que no se solapan entre sí y por tanto forman dos grupos, lo cual significa que, al comparar las vegetaciones utilizadas, se encuentra al pasto vetiver con medias más bajas de DBO₅ indicando que disminuyó más la carga orgánica en comparación al papiro. Situación que no se presenció en el factor número de esquejes, que al contrario mostró medias similares entre 132,49 y 135,88mg/dm³. Es decir que no muestra un mejor resultado cuando se varía dicho factor.

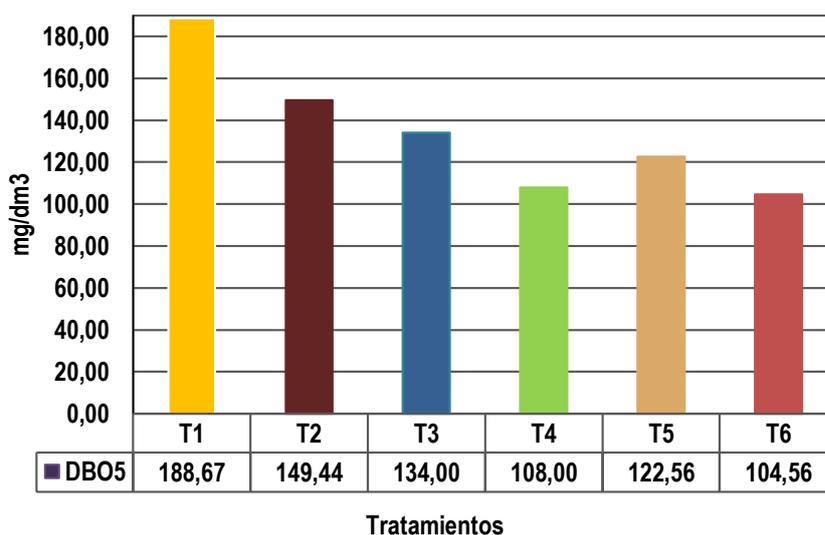


Gráfico 4.1. Representación gráfica de los valores medios de DBO₅.
Fuente: Autoras.

El gráfico 4.1. visualiza una tendencia descendente en la remoción de DBO₅, en todos sus tratamientos, siendo el tiempo de exposición en el humedal artificial el mayor incidente en los resultados, identificando que en la utilización de vegetación (V1,V2) en los tratamientos T1,T2,T3... y T6, destaca el uso de pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) cuando presenta mayor cantidad de esquejes (T6), a pesar que de acuerdo a Guerra, Vargas, Aguirre, y Huaranga (2018) el papiro (*Cyperus papyrus*) en estudios realizados presenta altos niveles de disminución de DBO₅.

Los valores resultantes de V2 pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) Rojas, (2018) menciona que posee características óptimas para ser utilizadas en la remediación, debido a su tolerancia a niveles elevados y tóxicos de un contaminante, capaces de absorber nutrientes presentes en el agua.

4.2.1.2. TURBIDEZ

A continuación, en la tabla 4.6. se muestra el análisis de varianza de la turbidez

Tabla 4.6. Análisis de varianza de la Turbidez (NTU).

| Fuentes de variación | Suma de cuadrados tipo III | Gl | Media cuadrática | F | Sig. |
|-----------------------|----------------------------|----|------------------|--------|----------|
| Esquejes | 13,421 | 2 | 6,710 | 0,441 | 0,654 |
| Vegetación | 871,949 | 1 | 871,949 | 57,250 | 6,62E-06 |
| Vegetación * esquejes | 7,065 | 2 | 3,533 | 0,232 | 0,796 |
| Error | 182,765 | 12 | 15,230 | | |
| Total corregida | 1075,199 | 17 | | | |

Fuente: SPSS, (2019).

La tabla 4.6 muestra que no hay diferencia significativa entre la interacción de las variables que posee una significancia de 0,796; indicando que no se presencia un tratamiento específico que sea más eficiente, pero si es incidente el tipo de vegetación aplicado, factor que mostró una significancia de 6,62E-06 que siendo menor a 0,05; indica que posee diferencia entre las medias de los niveles establecidos para dicho factor (papiro y pasto vetiver).

Analizando las medias obtenidas, se pudo confirmar lo presenciado por el análisis de varianza, identificando al pasto vetiver (V2), como el nivel más eficiente para la disminución de la turbidez en el agua residual urbana de la ciudad de Calceta, es decir que dichos tratamientos con el factor (V2), se destacaron en todas sus repeticiones de aquellos que emplearon el factor (V1).

Tabla 4.7. Prueba de TUKEY de la variable turbidez (Vegetación).

| Vegetación | Turbidez (NTU) | | |
|--------------------|----------------|---|-------|
| | Medias | N | Error |
| Papiro (V1) | 36,44 | 9 | 1,30 |
| Pasto vetiver (V2) | 22,51 | 9 | 1,30 |

Fuente: SPSS, (2019).

Con la prueba de Tukey de los factores utilizados en la variable de turbidez, se presentan medias de 22,51 y 36,44 en los tipos de vegetación utilizada, indicando que hay una variación significativa entre dichos promedios, diciendo que es más influyente el uso de pasto vetiver (V2).

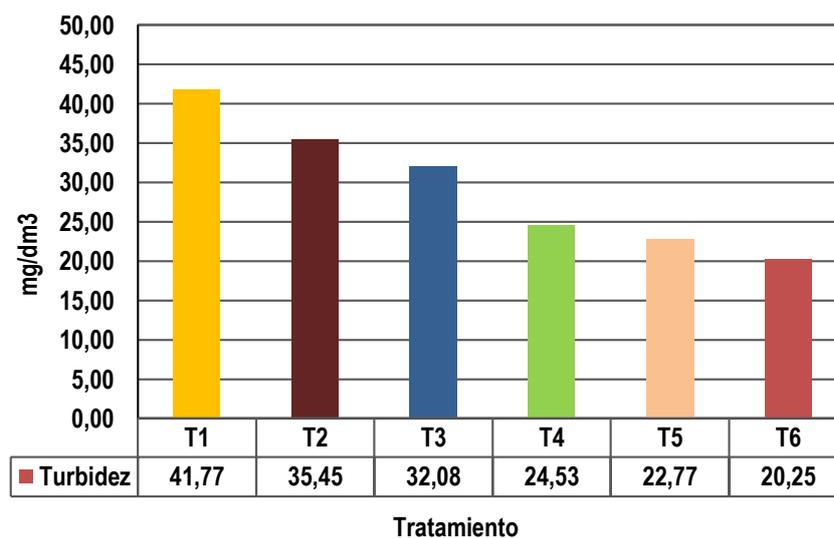


Gráfico 4.2. Representación gráfica de los valores medios de turbidez.

Fuente: Autoras.

En el gráfico 4.2. se presentan las medias de los tratamientos aplicados para la disminución de los niveles de turbidez donde se visualiza la disminución de sus valores en los tratamientos T4, T5 y T6 que corresponden a aquellas combinaciones que presentan el factor V2 (pasto vetiver).

Dichos resultados se pueden definir por los procesos naturales que realiza la flora en los humedales artificiales subsuperficial (Gómez, 2017), como es la absorción de sustancias del suelo, al tiempo que da sostenibilidad al suelo y disminuye la turbulencia de las corrientes que puedan pasar por el mismo (Shaxson y Barber, 2005). Además de acuerdo a Guerra, Vargas, Aguirre, y Huaranga (2018) la vegetación permite la sedimentación de las partículas en suspensión y por ende aumentando la transparencia del agua.

En los resultados de las semanas últimas, las medias de los tratamientos se mostraron más bajas en relación a las medias de la primera semana de muestreo, situación que se le atribuye a la densidad de las raíces y rizomas enterradas en el medio filtrante, es decir que entre mayor tiempo posee el humedal artificial, la red de raíces es mayor y con más profundidad, teniendo un efecto más eficiente en la disminución de las partículas que se encuentran en suspensión (Delgadillo et al., 2010).

4.2.1.3. PORCENTAJE DE REMOCIÓN EN LAS VARIABLES ANALIZADAS ESTADÍSTICAMENTE

En el gráfico 4.3. se muestra los porcentajes de las remociones de DBO₅ y turbidez, considerando los resultados iniciales y finales de la investigación los cuales son posibles apreciarlos mediante la aplicación de fórmula 2.2.

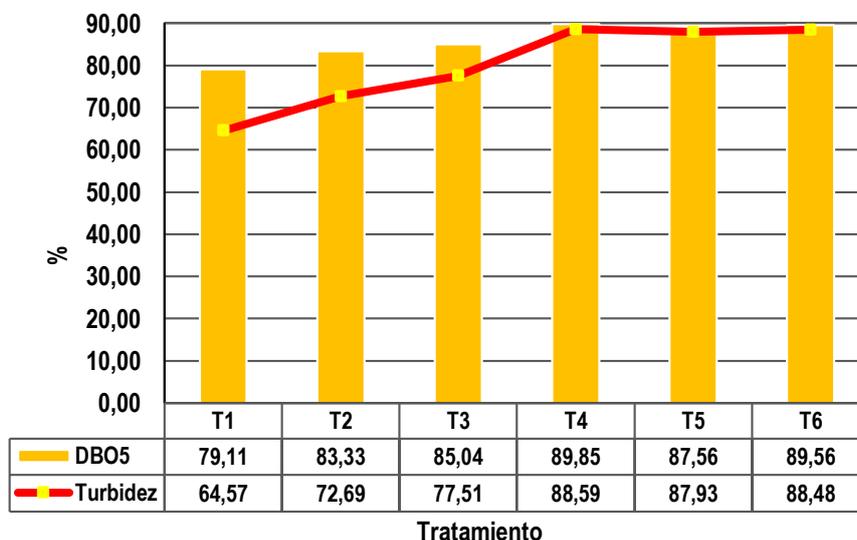


Gráfico 4.3. Variación de la remoción porcentual de DBO₅ y Turbidez según los tratamientos aplicados.
Fuente: Microsoft Excel (2019).

Con el gráfico 4.3. se evidencia que el mejor tratamiento fue el T4 en el que se utilizó pasto vetiver destaca de manera significativa con el uso de 9 esquejes presentó remociones de DBO₅ de 89,85% y para turbidez de 88,59%, de acuerdo a Castañeda y López, (2013) la velocidad de remoción que alcance las plantas en humedales artificiales, se determina directamente por la velocidad de crecimiento de la planta y la concentración de contaminantes, así menciona que las plantas herbáceas presentan una captación de contaminantes más alta que al utilizar plantas leñosas. Delgadillo et al. (2010) quien menciona que mantener niveles elevados de turbidez afecta la capacidad de fotosíntesis de plantas acuáticas.

4.2.2. VARIABLES COMPLEMENTARIAS

Para obtener resultados eficientes de la vegetación empelada se monitorio las variables complementarias que este caso se consideró el nivel de pH y la temperatura.

4.2.2.1. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (pH)

En la tabla 4.8. se detallan de los resultados del parámetro pH en los diferentes tratamientos a lo largo de la investigación:

Tabla 4.8. Resultados de pH.

| Tratamiento | 23 de abril 2019 (1) | 30 de abril 2019 (2) | 07 de mayo 2019 (3) | 14 de mayo 2019 (4) |
|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| T1 | 7,80 | 7,47 | 7,43 | 7,17 |
| T2 | 7,80 | 7,50 | 7,30 | 7,27 |
| T3 | 7,80 | 7,43 | 7,40 | 7,23 |
| T4 | 7,80 | 7,20 | 7,20 | 7,13 |
| T5 | 7,80 | 7,23 | 7,23 | 7,23 |
| T6 | 7,80 | 7,53 | 7,33 | 7,07 |

Fuente: Autoras.

En el siguiente gráfico se muestra los resultados del potencial de hidrógeno (pH) mostrados en la tabla 4.8.

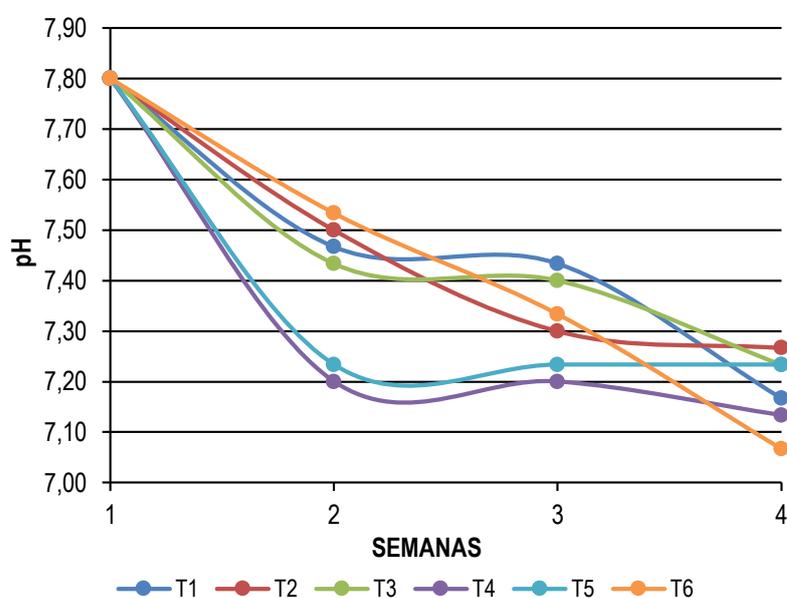


Gráfico 4.4. Representación gráfica de los valores de pH.

Fuente: Autoras.

El gráfico 4.4. se visualiza que no tuvo una variación demostrativa entre los tratamientos, teniendo valores mínimos de 7,07 en el tratamiento 6 (T6) que utilizó pasto vetiver con mayor presencia de esquejes y valores más elevados de 7,8. Se identifican varios valores de pH entre los tratamientos muestreados en las semanas de observación, evidenciando que los tratamientos T4, T5 y T6 en la semana 1 presentan valores más bajos de pH, 7,20; 7,23 y 7,33; mientras que los valores más altos son representados por la muestra T2 (7,50).

Los valores obtenidos hacen referencia a los valores tomados antes de la aplicación de los tratamientos valores que, de acuerdo a Pérez, Alfaro y Sasa (2013) son óptimos para mantener una eficiencia elevada de remoción de materia orgánica con la aplicación de vegetación.

Nótese también que a pesar de lo mencionado los resultados poseen una tendencia de alcalino a neutro que se encuentra marcada por la variación del tiempo, notando una disminución minúscula a medida que el agua residual se encuentra mayormente en exposición al biolecho o humedal artificial.

4.2.2.2. TEMPERATURA

Con finalidad de mantener a la vegetación dentro de sus temperaturas tolerables se controló este parámetro obteniendo los resultados detallados en la tabla 4.9.

Tabla 4.9. Resultados de temperatura °C.

| Tratamiento | 23 de abril 2019 (1) | 30 de abril 2019 (2) | 07 de mayo 2019 (3) | 14 de mayo 2019 (4) |
|-------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| T1 | 21,66 | 23,70 | 22,43 | 22,20 |
| T2 | 21,66 | 23,70 | 22,50 | 22,40 |
| T3 | 21,66 | 23,40 | 22,70 | 22,40 |
| T4 | 21,66 | 23,43 | 22,70 | 21,90 |
| T5 | 21,66 | 23,60 | 22,20 | 21,90 |
| T6 | 21,66 | 23,60 | 22,10 | 21,87 |

Fuente: Autoras.

En el siguiente gráfico 4.5. se muestra los valores de temperaturas encontrados en la tabla 4.9.

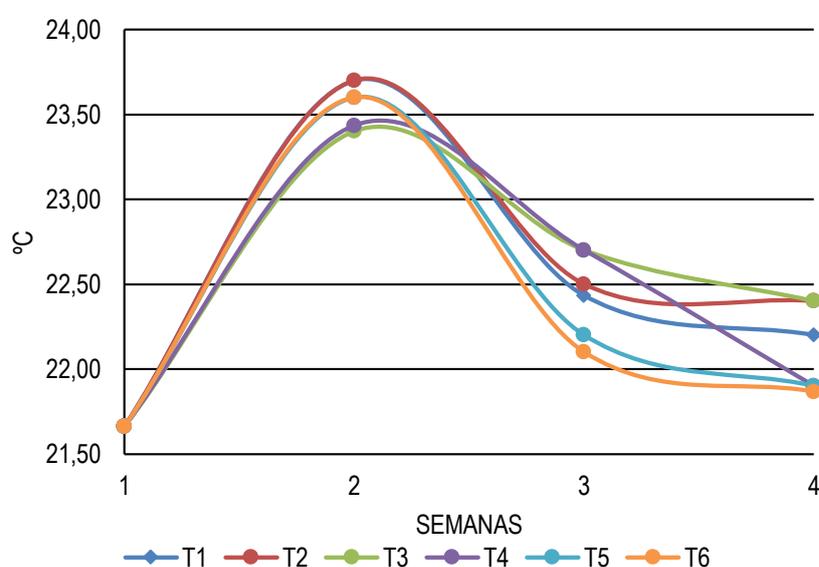


Gráfico 4.5. Representación gráfica de los valores de temperatura.

Fuente: Autoras.

Mediante el gráfico 4.5. obtenido a partir del análisis en Excel, se determinó que no existe una variación entre los tratamientos, visualizando que en la semana inicial (S0) la temperatura más baja se encuentra en los T2 y T3 que presentaron 21°C y los más altos T5 y T6 con 22°C, en la semana 1 (S1) los más bajos fueron T3 y T4 con una media de 23°C y los demás con temperatura de 24°C, dichos valores fueron similares en las semanas restantes.

Las temperaturas presentadas cumplieron con los rangos requerido por las vegetaciones utilizadas de 20 a 33°C en el Papiro (Pérez, Alfaro y Sasa, 2013), y de 20-30°C que requiere el pasto vetiver (Wildschut, 2013). Es decir que la temperatura no es influyente en los resultados obtenidos de turbidez y DBO₅.

- **RESULTADOS OBTENIDOS EN LA APLICACIÓN DEL TRATAMIENTO CON DIFERENTES VEGETACIÓN Y NÚMERO DE ESQUEJES**

A continuación, en la tabla 4.10. se muestran los resultados obtenido al final del periodo del experimento, la tabla contiene las variables analizadas y las remociones porcentuales.

Tabla 4.10. Resultados de los parámetros medidos.

| Variable | Unidad | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | Límite máximo permisible | Norma |
|------------------|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------------------------|--|
| DBO ₅ | mg/dm ³ | 188,6 | 149,4 | 134,0 | 108,0 | 122,5 | 104,5 | 100 | Norma técnica para el control de descargas líquidas TULSMA |
| Turbidez | NTU | 41,77 | 35,45 | 32,08 | 24,53 | 22,77 | 20,25 | < 5 | |
| Temperatura | °C | 22,78 | 22,87 | 22,83 | 22,68 | 22,57 | 22,52 | 20-30 | |
| pH | | 7,36 | 7,36 | 7,36 | 7,18 | 7,23 | 7,31 | 7-8 | |

Fuente: Autoras.

Se realizó el análisis de la tabla 4.10 donde se muestran las medias de los resultados de temperaturas obtenidos en la investigación que considerando lo mencionado por Wildschut (2013) son óptimos para el funcionamiento de los biolechos construidos; obtuvo similar situación en la variable de pH que fueron establecidas como variables de control que según (Alzate, 2015) es de importancia mantener un pH mayor a 4 para que las plantas tengan un mejor crecimiento.

Los tratamientos T1, T2 y T3 donde se empleó papiros (*Cyperus papyrus*) presentaron temperaturas de 22,78°C (T1), 22,87°C (T2) y 22,83°C (T3) y pH 7,36 (T1, T2, T3) rangos que están dentro de los óptimos para su desarrollo ya que Pérez,

Alfaro y Sasa (2013) señalan que los papiros toleran pH de 6 a 8,5 por otro lado, Núñez (2017) indica que esta especie soporta temperaturas entre 20 y 33°C.

Mientras los tratamientos T4, T5 y T6 con pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) mostraron resultados favorables de temperatura 22,68 (T4), 22,57 (T5) y 22,52 (T6) y pH 7,18 (T4) 7,23 (T5) y 7,31 (T6) según Herrera (2015) una de las características fisiológicas del pasto vetiver es soportar temperaturas extremas de -15°C a +55°C y rangos de pH desde 3.3 a 12.5.

Analizando los valores de DBO₅, se notó que los valores no cumplen con el rango que se establece, a pesar de ello se encuentra próximo al rango establecido por la Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor siendo esta de 100 mg/dm³.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- Los análisis físicos y químicos demuestran que los valores sobrepasan los niveles establecidos por el anexo 1 del libro VI del TULSMA mostrando una DBO₅ de 450mg/dm³, turbidez de 85NTU, pH de 7,8 y temperatura de 21,66°C.
- El tratamiento T4 que comparado con los demás tratamientos presentó mayores porcentajes de remociones en las variables estudiadas: DBO₅ 89,85% (108,00mg/dm³) y turbidez 88,59% (24,53NTU) además presentó medias de 7,8 en pH y temperatura de 21,4°C, en el cual se utilizó pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) por lo que se considera el más adecuado para la remoción de materia orgánica.
- Finalmente, se concluye que los resultados obtenidos permiten rechazar la hipótesis nula ya que con ambas vegetaciones se logran remociones superiores del 52% de materia orgánica de las aguas residuales urbanas de la laguna de oxidación.

5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar una variación más amplia de esquejes y mayor tiempo de exposición del agua a la especie vegetal para lograr cumplir con el límite máximo de 100 mg/dm³ DBO₅ establecido por la Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor (TUSIMA).
- Existe otro parámetro importante y determinante en los procesos de remoción de contaminantes como es el nivel de oxígeno presente, que se debería tomar en consideración para futuras investigaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Agudelo B., Macias M. y Suárez M., 2005. Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos. Revista Lasallista de Investigación. 2(1). 57-60.
- Alzate, E. 2015. Influencia del pH y el tipo de macrofitas en la remoción de materia orgánica y cadmio de un drenaje sintético de minería de carbón, por medio de humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal a escala piloto. Antioquia, CO. Universidad de Antioquia. Tesis de maestría. 73 pp.
- Alcívar, S., Velásquez, F., y Pinargote, C. (Agosto de 2013). Sistema de tratamiento para las aguas residuales domésticas de la ciudad de Calceta. II Evento Internacional la Universidad en el Siglo XXI. Calceta-EC. Obtenido de <http://sigloxxi.espam.edu.ec/Ponencias/II/simposio1/23.pdf>
- Alegre, J. 2007. Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Obtenido de http://www.vetiver.org/TVN_manualvetiver_spanish-o.pdf.
- Arce, A. 2001. Muestreo y preservación de grasas y aceites, y determinación en campo de pH, temperatura y materia flotante. Coordinación de Tecnología hidráulica. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.
- Árias, I. y Brix, H. 2003. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia Ciencia e Ingeniería Neogranadina. núm.13. pp. 17-24.
- Beltrano, J. y Gimenez, D. 2015. Cultivo en hidroponía. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP). Obtenido de http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1
- Bermúdez, C. 2016. Eficiencia de consorcios bacteriano–microalgal para la disminución de la concentración de materia orgánica en aguas residuales de

- la ESPAM MFL. (Tesis de pregrado), Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta, Ecuador.
- Brutti, L., Beltran, M. y Garcia de Salamone, I. 2018. Biorremediación de los recursos naturales. Ediciones INTA. Obtenido de <https://inta.gob.ar/documentos/biorremediacion-de-los-recursos-naturales>
- Buenfil, J. (s.f). Biofiltros, la jardinería que filtra las aguas grises para reciclarlas. Obtenido de <http://ecotec.unam.mx/Ecotec/wp-content/uploads/Gu--a-Explicativa-del-Biofiltro.pdf>
- Carpena, R. y Bernal, P. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Revista Ecosistemas*. 16(2).
- Carrillo, G., Andrade, J., Hernández, L. y Cobos, V. 2015. La fitorremediación: una opción limpia para un problema sucio. *Bioagrobiología*. 8(2). 57-60.
- Cascaret, D., Pérez, N., Marañón, A., y Bajo, R. 2009. Caracterización físico-química de las aguas residuales de la planta galvánica, empresa Conformadora "30 de noviembre". *Revista Cubana de Química*. 11(2). 22-28.
- Castañeda, A. y López, H. 2013. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Rev. De Tecnología y Sociedad*. Núm. 5. Universidad de Guadalajara.
- Celis, H., Junod, M., y Sandoval, M. 2005. Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*. 14(1). 17-25.
- Constitución de la República del Ecuador. 2008. ARTICULO 14. p 24.
- Cortés, M. y León, M. 2015. Generalidades sobre Metodología de la Investigación. Universidad Autónoma del Carmen. Recuperado el 01 de 03 de 2018, de <http://www.unacar.mx/contenido/gaceta/ediciones/contenido2.pdf>
- Delgadillo L., González R., Prieto G., Villagómez I. y Acevedo S. 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical Agroecosystems*. 14(2). 597-612.

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. y Andrade, M. 2010. Cochabamba, Bolivia: Nelson Antequera. Obtenido de http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion_de_aguas_residuales_por_medio_de_humedales_artificiales.pdf
- Díaz, E., Alvarado, A. y Camacho, K. 2012. El tratamiento de agua residual domestica para el desarrollo local sostenible: caso de la técnica del sistema unitario de tratamiento de aguas, nutrientes y energía (SUTRANE) en San Miguel Almaya, México. Quivera. Revista de Estudios Territoriales. 14. (1). 78-97.
- Díaz, O. y Valdés, G. 2011. Metodología para el diseño de humedales con flujo subsuperficial horizontal. Revista de Ingeniería Hidráulica y Ambiental. 23(1). 61-70.
- Estrada, I. 2010. Monografía sobre humedales artificiales de flujo superficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales. (Monografía), Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Fernández, J. 2001. Manual de Fito depuración. Filtro de macrofitas en flotación. Nuevos Filtros Verdes de Macrofitas en Flotación para la Cuenca Mediterránea. Madrid, EC. Politécnica de Madrid. Pp 14.
- González, C. 2011. La turbidez. Recuperado el 29 de mayo de 2018, de <http://academic.uprm.edu/gonzalezc/HTMLobj-859/maguaturbidez.pdf>
- Guerra, J., Vargas, J., Aguirre, R. y Huaranga, M. 2018. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. Tecnología y Desarrollo.
- Guevara, A., de la Torre, E., Villegas, A. y Crillo, E. 2009. Uso de la rizofiltración para el tratamiento de efluentes líquidos de cianuración que contienen cromo, cobre y cadmio. Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales. S1 (2). 871-878.

- 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 (Tesis). Universidad Cooperativa de Colombia. Bogotá. CO.
- Isch, E. 2011. Contaminación de las aguas y políticas para enfrentarla. Foro de los Recursos Hídricos. Foro de los Recursos Hídricos. Quito, EC.: CAMAREN. Obtenido de <http://www.camaren.org/documents/contaminacion.pdf>
- Instituto Costarricense de Acueductos y Alcantarillado. 2009. Programa nacional de manejo de las aguas residuales costa rica 2009-2015. Costa Rica. Obtenido de <https://www.bvs.sa.cr/AMBIENTE/textos/ambiente39.pdf>
- La Hora. (29 de Octubre de 2016). Ecuador, 88% de las aguas residuales llega a los ríos. Obtenido de https://lahora.com.ec/noticia/1101997377/ecuador-88_-de-las-aguas-residuales-llega-a-los-ros-
- Ley Orgánica de Recursos Hídricos, usos y Aprovechamiento del agua. 2014. Artículo 64. p 14.
- López M., Gallegos M., Pérez F., y Gutiérrez R., 2005. Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas. Revista internacional de contaminación ambiental. 21(2). 91-100.
- López, A. (22 de Octubre de 2015). Aguas negras contaminan la tierra. NTR Zacatecas. Obtenido de <http://ntrzacatecas.com>
- López, C., Méndez, G., García, H., y Cervantes, F. 2017. Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño. (Vol. 6). IWA Publishing. doi: 10.2166/9781780409146
- Marín, C., Solís, R., López, G., Bautista, R., y Romellón, M. 2016. Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco. Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias. 5(10).

- Marín, J. y Correa, J. 2010. Evaluación de la remoción de contaminantes en aguas residuales en humedales artificiales utilizando la guadua *Angustifolia* Kunth. (Tesis). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, CO.
- Martínez, A. 2006. Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. *Tecnología en Marcha*. 19(2). 31-40.
- Martínez, P., Ramos, M., y Rodríguez, L. 2007. Humedales artificiales como alternativa para mejorar la calidad del agua. III Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia. México. Obtenido de congresos.cio.mx
- Mayarí, R., Espinosa, M. y Gutiérrez, M. 2005. Validación de La Determinación de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno en Aguas y Aguas Residuales. *Revista CENIC. Ciencias Químicas*. 36.
- Morales, G., López, D., Vera, I. y Vidal, G. 2013. Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materias orgánicas y nutrientes contenidos en aguas servidas. *Theoria*. 22(1). 33-46.
- Morató, J., Subirana, A., Gris, A. y Carneiro, A. y. 2006. Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*. 3(1). 19-29.
- Muñoz, A. 2008. Caracterización y tratamiento de aguas residuales. (Monografía), Universidad Autónoma de Estado de Hidalgo, Higo.
- Narváez, L., Miranda, J. y Narváez, L. 2012. Remoción de contaminantes de aguas grises mediante el uso de Humedales artificiales en viviendas sustentables del estado de Querétaro. Encuentro Nacional de Ecotecnias. Obtenido de <https://www.researchgate.net>
- Noles, P. 2016. Eficiencia in Vitro de Microorganismos (EM) en aguas residuales de lagunas de oxidación de la Ciudad de Calceta-Bolívar-Manabí. (Tesis de maestría). Universidad de Guayaquil.
- Núñez, R., Vong, Y., Borges, R. y Olgún, E. 2004. Fitorremediación fundamentos y aplicaciones. *Revista Ciencia*. 55(3). 70-75.

- Núñez, R. 2017. Evaluación de humedales construidos en régimen de policultivo y monocultivo de plantas ornamentales para la depuración de aguas servidas. (Tesis). Universidad de Concepción. CH.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima-Perú. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización Mundial de la Salud [OMS]. (31 de Octubre de 2017). Organización Mundial de la Salud. Recuperado el 22 de mayo de 2018, de <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/vector-borne-diseases>
- Orozco, M. 2010. Efectividad en la remoción de organismos patógenos de aguas residuales domésticas utilizando humedales construidos con diferentes tipos de flujos. (Trabajo de grado). Universidad Tecnológica de Pereira. Pereira, Colombia.
- Patiño C. y Zhinín C. 2015. Estudio comparativo de la capacidad depuradora de phragmites australis y cyperus papyrus en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel. (Tesis). Universidad de Cuenca. Cuenca. Ecuador.
- Pech, O. y Ocaña, G. 2013. Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. Kuxulkad'. 19(36). 46-56.
- Peña, E., Madera, C., Sánchez, J. y Medina, J. 2018. Bioprospección de plantas nativas para su uso en procesos de biorremediación: caso Heliconia psittacorum (Heliconiaceae). Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 37(145). 469-481.
- Pérez, M. 2009. Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango. (Tesis). Centro de Investigaciones de Materiales Avanzados. S.C.. Chihuahua.

- Pérez, R., Alfaro, C., Sasa, J. y Agüero, J. 2013. Evaluación del funcionamiento de un sistema alternativo de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Uniciencia*. 27(1). 332-340.
- Plan Nacional del Buen Vivir. 2013. Objetivos nacionales para el buen vivir. Objetivo 7, 221-242.
- Programa de Agua y Saneamiento Región América Latina y el Caribe (WSP). 2006. Biofiltro: una opción sostenible para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas localidades. Obtenido de <http://documentos.bancomundial.org/curated/es/943351468247792589/pdf/360810WSP0rev0biofiltro01PUBLIC1.pdf>
- Rojas, M. 2018. Tratamiento de aguas residuales domésticas con la especie Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en humedales artificiales en la comunidad de Santa Rosa Bajo, distrito Chota, 2017". Chiclayo, Perú. Universidad César Vallejo. Facultad de Ingeniería. 93 pp.
- Rojas, R. 2002. Sistema de tratamiento de aguas residuales. Gestión integral de tratamiento de aguas residuales, 1, págs. 8-15. Obtenido de <http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000093-9097e9190c/GESTION%20INTEGRAL%20DEL%20TRATAMIENTO%20AR.pdf>
- Romero, J. 2002. Calidad del agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. y Ortiz, M. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Revista internacional de contaminación ambiental*. 25(3). 157-167.
- Santana, X., y Santo, J. 2016. Eficiencia del pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex-situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río Muerto, cantón Manta. (Tesis). Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Calceta. Ecuador.

- Shaxson y Barber, 2005. Optimización de humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo. Roma, Italia. FAO. Servicio de Manejo de las Tierras y de la Nutrición de Plantas. 128pp.
- Siligoy, M. 2017. Biolechos para la degradación de efluentes con glifosato. XXI Encuentro de Jóvenes Investigadores de la Universidad Nacional del Litoral. Santa Fé, Argentina. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11185/1993>
- Torregrosa, F. 2007. La depuración en pequeños municipios de Castellón: Sistemas de fangos activos de aireación prolongada. ED. Servicio de Publicaciones Diputación de Castellón. 192 pp.
- Torres, J., Magno, J., Pineda, R. y Cruz, M. 2017. Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales artificiales de flujo libre superficial con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapungo-Luriganchó. Revista de Investigación Ciencia. Tecnología y Desarrollo. 1.
- Truong, P., Tan Van, T. y Pinners, E. 2009. Aplicaciones del sistema vetiver, manual técnico de referencia (2 ed.). EE.UU. The Vetiver Network International.
- TULSMA (Texto unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente). 2013. Anexo I del Libro VI: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recursos. Agua. EC.
- Universidad Nacional del litoral. (UNL) 2019. Camas biológicas, una alternativa eficaz para reducir la contaminación. Santa fé, Ar. (En línea). Disponible en <https://www.unl.edu.ar/>
- Wildschut, L. 2013. Mercados potenciales de tecnologías de biorremediación con vetiver. Madrid: Escuela de Organización Industrial, (EOI). Obtenido de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/20793/mercados-potenciales-de-tecnologias-de-biorremediacion-con-vetiver>

ANEXOS

ANEXO 1. Construcción de los biolechos.**Anexo 1 a:** Establecimiento del material de relleno**ANEXO 2. Obtención de los esquejes****Anexo 2 a:** plantas de papiro**Anexo 2 b:** nuevo esqueje**Anexo 2 c:** Esquejes de papiro**Anexo 2 d:** planta de pasto vetiver

ANEXO 3. Análisis de laboratorio.

| | | |
|--|---|--|
|  <p>LABCESTTA Tecnología & Soluciones</p> <p>SGC</p> | <p align="center">LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR</p> | <p align="center">LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</p> <p align="center">ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</p> |
|--|---|--|

| | |
|--|---|
| INFORME DE ENSAYO No. ST: | 098 14 – 52 ANÁLISIS DE EFLUENTE |
| Nombre Peticionario: | NA |
| Atn. Dirección: | Morelia Chávez Quilumba Ave. Ejército, San Alejo, Portoviejo |
| FECHA: | 23 de Abril de 2019 |
| NUMERO DE MUESTRAS: | 1 |
| FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: | 2019/04/23 – 16:30 |
| FECHA DE MUESTREO: | 2019/04/23 – 06:30 |
| FECHA DE ANÁLISIS: | 2019/04/23 – 2019/04/28 |
| TIPO DE MUESTRA: | TIR1 inicial |
| CÓDIGO LABCESTTA: | LAB-L 004-13 |
| CÓDIGO DE LA EMPRESA: | NA |
| PUNTO DE MUESTREO: | TIR1 inicial (Muestra 1) |
| ANÁLISIS SOLICITADO: | Físico y Químico |
| PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: | Morelia Chávez Quilumba |
| CONDICIONES AMBIENTALES: | T máx.:28.0°C, T mín.:22.0°C |

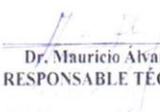
RESULTADOS ANALÍTICOS:

| PARÁMETROS | MÉTODO/ NORMA | UNIDAD | RESULTADO | VALOR LÍMITE PERM. | INCERTID. (k=2) |
|---|---|--------|-----------|-----------------------|--------------------|
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | - | 7,8 | 5-9 | ±0,1% |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada NMX-AA-038-SCFI-2001 | NTU | 83,05 | - | ±0,1% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ a 20°C) | PEE/LAB-CESTTA/46 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 5210 B HACH, Method 8166 | mg/L | 450 | - | ±3,5% |

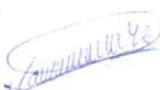
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

Página 1 de 1
Edición 1

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

- N.A. No aplica

Página 1 de 1

Anexo 3 a: Resultados de la caracterización del agua del efluente de la laguna de oxidación.

| | | |
|---|--|--|
|  <p>LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC</p> | LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN | LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE |
| | Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR | ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008 |

INFORME DE ENSAYO No.
ST:

166
14 - 52 ANÁLISIS DE EFLUENTE

Nombre Peticionario:
Atn.
Dirección:

NA
Morelia Chávez Quilumba
Ave. Ejército, San Alejo, Portoviejo

FECHA:
NUMERO DE MUESTRAS:
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA:
CÓDIGO LABCESTTA:
CÓDIGO DE LA EMPRESA:
PUNTO DE MUESTREO:
ANÁLISIS SOLICITADO:
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES:

14 de Mayo de 2019
1
2019/05/14 - 16:30
2019/05/14 - 06:30
2019/05/14 - 2019/05/19
T4R1
LAB-L 004-13
NA
T4R1 (Muestra 1)
Físico y Químico
Morelia Chávez Quilumba
T máx.:28.2°C, T mín.:22.0°C

RESULTADOS ANALÍTICOS:

| PARÁMETROS | MÉTODO/ NORMA | UNIDAD | RESULTADO | VALOR LÍMITE PERM. | INCERTID. (k=2) |
|---|--|--------|-----------|-----------------------|--------------------|
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | - | 7,10 | 5-9 | ±0,1% |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada NMX-AA-038-SCFI-2001 | NTU | 10,11 | - | ±0,1% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ a 20°C) | PEE/LAB-CESTTA/46 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 5210 B HACH, Method 8166 | mg/L | 40 | - | ±3,5% |

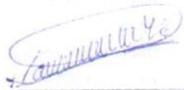
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

Página 1 de 1
Edición 1

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Alvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio
Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

- N.A. No aplica

Página 1 de 1

Anexo 3 b: Resultados de la réplica 1 del tratamiento T4 en la semana 3.

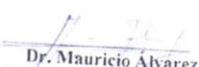
| | | |
|---|--|---|
|  LABCESTTA Tecnología & Soluciones SGC | LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR | LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE ACREDITACIÓN N° OAE LE 2C 06-008 |
| | INFORME DE ENSAYO No. ST: 167 Nombre Peticionario: 14 - 52 ANÁLISIS DE EFLUENTE Atn. NA Dirección: Morelia Chávez Quilumba Ave. Ejército, San Alejo, Portoviejo FECHA: 14 de Mayo de 2019 NUMERO DE MUESTRAS: 1 FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB: 2019/05/14 - 16:30 FECHA DE MUESTREO: 2019/05/14 - 06:30 FECHA DE ANÁLISIS: 2019/05/14 - 2019/05/19 TIPO DE MUESTRA: T4R2 CÓDIGO LABCESTTA: LAB-L 004-13 CÓDIGO DE LA EMPRESA: NA PUNTO DE MUESTREO: T4R2 (Muestra 1) ANÁLISIS SOLICITADO: Físico y Químico PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA: Morelia Chávez Quilumba CONDICIONES AMBIENTALES: T máx.:28.2°C, T mín.:22.0°C | |

| PARÁMETROS | MÉTODO/ NORMA | UNIDAD | RESULTADO | VALOR LÍMITE PERM. | INCERTID. (k=2) |
|---|---|--------|-----------|-----------------------|--------------------|
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | - | 7,10 | 5-9 | ±0,1% |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada NMX-AA-038-SCFI-2001 | NTU | 9,73 | - | ±0,1% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ a 20°C) | PEE/LAB-CESTTA/46 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 5210 B HACH, Method 8166 | mg/L | 45 | - | ±3,5% |

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

RESPONSABLE DEL INFORME:

Página 1 de 1
Edición 1


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

- N.A. No aplica

Página 1 de 1

Anexo 3 c: Resultados de la réplica 2 del tratamiento T4 en la semana 3.

| | | |
|--|---|--|
|  <p>LABCESTTA Tecnología & Soluciones</p> <p>SGC</p> | <p align="center">LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL E INSPECCIÓN</p> <p align="center">Panamericana Sur Km. 1 ½ Telefax: (03) 2998232 ESPOCH FACULTAD DE CIENCIAS RIOBAMBA - ECUADOR</p> | <p align="center">LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL OAE</p> <p align="center">ACREDITACIÓN Nº OAE LE 2C 06-008</p> |
|--|---|--|

INFORME DE ENSAYO No.
ST:

Nombre Peticionario:
Atn.
Dirección:

FECHA:
NUMERO DE MUESTRAS:
FECHA Y HORA DE RECEPCIÓN EN LAB:
FECHA DE MUESTREO:
FECHA DE ANÁLISIS:
TIPO DE MUESTRA:
CÓDIGO LABCESTTA:
CÓDIGO DE LA EMPRESA:
PUNTO DE MUESTREO:
ANÁLISIS SOLICITADO:
PERSONA QUE TOMA LA MUESTRA:
CONDICIONES AMBIENTALES:

173
14 - 52 ANÁLISIS DE EFLUENTE

NA
Morelia Chávez Quilumba
Ave. Ejército, San Alejo, Portoviejo

14 de Mayo de 2019
1
2019/05/14 - 16:30
2019/05/14 - 06:30
2019/05/14 - 2019/05/19
T6R2
LAB-L 004-13
NA
T6R2 (Muestra 1)
Físico y Químico
Morelia Chávez Quilumba
T máx.:28.2°C, T mín.:22.0°C

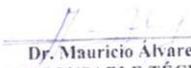
RESULTADOS ANALÍTICOS:

| PARÁMETROS | MÉTODO/ NORMA | UNIDAD | RESULTADO | VALOR LÍMITE PERM. | INCERTID. (k=2) |
|---|--|--------|-----------|-----------------------|--------------------|
| pH | PEE/LAB-CESTTA/05 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 4500-H+B Analizador PCE-PHD 1 | - | 7,00 | 5-9 | ±0,1% |
| Turbidez | Turbidímetro de radiación atenuada NMX-AA-038-SCFI-2001 | NTU | 8,56 | - | ±0,1% |
| Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅ a 20°C) | PEE/LAB-CESTTA/46 Método de referencia: Standard Methods Ed 21, 2005 5210 B HACH, Method 8166 | mg/L | 39 | - | ±3,5% |

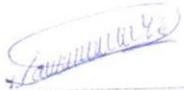
Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

Página 1 de 1
Edición 1

RESPONSABLE DEL INFORME:


Dr. Mauricio Álvarez
RESPONSABLE TÉCNICO

LABORATORIO DE ANÁLISIS AMBIENTAL
E INSPECCIÓN
LAB - CESTTA
ESPOCH


Dra. Nancy Veloz M.
JEFE DE LABORATORIO

Este documento no puede ser reproducido ni total ni parcialmente sin la aprobación escrita del laboratorio. Los resultados arriba indicados están sólo están relacionados con los objetos ensayados.

- N.A. No aplica

Página 1 de 1

Anexo 3 d: Resultados de la réplica 2 del tratamiento T6 en la semana 3.

ANEXO 4. Resultados de los análisis de Turbidez.

| PARÁMETRO | UNIDAD | TRATAMIENTO | 23 de abril 2019 (S0) | 30 de abril 2019 (S1) | 07 de mayo 2019 (S2) | 14 de mayo 2019 (S3) |
|--|--------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| TURBIDEZ (Nephelometric Turbidity Unit NTU) | NTU | T1 R1 | 83,05 | 57,35 | 46,51 | 30,15 |
| | | T1 R2 | 83,05 | 53,05 | 39,23 | 28,47 |
| | | T1 R3 | 83,05 | 53,14 | 38,4 | 29,66 |
| | | T2 R1 | 83,05 | 51,38 | 32,48 | 24,05 |
| | | T2 R2 | 83,05 | 50,94 | 31,72 | 21,69 |
| | | T2 R3 | 83,05 | 49,26 | 35,26 | 22,3 |
| | | T3 R1 | 83,05 | 47,88 | 36 | 20,91 |
| | | T3 R2 | 83,05 | 45,73 | 28,79 | 19,28 |
| | | T3 R3 | 83,05 | 45,2 | 29,07 | 15,84 |
| | | T4 R1 | 83,05 | 41,3 | 25,37 | 10,11 |
| | | T4 R2 | 83,05 | 42,44 | 20,14 | 9,73 |
| | | T4 R3 | 83,05 | 42,09 | 21,03 | 8,58 |
| | | T5 R1 | 83,05 | 40,38 | 17,59 | 9,29 |
| | | T5 R2 | 83,05 | 39,07 | 19,72 | 10,47 |
| | | T5 R3 | 83,05 | 39,72 | 18,36 | 10,31 |
| | | T6 R1 | 83,05 | 34,63 | 18,01 | 9,07 |
| | | T6 R2 | 83,05 | 30,27 | 18,59 | 8,56 |
| | | T6 R3 | 83,05 | 32,14 | 19,87 | 11,08 |

ANEXO 5. Resultados de los análisis de Demanda Bioquímica de Oxígeno

| PARÁMETRO | UNIDAD | TRATAMIENTO | 23 de abril 2019 (S0) | 30 de abril 2019 (S1) | 07 de mayo 2019 (S2) | 14 de mayo 2019 (S3) |
|------------------|--------------------|-------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| DBO ₅ | mg/dm ³ | T1 R1 | 450 | 275 | 148 | 85 |
| | | T1 R2 | 450 | 323 | 170 | 97 |
| | | T1 R3 | 450 | 327 | 173 | 100 |
| | | T2 R1 | 450 | 226 | 122 | 70 |
| | | T2 R2 | 450 | 242 | 131 | 75 |
| | | T2 R3 | 450 | 259 | 140 | 80 |
| | | T3 R1 | 450 | 223 | 120 | 69 |
| | | T3 R2 | 450 | 242 | 131 | 75 |
| | | T3 R3 | 450 | 187 | 101 | 58 |
| | | T4 R1 | 450 | 200 | 95 | 40 |
| | | T4 R2 | 450 | 180 | 90 | 45 |
| | | T4 R3 | 450 | 185 | 85 | 52 |
| | | T5 R1 | 450 | 200 | 150 | 63 |
| | | T5 R2 | 450 | 200 | 100 | 56 |
| | | T5 R3 | 450 | 185 | 100 | 49 |
| | | T6 R1 | 450 | 200 | 90 | 58 |
| | | T6 R2 | 450 | 190 | 60 | 39 |
| | | T6 R3 | 450 | 200 | 60 | 44 |

ANEXO 6. Resultados de los análisis de Potencial de Hidrógeno (pH).

| PARÁMETRO | UNIDAD | TRATAMIENTO | 23 de abril 2019 (S0) | 30 de abril 2019 (S1) | 07 de mayo 2019 (S2) | 14 de mayo 2019 (S3) |
|------------------------|--------|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| POTENCIAL DE HIDRÓGENO | pH | T1 R1 | 7,8 | 7,5 | 7,5 | 7,2 |
| | | T1 R2 | 7,8 | 7,4 | 7,4 | 7,2 |
| | | T1 R3 | 7,8 | 7,5 | 7,4 | 7,1 |
| | | T2 R1 | 7,8 | 7,4 | 7,2 | 7,3 |
| | | T2 R2 | 7,8 | 7,5 | 7,5 | 7,3 |
| | | T2 R3 | 7,8 | 7,6 | 7,2 | 7,2 |
| | | T3 R1 | 7,8 | 7,4 | 7,4 | 7,2 |
| | | T3 R2 | 7,8 | 7,4 | 7,5 | 7,3 |
| | | T3 R3 | 7,8 | 7,5 | 7,3 | 7,2 |
| | | T4 R1 | 7,8 | 7,6 | 7,5 | 7,1 |
| | | T4 R2 | 7,8 | 6,9 | 7,2 | 7,1 |
| | | T4 R3 | 7,8 | 7,1 | 6,9 | 7,2 |
| | | T5 R1 | 7,8 | 7,1 | 7,1 | 7,2 |
| | | T5 R2 | 7,8 | 7,4 | 7,2 | 7,2 |
| | | T5 R3 | 7,8 | 7,2 | 7,4 | 7,3 |
| | | T6 R1 | 7,8 | 7,5 | 7,6 | 7,3 |
| | | T6 R2 | 7,8 | 7,5 | 7,3 | 7,0 |
| | | T6 R3 | 7,8 | 7,6 | 7,1 | 6,9 |

ANEXO 7. Resultados de los análisis de Temperatura.

| PARÁMETRO | UNIDAD | TRATAMIENTO | 23 de abril 2019 (S0) | 30 de abril 2019 (S1) | 07 de mayo 2019 (S2) | 14 de mayo 2019 (S3) |
|-------------|--------|-------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
| TEMPERATURA | °C | T1 R1 | 21,66 | 23,7 | 22,4 | 22,2 |
| | | T1 R2 | 21,66 | 23,7 | 22,4 | 22,2 |
| | | T1 R3 | 21,66 | 23,7 | 22,5 | 22,2 |
| | | T2 R1 | 21,66 | 23,7 | 22,5 | 22,4 |
| | | T2 R2 | 21,66 | 23,7 | 22,5 | 22,4 |
| | | T2 R3 | 21,66 | 23,7 | 22,5 | 22,4 |
| | | T3 R1 | 21,66 | 23,4 | 22,7 | 22,4 |
| | | T3 R2 | 21,66 | 23,4 | 22,7 | 22,4 |
| | | T3 R3 | 21,66 | 23,4 | 22,7 | 22,4 |
| | | T4 R1 | 21,66 | 23,4 | 22,7 | 21,9 |
| | | T4 R2 | 21,66 | 23,4 | 22,7 | 21,9 |
| | | T4 R3 | 21,66 | 23,5 | 22,7 | 21,9 |
| | | T5 R1 | 21,66 | 23,6 | 22,2 | 21,9 |
| | | T5 R2 | 21,66 | 23,6 | 22,2 | 21,9 |
| | | T5 R3 | 21,66 | 23,6 | 22,2 | 21,9 |
| | | T6 R1 | 21,66 | 23,6 | 22,1 | 21,8 |
| | | T6 R2 | 21,66 | 23,6 | 22,1 | 21,9 |
| | | T6 R3 | 21,66 | 23,6 | 22,1 | 21,9 |

ANEXO 8. Eficiencia de los tratamientos.

| Tratamiento | Replica | Vegetación (V) | Esquejes (E) | EFICIENCIA REMOCIÓN DE DBO5 (%) | EFICIENCIA REMOCIÓN DE turbidez (%) | Media de pH | Medias de temperatura |
|-------------|---------|----------------|--------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|-----------------------|
| V1E1 | 1 | Papiro | 9 | 81,11 | 63,70 | 7,4 | 22,77 |
| | 2 | Papiro | 9 | 78,44 | 65,72 | 7,3 | 22,77 |
| | 3 | Papiro | 9 | 77,78 | 64,29 | 7,3 | 22,80 |
| V1E2 | 1 | Papiro | 14 | 84,44 | 71,04 | 7,3 | 22,87 |
| | 2 | Papiro | 14 | 83,33 | 73,88 | 7,4 | 22,87 |
| | 3 | Papiro | 14 | 82,22 | 73,15 | 7,3 | 22,87 |
| V1E3 | 1 | Papiro | 19 | 84,67 | 74,82 | 7,3 | 22,83 |
| | 2 | Papiro | 19 | 83,33 | 76,79 | 7,4 | 22,83 |
| | 3 | Papiro | 19 | 87,11 | 80,93 | 7,3 | 22,83 |
| V2E1 | 1 | Pasto vetiver | 9 | 91,11 | 87,83 | 7,4 | 22,67 |
| | 2 | Pasto vetiver | 9 | 90,00 | 88,28 | 7,1 | 22,67 |
| | 3 | Pasto vetiver | 9 | 88,44 | 89,67 | 7,1 | 22,70 |
| V2E2 | 1 | Pasto vetiver | 14 | 86,00 | 88,81 | 7,1 | 22,57 |
| | 2 | Pasto vetiver | 14 | 87,56 | 87,39 | 7,3 | 22,57 |
| | 3 | Pasto vetiver | 14 | 89,11 | 87,59 | 7,3 | 22,57 |
| V2E3 | 1 | Pasto vetiver | 19 | 87,11 | 89,08 | 7,5 | 22,50 |
| | 2 | Pasto vetiver | 19 | 91,33 | 89,69 | 7,3 | 22,53 |
| | 3 | Pasto vetiver | 19 | 90,22 | 86,66 | 7,2 | 22,53 |