



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

**CARRERA MEDIO AMBIENTE**

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

**MODALIDAD: PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE TRES TIPOS HUMEDALES ARTIFICIALES  
(ORNAMENTAL, FORRAJERO, ALIMENTICIO) COMO DEPURADOR  
DE AGUAS RESIDUALES GRISES EN EL BOSQUE DE LA ESPAM**

**AUTORES:**

**MENDOZA CHAVARRÍA CARLOS JULIO**

**PÁRRAGA MENDOZA ANTHONY JESÚS**

**TUTORA:**

**ING. TERESA VIVAS SALTOS, M.Sc**

**CALCETA, FEBRERO DE 2021**

## DERECHOS DE AUTORÍA

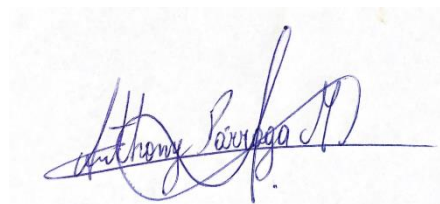
**Mendoza Chavarría Carlos Julio** con cédula de ciudadanía 1311566481, y **Párraga Mendoza Anthony Jesús**, con cédula de ciudadanía 1313908251, declaramos bajo juramento que el Trabajo de Titulación, titulado: **EVALUACIÓN DE TRES TIPOS HUMEDALES ARTIFICIALES (ORNAMENTAL, FORRAJERO, ALIMENTICIO) COMO DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES GRISES EN EL BOSQUE DE LA ESPAM** 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, concedemos a favor de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, conservando a nuestro favor todos los derechos patrimoniales de autor sobre la obra, en conformidad con el Artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación.



---

**Mendoza Chavarría Carlos Julio**



---

**Párraga Mendoza Anthony Jesús**

## CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA

**ING. HOLANDA TERESA VIVAS SALTOS, M.Sc**, certifica haber tutelado el proyecto **EVALUACIÓN DE TRES TIPOS HUMEDALES ARTIFICIALES (ORNAMENTAL, FORRAJERO, ALIMENTICIO) COMO DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES GRISES EN EL BOSQUE DE LA ESPAM**, que ha sido desarrollada por **Mendoza Chavarría Carlos Julio Y Párraga Mendoza Anthony Jesús**, previo a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



---

**Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos, M.Sc**

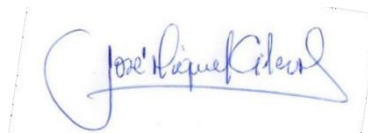
## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

Los suscritos integrantes del tribunal correspondiente, declaramos que hemos **APROBADO** el trabajo de titulación **EVALUACIÓN DE TRES TIPOS HUMEDALES ARTIFICIALES (ORNAMENTAL, FORRAJERO, ALIMENTICIO) COMO DEPURADOR DE AGUAS RESIDUALES GRISES EN EL BOSQUE DE LA ESPAM**, que ha sido propuesto, desarrollado y sustentado por Mendoza Chavarría Carlos Julio y Párraga Mendoza Anthony Jesús, previa a la obtención del título de Ingeniero en Medio Ambiente, de acuerdo al **REGLAMENTO PARA LA ELABORACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN DE TERCER NIVEL** de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López.



---

Ing. Silvia L. Montero Cedeño, M.Sc  
**MIEMBRO**



---

Ing. José Miguel Giler Molina, M.Sc  
**MIEMBRO**



---

Ing. Carlos R. Delgado Villafuerte, Mg. C.A.  
**PRESIDENTE**

## AGRADECIMIENTO

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

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

Párraga Mendoza Anthony Jesús, agradezco a mi novia Victoria Mirabá por su apoyo emocional en momentos difíciles y ánimo para el desarrollo.

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

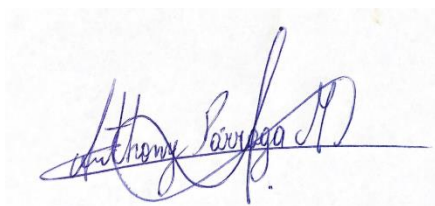
A nuestra Tutora la Ing. Holanda Teresa Vivas Saltos M.sc, por la ayuda brindada;

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



---

**Mendoza Chavarría Carlos Julio**



---

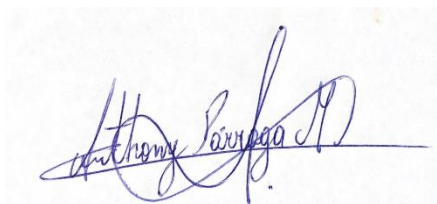
**Párraga Mendoza Anthony Jesús**

## DEDICATORIA

A mis padres, Marcos y Teresita quienes son los pilares que sostienen mi vida y quienes han sido los responsables de mi formación académica, moral y espiritual. Mi admiración eterna por ser siempre modelos para seguir papá y mamá, les agradezco por todo el esfuerzo que han hecho para que pueda lograr mis objetivos.

A mis abuelos que me ayudaron a inclinarme a estudiar la Carrera de Medio Ambiente.

A mi novia Victoria Mirabá que siempre me motivaba a trabajar en lo académico, social y moral, transmitiéndome su alegría y apoyo emocional.

A handwritten signature in blue ink, reading "Anthony Párraga Mendoza". The signature is stylized with a large initial 'A' and a long horizontal stroke at the end.

---

**Párraga Mendoza Anthony Jesús**

## DEDICATORIA

A mis padres, Julio y Carmen quienes son la razón de mis éxitos, sostienen mi vida y quienes han sido los responsables de mi formación académica, moral y espiritual. Mi admiración por todo su amor incondicional, esfuerzo y sacrificio de ayudarme a cumplir mis sueños y metas.

A mis hermanos y demás familiares que desde el principio confiaron en mis capacidades

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Carlos Julio Mendoza Chavarría', with a horizontal line extending to the right.

---

**Mendoza Chavarría Carlos Julio**

## CONTENIDO GENERAL

DERECHOS DE AUTORÍA.....	ii
CERTIFICACIÓN DE TUTORÍA.....	iii
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL.....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
DEDICATORIA .....	vi
DEDICATORIA .....	vii
CONTENIDO GENERAL .....	viii
CONTENIDO DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS .....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
CAPÍTULO I. ANTECEDENTES .....	1
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	1
1.2. Justificación .....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo general.....	3
1.3.2. Objetivos específicos .....	3
1.4. Hipótesis .....	3
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1. Agua .....	4
2.2. Aguas residuales .....	4
2.3. Aguas grises .....	4
2.4. Depuración de aguas residuales.....	4
2.5. Fitodepuración .....	5
2.6. Parámetros fisicoquímicos de aguas residuales.....	5
2.6.1. Nitrógeno .....	5
2.6.2. Fósforo .....	5
2.6.3. Demanda bioquímica de oxígeno.....	6
2.6.4. Oxígeno disuelto .....	6
2.6.5. Potencial de hidrógeno .....	7
2.6.6. Turbidez.....	7
2.6.7. Temperatura .....	7
2.7. Humedal artificial .....	8



2.7.1. Tipos de humedales artificiales .....	8
2.8. Vegetación en humedales artificiales .....	10
2.8.1. Ornamental .....	11
2.8.2. Forrajero .....	12
2.8.3. Alimenticio .....	13
2.9. Sustratos de humedales artificiales .....	13
2.9.1. Roca .....	13
2.9.2. Arena .....	14
2.9.3. Grava .....	14
2.10. Eficiencia de remoción de contaminantes en los hafss .....	14
2.11. Consideraciones para el diseño de humedal artificial .....	15
2.12. Diseño completamente al azar .....	16
CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO .....	17
3.1. Ubicación .....	17
3.2. Duración .....	17
3.3. Métodos y técnicas .....	18
3.3.1. Cuantitativo experimental .....	18
3.3.2. Bibliográfico .....	18
3.4. Factores en estudio .....	18
3.4.1. Niveles .....	18
3.5. Diseño experimental .....	18
3.6. Unidad experimental .....	18
3.7. Variables por medir .....	19
3.7.1. Variable dependiente .....	19
3.7.2. Variable independiente .....	19
3.7.3. Variables para monitorear .....	19
3.8. Manejo del experimento .....	20
3.8.1. Fase 1. Estudio de tres tipos de humedales artificiales (ornamental, forrajero y alimenticio) .....	20
3.8.2. Fase 2. Determinación de la eficiencia de remoción de principales contaminantes. ....	22
3.8.3. Fase 3. Calcular el costo final del humedal artificial de mayor remoción. ....	24
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	25

4.1. Estudio de tres tipos de humedales artificiales (ornamental, forrajero y alimenticio).....	25
4.2. Determinación de la eficiencia de remoción de principales contaminantes .....	27
4.2.1. Nitrógeno .....	28
4.2.2. Fósforo .....	30
4.2.3. Dbo <sub>5</sub> .....	32
4.2.4. Turbidez.....	35
4.3. Análisis costo .....	38
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	40
5.1 CONCLUSIONES .....	40
5.2 RECOMENDACIONES .....	41
BIBLIOGRAFÍA.....	42
ANEXOS.....	56

## CONTENIDO DE TABLAS, GRÁFICOS Y FIGURAS

### TABLAS

Tabla 2. 1 Características del sustrato de humedales artificiales .....	13
Tabla 2. 2 Eficiencia de remoción de contaminantes en los HAFSS .....	15
Tabla 2. 3 Parámetros de diseño para la construcción de HA .....	15
Tabla 3. 1 Niveles y tratamientos .....	18
Tabla 3. 2 Nomenclatura de los tratamientos .....	19
Tabla 3. 3 Parámetros por medir.....	19
Tabla 3. 4 Parámetros en estudio. ....	23
Tabla 4.1 Dimensiones de sustratos de los humedales artificiales.....	25
Tabla 4.2 Aleatorización de humedales artificiales.....	26
Tabla 4.3 Resultados de análisis de parámetros del afluente .....	27
Tabla 4.4 Resultados de la variable Nitrógeno.....	28
Tabla 4.5 Prueba De Tukey Nitrógeno .....	29
Tabla 4.6 Resultados de la variable Fósforo .....	30
Tabla 4.7 Prueba De Tukey Fósforo .....	32
Tabla 4.8 Resultados de la variable DBO <sub>5</sub> .....	33
Tabla 4.9 Prueba de Tukey DBO <sub>5</sub> .....	34
Tabla 4.10 Resultados de la variable Turbidez .....	35
Tabla 4. 11 Prueba de Tukey Turbidez .....	36
Tabla 4.12 ANOVA de un factor por Parámetros .....	38
Tabla 4.13 Análisis costo del T <sub>2</sub> .....	39

### FIGURAS

Figura 4. 1 Dimensiones y componentes del Humedal Artificial .....	27
Figura 4. 2 Porcentaje de remoción del nitrógeno .....	29
Figura 4. 3 Porcentaje de Remoción del Fósforo .....	31
Figura 4. 4 Porcentaje de Remoción del DBO <sub>5</sub> .....	34
Figura 4. 5 Porcentaje de Remoción de la Turbidez .....	36

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar tres tipos de humedales artificiales (ornamental, forrajero y alimenticio) como depuradores de aguas residuales grises en el bosque de la ESPAM "MFL". Además, se determinó el mayor porcentaje de depuración con la acción depuradora de las especies de plantas (*Eichhornia crassipes*, *Chrysopogon zizanioides* y *Oryza sativa*). Para evaluar el humedal con mayor porcentaje de remoción se implementó un DCA conformado por tres tratamientos que corresponden a las tres plantas de estudio (T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>3</sub> respectivamente) con cuatro repeticiones (R<sub>1</sub>, R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub> y R<sub>4</sub>) y un testigo, siendo efectivas variables de estudio las especies de plantas utilizadas para la depuración o remoción; la estadística proyectó como resultado que el tratamiento con mayor porcentaje de remoción fue T<sub>2</sub> o *Chrysopogon zizanioides*, con un promedio de remoción de 89,31% habiendo diferencias significativas en dos parámetros de estudio (DBO<sub>5</sub>, turbidez). De acuerdo con el T<sub>2</sub>, el nitrógeno obtuvo un promedio de remoción de 87,5%, el fósforo con 78,5%, el DBO<sub>5</sub> con 95,75% y la turbidez con 95,5%. Sin embargo, el Oxígeno Disuelto, pH y temperatura para todos los tratamientos actuaron como factores de control ya que su porcentaje de remoción no disminuía; y en cuanto al tratamiento del arroz o T<sub>3</sub> la remoción resultó buena con 82,25%. Estos humedales artificiales son una tecnología que brinda facilidades en su implementación, con un bajo costo económico, valorado en \$90,37 (T<sub>2</sub>) y además, favorece al cuidado del medio ambiente, por lo que se debe aumentar su promoción.

## PALABRAS CLAVES

Aguas grises, fitodepuración, humedales artificiales.

## ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate three types of artificial wetlands (ornamental, forage and food) as purifiers of gray wastewater in the forest of the ESPAM "MFL". In addition, the highest percentage of purification was determined with the purifying action of the plant species (*Eichhornia crassipes*, *Chrysopogon zizanioides* and *Oryza sativa*). To evaluate the wetland with the highest percentage of removal, a DCA was implemented consisting of three treatments that correspond to the three study plants ( $T_1$ ,  $T_2$  and  $T_3$  respectively) with four repetitions ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  and  $R_4$ ) and a control, being effective study variables the species of plants used for purification or removal; The statistics projected as a result that the treatment with the highest percentage of removal was  $T_2$  or *Chrysopogon zizanioides*, with an average removal of 89,31%, with significant differences in two study parameters ( $BOD_5$ , turbidity). According to  $T_2$ , nitrogen obtained an average removal of 87,5%, phosphorous with 78,5%,  $BOD_5$  with 95,75% and turbidity with 95,5%. However, Dissolved Oxygen, pH and temperature for all the treatments acted as control factors since their removal percentage did not decrease; and regarding the treatment of rice or  $T_3$ , the removal was good with 82,25%. These artificial wetlands are a technology that provides facilities in its implementation, with a low economic cost, valued at \$ 90,37 and favors the care of the environment, so its promotion should be increased.

## KEY WORDS

Gray water, phytodepuration, artificial wetlands.

# **CAPÍTULO I. ANTECEDENTES**

## **1.1. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El agua, desde su formación es un elemento indispensable para los seres vivos ya que preserva la biota de cada factor, así como la relación con el medio que le rodea para su sostenibilidad (Esquivel, 2006).

Rodríguez (2002), cataloga que la gestión de los residuos líquidos constituye actualmente uno de los mayores problemas que perjudica al ambiente, economía y sociedad en general; asimismo, se relaciona directamente con la población mundial, es decir a medida que incrementa la masa humana, también se prolifera la masa de residuos.

El manejo y la eliminación de los residuos líquidos domésticos (aguas grises) son problemas críticos en las áreas rurales de Latinoamérica ya que constituye una gran presencia de recursos naturales. (Secretaría Nacional del Agua, 2013). Una de las principales causas de la contaminación de los diferentes cuerpos de agua es la cantidad de nutrientes y materia orgánica que son vertidos en ellos debido a las diferentes actividades antropogénicas (Escobar, 2002).

Dicha contaminación es generada principalmente por las aguas grises residuales que no reciben un tratamiento adecuado, dado que la mayoría de los casos se necesita sistemas de tratamiento eficientes para el manejo de las aguas residuales que requieren inversiones sustanciales de capital que las comunidades no están en posibilidades de pagar. Estas problemáticas nacen de la ausencia de alcantarillado, mala gestión hídrica, colapso de tuberías e inestabilidad económica. (Díaz *et al.*, 2012).

En el contexto local, Manabí no cuenta con un sistema de alcantarillado en buen estado para todos los cantones. Las afectaciones varían de acuerdo a la ciudad, así como por la salinidad y demás componentes agresivos de las aguas residuales. Asimismo, El Diario (2016) redacta que, el cantón Pichincha no cuenta con el sistema de alcantarillado por lo que sus habitantes optan por desechar las aguas grises al ambiente o cualquier cuerpo de agua cercano, generando enfermedades y malestar social.

Lo mismo sucede en el caso del área de estudio, Bolívar, cantón que debido a la inadecuada gestión pública y falta de recursos su sistema de alcantarillado se encuentra obsoleto en lo que corresponde al casco urbano, mientras que en el área rural no cuentan con este servicio público estable y mucho menos con plantas de tratamientos de aguas residuales. Además de los problemas biológicos y de estética, esto conlleva a protestas sociales, como sucedió con un plantón vial por moradores de la ciudadela “María Sol”. (El Diario, 2019).

Debido a la presenta problemática que se genera a partir de las descargas de aguas grises a otros cuerpos de agua o al ambiente, contaminando todo a su paso, Romero (2009), sugiere la implementación de un humedal artificial con plantas depuradoras, que reducirá, controlará y disminuirá la contaminación al ambiente.

De esta manera se plantea la siguiente interrogante, ¿Cuál de los tres tipos de humedales tendrá mejor rendimiento en la depuración de aguas grises para el Bosque de la ESPAM?

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

El artículo 14 de la Constitución de la República del Ecuador, reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano. Asimismo, el artículo 15 de la Constitución ampara la presente investigación, estableciendo que el Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto. Por lo tanto, la implementación de los humedales artificiales contribuirá con la preservación del ambiente y sus componentes.

Desde el punto de vista económico la implementación de humedales artificiales será de bajo costo por lo que sus materiales de construcción se encuentran disponibles en la naturaleza y son de fácil acceso de adquisición.

Dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021, “Toda una Vida”, menciona: “Garantizar el acceso, uso y aprovechamiento justo, equitativo y sostenible del agua; la protección de sus fuentes; la universalidad, disponibilidad y calidad para el consumo humano, saneamiento para todos y el desarrollo de sistemas integrales de riego”; de tal manera se indica que el presente proyecto será enfocado en este Plan para favorecer a la sociedad.

Las comunidades rurales son los principales beneficiados por la implementación de esta tecnología debido a que soluciona dos problemas. El primero y más importante, el tratamiento primario de aguas grises que en la mayoría de las ocasiones es desechada al ambiente sin tratamiento por lo que causa contaminación y perjuicio a la salud, y el segundo proveerá de alimento y estética el lugar debido a las especies que serán implementadas en dicho humedal.

La implementación de esta tecnología es una excelente opción para la solución de este problema debido a la facilidad de su implementación y a la gran eficiencia de depuración siendo una tecnología de gran interés para ser implementada en zonas que no cuenten con el servicio de alcantarillado.

Por tal razón es necesario la implementación de un humedal artificial para la depuración de las aguas grises, ya que es importante disponer de agua de calidad en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, salud y calidad de vida.

### **1.3. OBJETIVOS**

#### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL**

Evaluar tres tipos de humedales artificiales (ornamental, forrajero y alimenticio) para la remoción de aguas residuales grises en el bosque de la ESPAM.

#### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Estudiar tres tipos de humedales artificiales (ornamental, forrajero y alimenticio).
- Determinar la eficiencia de remoción de principales contaminantes.
- Calcular el costo final del humedal artificial de mayor remoción.

### **1.4. HIPÓTESIS**

Al menos uno de los humedales artificiales implementados en Bosque Politécnico obtendrá una mejor eficiencia en la remoción de contaminantes de aguas grises.



## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. AGUA**

El agua es el líquido más abundante de la tierra y es el recurso natural más importante para la vida, la mayor concentración de agua dulce se encuentra en los casquetes polares con el 2 %; el agua subterránea aprovechable hasta los 100 m de profundidad sólo es el 0,5 % y el agua de los lagos y ríos accesibles del mundo el 0,02 %. (Acosta y Martínez, 2010). Esta molécula está formada por tres pequeños átomos, uno de oxígeno y dos de hidrógeno, con enlaces polares que permiten establecer puentes de hidrógeno entre moléculas adyacentes (Toledo, 2002).

### **2.2. AGUAS RESIDUALES**

Se considera aguas residuales a aquellas que son descargadas, como resultado de actividades industriales, municipales, domésticas, pecuarias, agrícolas, etc., que en muchos casos no pueden ser usadas bajo el mismo estado, así como lo argumentan Romero, Colín, Sánchez y Ortiz (2009); es decir tienen que ser tratadas o descontaminadas ya que sus propiedades están alteradas y perjudicarían a otros sistemas acuáticos o sistemas en general.

La procedencia del agua residual en muchos casos indica el grado de contaminación o perjuicio que ocasionaría a otro cuerpo receptor, es así que se implementan tratamientos de este tipo de agua para que disminuya el nivel de contaminación o se elimine por completo (Medina *et al.*, 2007).

### **2.3. AGUAS GRISES**

Las aguas grises son aquellas provenientes de los sistemas de bañera, lavabo, lavadoras, fregadero de la cocina, etc., que una vez que son recicladas o tratadas pueden emplearse para otros usos como riego de plantas, limpieza o baldeo de pavimentos, sin causar daños severos a los cuerpos receptores y sustituyendo en muchas veces el agua potable (Sarmiento, Calderón & Díaz, 2014).

Ramón (2010). Su principal característica es que tienden a presenciar un color gris, de ahí el nombre; a diferencia de las aguas negras que son propias de los inodoros y estas poseen niveles muy altos de materia fecal, mientras que las aguas grises están menos contaminadas de este factor.

### **2.4. DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

La depuración de aguas residuales consiste en eliminar a aquellos agentes que están alterando las propiedades de un cuerpo de agua que ha tenido otro uso; esta

eliminación se enmarca en una serie de procesos físicos, químicos y biológicos, obteniendo resultados favorables, como dice Charris y Caselles (2016), en comparación al agua residual antes de haberla depurado, con el objetivo de ser devuelta al ambiente en buenas condiciones para otras actividades, tales como agrícola, pecuaria, industrial, etc.

Las depuraciones más comunes de aguas residuales son donde intervienen las Estaciones Depuradoras de Aguas Residuales o EDAR, que descontaminan a estos cuerpos de aguas a través de procesos físicos, químicos y biológicos, dándole una mayor eficiencia de remoción y posteriormente un uso que no altere al ambiente (Jaramillo, Agudelo y Peñuela, 2016).

## **2.5. FITODEPURACIÓN**

Proveniente de los vocablos *phyto* que significa planta y *depurare* que significa limpiar o purificar, podemos definir como fitodepuración a la limpieza o purificación del agua a través de los procesos físicos, químicos y biológicos que las plantas desarrollan dentro del sistema en el que están inmersas (Palta, 2013).

## **2.6. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS DE AGUAS RESIDUALES**

### **2.6.1. NITRÓGENO**

El nitrógeno es un elemento químico que representa doble acción para el ecosistema en general; para el ser humano es vital, así como para otros organismos; mientras que, para un sistema hídrico o cuerpo de agua en grandes cantidades, representa una gran amenaza ya que reduce el oxígeno disuelto, amenaza la vida acuática y así mismo es responsable de la eutrofización (Rodríguez y Durán, 2006).

### **2.6.2. FÓSFORO**

Este elemento químico es muy importante para el desarrollo de la vida de cualquier organismo, sea de estructura compleja o simple, considerado un nutriente; así mismo, tiene un gran papel en el mundo celular, es decir con el ADN, ADP, ATP, enzimas polifosfatas, entre otras (Montalvo *et al.*, 2010).

Al ser un factor imprescindible para los seres vivos, en el ecosistema acuático también se lo necesita para el crecimiento de los microorganismos; sin embargo, esta sustancia en grandes cantidades es muy perjudicial para la supervivencia de microorganismos, ya que altera el funcionamiento de este ecosistema, así mismo

dificulta la conservación de especies y reduce la calidad de agua (Araujo y Morales, 2004).

Bedoya, Ardila y Reyes (2014), mencionan que si un cuerpo de agua tiene buenas condiciones para los microorganismos es porque posee mayor cantidad de nitrógeno que de fósforo, de modo que, si las algas y plantas acuáticas no se desarrollan es debido a la falta de fósforo, pero con el vertido de fertilizantes, tensoactivos y otras sustancias fosforadas provenientes de aguas residuales industriales y urbanas, la presencia del fósforo será abundante, crecerán especies de algas en la superficie que impedirán el paso de la luz y así disminuirá la biota con la ausencia de fotosíntesis (González y Saldarriaga, 2014).

### **2.6.3. DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO**

Uno de los parámetros más utilizados para determinar la calidad de un cuerpo de agua es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (Muñoz *et al.*, 2012). Esta variable indica la cuantificación que requieren los microorganismos, especialmente las bacterias aerobias y anaerobias, para degradar u oxidar sustancias orgánicas presentes en el agua (Rivera, 2016).

El DBO, expresado en mg/l, se lo interpreta también como DBO<sub>5</sub> ya que la descomposición se calcula y analiza en 5 días, y ésta depende de una temperatura de 20°C (Recalde, Echeverría y Castro, 2013). Álvarez (2005), menciona que la oxidación de estos microorganismos se relaciona directamente con la cantidad de materia orgánica y la cantidad de oxígeno, es decir, a mayor cantidad de materia orgánica en un cuerpo de agua, mayor sería la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para metabolizarla.

### **2.6.4. OXÍGENO DISUELTO**

En el agua existe el oxígeno proveniente de tres fuentes: de la atmósfera, que es absorbido directamente; de la mezcla turbulenta, por ejemplo, en las olas; y de la fotosíntesis, al momento que las plantas desechan el dióxido de carbono, absorben el oxígeno (Peña, 2007). De esta manera los organismos presentes en el agua necesitan de oxígeno para realizar sus funciones vitales.

De acuerdo a Constanza, Antolinez, Bohórquez y Corredor (2015), así como se produce el oxígeno en el agua, éste también es consumido por las bacterias

descomponedoras de materia orgánica. Por lo tanto, el total de oxígeno disuelto en el agua dependerá de la interacción de producción y consumo de oxígeno.

Este parámetro, es un indicador de la calidad del agua, ya que determina la presencia de organismos que lo necesitan para sobrevivir; si el agua tiene niveles altos de oxígeno disuelto, es habitable, pero si cuenta con niveles bajos de oxígeno, indica que está contaminada y no es apta para el desarrollo de organismos (Caho & López, 2017).

### **2.6.5. POTENCIAL DE HIDRÓGENO**

El potencial de hidrógeno (pH) representa la acidez o alcalinidad del agua, que depende de la concentración de anhídrido carbónico debido a la mineralización total. El rango normal de pH en los ecosistemas acuáticos oscila entre 5,0 y 9,0 (Peña, Rubalcaba, Novo, Rodríguez y Pérez, 2006).

### **2.6.6. TURBIDEZ**

La turbidez es la dificultad del agua para transmitir la luz debido a materiales insolubles en suspensión, coloidales o muy finos, que se presentan principalmente en aguas superficiales (Guzmán, Villabona, Tejada y García, 2013). Según Verbel, Martínez y Gazabón (2013), es difícil de decantar y filtrar, y puede dar lugar a la formación de depósitos en las conducciones de agua, equipos de proceso, etc. Además, interfiere con la mayoría de los procesos a que se pueda destinar el agua (Marcó, Azario, Metzler y García, 2004).

### **2.6.7. TEMPERATURA**

Este parámetro físico indica la interacción de moléculas en un cuerpo, que con la energía cinética de estas moléculas repercute en la variabilidad de calor y frío (Fuentes & Amábile, 2013). Cuando existen cambios de temperatura en un cuerpo de agua, Rubio *et al.*, (2014), menciona que los afectados son los organismos acuáticos, donde lo óptimo es un equilibrio térmico o ser un organismo termófilo, caso contrario los organismos morirán o alterarán el medio acuático.

La temperatura se relaciona mucho con el oxígeno disuelto en el agua, ya que los niveles bajos de temperatura son favorables para la transportación de oxígeno en este medio, y estas condiciones son las más propicias para la supervivencia de los organismos (Álvarez, Ramírez & Sánchez, 2012).

## **2.7. HUMEDAL ARTIFICIAL**

Un humedal artificial es similar al humedal natural, la diferencia más significativa es que en el artificial interviene la acción antropogénica, controlando varios factores con sus respectivos procesos físicos, químicos y biológicos (Romero, Colín, Sánchez y Ortiz, 2009). En los humedales artificiales se eliminan los agentes contaminantes presentes en un cuerpo de agua, a través de plantas o por acción de microorganismos (Arias y Brix, 2003).

Cano (2003), menciona que los principales componentes de este sistema de purga son la vegetación, el sustrato filtrante de sólidos y materia orgánica, y el agua a depurar, que en muchos casos es agua residual. Asimismo, Delgadillo (2010) señala que el potencial de este sistema depurador está dado por la fijación de materia orgánica en la superficie del suelo, acción microbiana y eficiencia de remoción alta, todo esto con un bajo presupuesto.

Para Rodríguez y Durán (2006), la forma más común de alimentar al humedal artificial es mediante un sistema de canalización de las aguas grises, es decir que la procedencia del agua a depurar, como industrial, doméstica, pecuaria o municipal, transporte el agua mediante tuberías, de esta manera se tendría el afluente; mientras que el efluente sería el agua descontaminada (Bedoya, Ardila y Reyes, 2014).

### **2.7.1. TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES**

#### a) HUMEDALES DE FLUJO SUPERFICIAL

Ferrer (2012) afirma que este tipo de humedales tiene la principal característica que el agua fluye sobre el terreno, expuesta directamente a la atmósfera y al sol. Las aguas residuales deben tener un tratamiento previo para prevenir el exceso de sólidos y basura que pueden alterar el funcionamiento del sistema.

El canal es recubierto con un material impermeable como una geo-membrana o una barrera de arcilla, cubierta de tierra y gravas como sustratos donde es plantada la vegetación, luego de esto el humedal es inundado por aguas contaminadas hasta una altura de 10-45 cm por encima del nivel del terreno, el agua fluirá lentamente a través del humedal, donde se filtran los sólidos por la acción de los sustratos, se degrada la materia orgánica y se eliminan los nutrientes por los procesos fisicoquímicos y biológicos que realizarán las plantas. La eficiencia de los humedales artificiales de flujo superficial depende de la buena distribución de agua en la entrada (Hernández, 2006)

Aunque la capa de tierra bajo el agua es anaerobia, las raíces de las plantas liberan oxígeno en el área que rodea los pelos radiculares, creando un entorno idóneo para las actividades químicas y biológicas.

#### b) HUMEDALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL

Este tipo de humedales tiene la característica que la circulación del agua es de tipo subterráneo a través de un medio granular y en contacto directo con las raíces y rizomas de las plantas, la profundidad del material impermeable puede estar de 0,3 a 0,9 m. en este tipo de sistemas se forma una biopelícula que son de gran utilidad en procesos de descontaminación (García Serrano y Corzo Hernández, 2008)

Dependiendo del sentido de la circulación del agua se clasifican en verticales y horizontales. La diferencia importante entre humedales verticales y horizontales no sólo es la dirección del flujo, sino las condiciones aeróbicas (Ferrer, 2012).

#### c) HUMEDALES DE FLUJO VERTICAL

En este tipo de humedales las aguas contaminadas se vierten en la superficie del humedal desde arriba con la ayuda de un sistema mecánico de dosificación, de esta manera el medio granular no está permanentemente inundado. Le agua fluye de manera vertical hacia abajo por la matriz del filtro (Rodríguez y Durán, 2006).

#### d) HUMEDALES DE FLUJO HORIZONTAL

En este tipo de humedales el agua circula de manera horizontal, se caracteriza por funcionar la mayor parte del tiempo inundado, el agua se mantiene entre 0,05 y 0,1m por debajo de la superficie y con cargas alrededor de  $6000\text{mg DBO}/\text{m}^2\cdot\text{día}$ .

Están conformados por los siguientes elementos:

- a) Entrada del afluente
- b) Capa impermeable
- c) Medio granular
- d) Vegetación típica de zonas húmedas.
- e) Salida de agua, regulable.

Entrada y Salida Los humedales necesitan una buena distribución de flujos tanto a la entrada como a la salida para alcanzar los rendimientos requeridos. El agua residual se transporta hacia una arqueta y por medio de diferentes tuberías se distribuye al lecho, o también se puede llevar el agua hacia un canal con vertederos que la distribuye homogéneamente por el ancho del sistema. La recogida del agua de salida

se realiza con una tubería perforada que se encuentra en el fondo del humedal, y se conecta con otra en forma de “L” invertida con altura regulable. Esta estructura permite modificar el nivel de agua y drenar el agua durante el mantenimiento.

#### **a) Capa Impermeable**

Limita el sistema y previene la contaminación de aguas subterráneas. Dependiendo de las condiciones es suficiente una compactación del terreno con los materiales presentes en el sitio o en otros casos se emplea arcilla o láminas sintéticas (geomembranas).

#### **b) Medio Granular**

En la entrada y salida se colocan piedras que permiten diferenciar estas zonas. El conjunto medio granular/biopelícula/plantas es considerado como el principal constituyente de los humedales, ya que aquí ocurren múltiples procesos como la retención de partículas gruesas, sedimentación de materia en suspensión, degradación de materia orgánica, transformación y aprovechamiento de nutrientes y la inactivación de microorganismos patógenos. El medio granular debe ser limpio, homogéneo, duro, durable, y capaz de mantener su forma a largo plazo, además debe permitir un buen desarrollo de las plantas y de la biopelícula. Otra característica del medio granular es su conductividad hidráulica ya que de ella depende la cantidad de flujo de agua que circula por el medio granular. La conductividad hidráulica disminuirá con el paso del tiempo.

### **2.8. VEGETACIÓN EN HUMEDALES ARTIFICIALES**

En los humedales artificiales, la acción de depuración de aguas residuales a través de plantas, se le conoce como fitodepuración (Martínez, Toro, Rojas, Giraldo y Ángel, 2010), en la que implica el potencial purgador que tienen las plantas, en muchos casos las nacrófitas enraizadas adheridas a un sustrato de grava. Para que esta intervención vegetal resulte positiva, es necesario la interacción física, química y biológica de las nacrófitas con los demás elementos del humedal, y así obtener un efluente depurado (Berlanga, Ruiz y Lanza, 2008).

La presencia de vegetación tiene un efecto regulador sobre las características hidráulicas de los humedales artificiales. Los tallos de las plantas distribuyen y reducen la velocidad del agua favoreciendo la sedimentación de sólidos en suspensión, reduciendo el riesgo de erosión y de resuspensión e incrementando el

tiempo de contacto entre el agua y la superficie de la planta. El dosel formado por la parte aérea de los macrófitos emergentes reduce la velocidad del viento en la superficie del agua lo que afecta a la sedimentación y resuspensión de los sólidos y a la aireación de la columna de agua. Además, la cobertura del dosel atenúa la luz que llega a la superficie del agua, por lo que se disminuye la producción de algas. La presencia de vegetación previene la congelación del sustrato durante el invierno y lo mantiene fresco durante la primavera (Brix, 2003). Por último, también ejerce un efecto de filtración y actúa como sustrato para microorganismos y macroinvertebrados.

Para Peralta y Moreno (2009), entre los tipos más utilizados para este prototipo de fitodepuración en humedales artificiales, están las plantas de tipo ornamental, forrajero y alimenticio. Que, a pesar de sus funciones autónomas, poseen también propiedades depuradoras de contaminantes (Luna y Aburto, 2014).

### **2.8.1. ORNAMENTAL**

Este tipo de plantas se identifican por las características estéticas que poseen, ya que sus hojas, flores, frutos, aroma y diseño florístico, y esto agrada visualmente a la sociedad, por tal motivo muchas personas las conservan en sus hogares, lugares de trabajo, instituciones públicas y privadas, iglesias, etc. (de Zayas, 2008).

- **EICHHORNIA CRASSIPES**

También conocido como lechuguín o jacinto de agua; particularmente viven en sitios de aguas calmadas como lagunas, lagos, presas, etc., en un gran número ya que tienen una capacidad de multiplicarse rápidamente (Villamanga y Murphy, 2010). Esta especie a más de tener una flor muy estética posee propiedades de depuración de agentes contaminantes específicamente en cuerpos de agua (Mohanty, Meikap y Biswas, 2006).

Según Lu, Kruatrachue, Pokethitiyook y Homyok (2004), para que el lechuguín tenga condiciones de desarrollo estables necesita áreas de gran espacio, con aguas calmadas; químicamente un pH de 6,8 y 7,5 y temperaturas entre 16 y 27°C; además de un sustrato uniforme donde puedan disponer sus raíces libremente, asimismo dispuesto de nutrientes y abonos (Nigam, 2002).



Para Mishra y Tripathi (2009), en la actualidad es muy importante la presencia de esta especie en cuerpos de agua contaminados ya que actúa como fitorremediador, es decir, absorbe del sistema hídrico todos los nutrientes necesarios para su metabolismo, como el nitrógeno, fósforo, calcio, cloro, carbonato, nitrito, etc. (Torres, 2009). Además, sus raíces son un gran hábitat para microorganismos y algunos animales acuáticos como camarones, pescados y langostinos (López, 2012), y asimismo retienen metales como cadmio, mercurio y Arsenio (Alvarado, 2013).

El metabolismo de estas plantas interviene en la eliminación de contaminantes en los humedales artificiales mediante la captación de nutrientes que la planta toma a través de su sistema radicular para su crecimiento y reproducción. Estos nutrientes son retirados del agua residual y pasan a formar parte de los tejidos de la planta, pero si no se realiza una cosecha periódica la mayor parte de los nutrientes incorporados volverán al agua después de su descomposición

### **2.8.2. FORRAJERO**

Este término se refiere a aquellas especies del reino vegetal que forman parte de la cadena alimenticia de un ganado (Peters, Franco, Schmidt y Hincapie, 2003), donde los principales ejemplares son las gramíneas y leguminosas, estas se aprovechan por medio de pastoreo en cualquier instancia de su ciclo (Quero, Enríquez y Miranda, 2007). Además, son un gran controlador de malezas y de eliminar contaminantes indeseables en distintos tipos de ecosistemas (Vega, 2002).

- **CHRYSOPOGON ZIZANIOIDES**

Su nombre común es el de pasto vetiver, perteneciente a la familia de las gramíneas; con un promedio de altura de 1,5 metros y se caracterizan por el crecimiento de sus raíces que alcanzan hasta los 3 metros de profundidad, asimismo sus hojas con una longitud de hasta un metro (Scavo, Rodríguez y Luque, 2004).

Esta planta que a simple vista parece no tener beneficios para el ser humano, pero es de gran ayuda ya que posee propiedades fitodepuradoras para suelos y aguas contaminadas (Alegre, 2007), además de otros usos como agroforestería, medicina, biorremediación y artesanía (Soto, 2011).

Para Orejuela (2007), su potencial fitorremediador se enmarca en la acumulación de metales por medio de las raíces en cualquier tipo de ecosistema, sea en cuerpo de

agua residual o suelo contaminado. Esto sucede, porque la capacidad de acumulación de la planta es alta, así como también de tolerarlos, y con el tiempo va realizando estas funciones hasta extraer los contaminantes, con una eficiencia de remoción de hasta un 75% (Santana y Santos, 2016).

### 2.8.3. ALIMENTICIO

Delgadillo, González, Prieto, Villagómez y Acevedo (2011), consideran que esta es una de las formas menos comunes de fitodepuración por la estrecha relación de este tipo de plantas con las necesidades del ser humano, pero poseen un gran potencial para depurar contaminantes, como metales y materia orgánica, que a su vez ofrecen un resultado positivo con el fruto de este (García, 2007). Los ejemplares para este tipo de acciones son el *Zea mays*, *Oryza sativa*, *Phaseolus vulgaris*, etc.

- ORYZA SATIVA

El arroz desde los inicios ha aportado a la nutrición del ser humano, siendo en la actualidad consumida por la mayoría de la población mundial; por otro lado, esta especie es considerada de alta importancia en el contexto de las aguas residuales, ya que interactúa en el proceso de depuración de contaminantes, en especial del nitrógeno, absorbiéndolo considerablemente; para que este proceso resulte efectivo, es idónea la presencia de dureza del agua, conductividad y contenido de calcio. (Martínez, 2004). Se considera a la *Oryza sativa* una gran fitodepuradora tanto para aguas y suelos contaminados (Sinchi, 2019).

## 2.9. SUSTRATOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

Tabla 2.1 Características del sustrato de humedales artificiales

Tipo De Material	Tamaño Efectivo D10mm	Porosidad N%
Roca	100 : 150	38 : 45
Arena	0,005 : 2	28 : 32
Grava	23	35 : 40

Fuente. Rodríguez (2017). Diseño de un Humedal Artificial para el Municipio Arcos de las Salinas. Tratamiento de aguas.

### 2.9.1. ROCA

La piedra es un material de construcción utilizado desde hace millares de años. Por sus características y cualidades, hoy día aún se sigue edificando utilizando distintos tipos de piedras. Una piedra puede tener origen mineral o bien ser una roca. Los minerales son sustancias homogéneas mientras que las rocas están formadas por acumulación de varios materiales (Ramón, 2010).

La roca tiene un papel fundamental desde el momento que entra el caudal al sistema, así lo indican Luna y Arbusto (2014), ya que es capaz de retener partículas y desechos, obteniendo alrededor de un 44% de tratamiento a los humedales.

### **2.9.2. ARENA**

Están formadas por granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, sus partículas varían entre 0,05 mm y 2 mm de diámetro. El origen y la existencia de arenas es análoga a la de las gravas: las dos suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. El conjunto de partículas de rocas disgregadas hace referencia a este tipo material. Su utilidad en filtrar materiales mayores a su tamaño es muy significativa separar diferentes tamaños de sólidos (Ramón, 2010).

### **2.9.3. GRAVA**

También conocida como gravilla; es un material sólido que puede ser originado a través de la mano del hombre o de forma natural. En este caso, suele proceder del desgaste natural debido a factores como la erosión y temperaturas altas. El tamaño de este tipo de áridos oscila entre los 2 y 64 mm. Además de su utilidad para la construcción, también funciona como un buen filtro de sólidos y partículas más grandes que su tamaño (Rivera, 2016).

## **2.10. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES EN LOS HAFSS**

Presentan ventajas sobre los HAFS (Humedales Artificiales de Flujo Superficial), por lo que estos sistemas tienen la capacidad de eliminar la  $DBO_5$  y de nitrificar el agua tratada a niveles similares a los tratamientos secundarios o terciarios, a pesar de que la tasa de eliminación de fósforo no sea la mejor (tabla 2.2) (Arias & Brix, 2003).

También, existe un mejor control de olores y de vectores, un aislamiento térmico y una mayor proliferación de microorganismos, debido a una mayor superficie específica proporcionada por el material de relleno (Arias, 2004).

**Tabla 2.2** Eficiencia de remoción de contaminantes en los HAFSS

Parámetro	Eficiencia De Remoción	
	HAFSSH	HAFSSV
Retención de sólidos suspendidos	Alta	Baja
Eliminación de materia orgánica	Media	Alta
Saturación de oxígeno del efluente	Baja	Alta
Eliminación de coliformes totales	Alta	Alta
Tasa de eliminación de fósforo	Mala	Mala
Tasa de desnitrificación	Media	Alta
Tasa de nitrificación	Mala	Alta

*Fuente.* Modificado de Arias y Brix, 2003; Morató *et al.*, (2006). \*HAFSSH (Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial Horizontal), HAFSSV (Humedal Artificial de Flujo Sub Superficial Vertical).

## 2.11. CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE HUMEDAL ARTIFICIAL

El aumento de aplicación de HA como sistema de tratamiento, en conjunto con las estrictas normas de calidad del agua, ha sido un estímulo para el desarrollo de mejores herramientas de diseño. En ese sentido los criterios empíricos de diseño, las ecuaciones de primer orden y las modelaciones numéricas son los métodos de diseño más empleados (Buchberger y Shaw, 1995; Rousseau, Vanrolleghem, y De Pauw, 2004).

El diseño que se obtiene como resultado por los métodos anteriores debe ajustarse a ciertas recomendaciones, como lo son el tiempo de retención hidráulica, la relación largo-ancho, la profundidad y la pendiente establecidas (tabla 2.3). Por otro lado, el diseño también debe de tomar en cuenta aspectos como: Localización geográfica del sistema, características climáticas del sitio, extensión del terreno disponible, calidad del influente/efluente y límites máximos permisibles de contaminantes establecidos por la legislación vigente (Rousseau *et al.*, 2004; Hinojosa, Sidrach, Martín, y Bécares, 2010).

**Tabla 2.3** Parámetros de diseño para la construcción de HA

Parámetro	HAFS	HAFSSH	HAFSSV
Carga orgánica entrante ( $\text{kg}_{\text{DBO}_5} \text{d}^{-1} \text{m}^{-2}$ )	<0,0112	<0,0150	<0,0112
Carga hidráulica ( $\text{m d}^{-1}$ )	<0,05	<0,05	<0,05
Tiempo de retención hidráulica (d)	5-15	>5	1-2

Parámetro	HAFS	HAFSSH	HAFSSV
Área específica (m <sup>2</sup> )	5-20	5-20	1-5
Relación largo-ancho (m <sup>2</sup> )	10:1	3:1	NA
Profundidad (m)	<0,6	<0,6	>1
Pendiente (%)	0,5	0,5	NA
Relleno	NA	Grava	Grava
Vegetación	Variable	Variable	Variable

*Fuente:* Modificado de Arias y Brix, 2003. NA=No aplica. \*HAFS (Humedal Artificial de Flujo Superficial).

## 2.12. DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR

Se trata de un diseño aleatorio que está relacionado a una serie de experimentos en el que incluyen varios tratamientos que tienen que ser comparados a través de variables. Este diseño se ve determinado por la distancia entre los tratamientos, es decir si existe una diferencia significativa a través de los resultados (Morales, 2008).

## CAPÍTULO III. DESARROLLO METODOLÓGICO

### 3.1. UBICACIÓN

La presente investigación se realizó en el área del Bosque Politécnico de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí “Manuel Félix López”, el cual cuenta con las siguientes coordenadas:

NÓMINA	COORDENADA	
	UTMX	UYMY
CASA BOSQUE POLITÉCNICO	590837,4	9908711,2

### 3.2. DURACIÓN

ECUADOR - MANABÍ - BOLÍVAR - ESPAM MFL	HUMEDALES ARTIFICIALES
--	------------------------



	<b>UBICACIÓN LOCAL</b> 	1 cm = 0 km 0 0,00 0,02 0,04 0,06 0,08 Kilometers Sistema de Coordenadas: WGS 1984 UTM 17S Proyección: Universal Mercator Fecha Elaboración: Agosto de 2019	<b>UBICACIÓN NACIONAL</b> 	<b>ELABORADO POR:</b> ANTHONY JESÚS PÁRRAGA MENDOZA <hr/> <b>PROYECTO:</b> EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES (ALIMENTICIO, FORRAJERO, ORNAMENTAL) COMO DEPURADOR DE AGUAS GRISAS EN LA ESPAM MFL <hr/> <b>APROBADO POR:</b> ING. TERESA VIVAS SALTOS
--	----------------------------	---	-------------------------------	--

El trabajo tuvo una duración de aproximadamente 9 meses, tiempo aproximado desde su aprobación.

### 3.3. MÉTODOS Y TÉCNICAS

#### 3.3.1. Cuantitativo experimental

La presencia de este método fue de mucha importancia ya que sirvió para manipular la variable independiente; se evaluó el efecto de la variable independiente (Tipos de Humedales Artificiales) sobre la dependiente (depuración de contaminantes de aguas grises).

#### 3.3.2. Bibliográfico

Esta técnica fue de suma importancia en el estudio práctico y teórico, referente a cada temática, variable y factor; se llevó a cabo mediante libros, revistas científicas, marco legal, etc.

### 3.4. FACTORES EN ESTUDIO

**Factor:** Agua residual gris

#### 3.4.1. NIVELES

Tabla 3.1 Niveles y tratamientos

Nivel	Tratamiento
T <sub>0</sub>	Tratamiento control, sin plantas
T <sub>1</sub>	<i>Eichhornia crassipes</i>
T <sub>2</sub>	<i>Chrysopogon zizanioides</i>
T <sub>3</sub>	<i>Oryza sativa</i>

Nota. T<sub>0</sub> llamado también "Testigo".

### 3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

Esta investigación fue de carácter experimental y estuvo sujeta a un Diseño Completamente al Azar (DCA); se realizaron tres tratamientos y un testigo control; a cada tratamiento se le efectuaron cuatro réplicas, con un total de 12 unidades experimentales. Por la tanto, los análisis de DBO<sub>5</sub>, Nitrógeno, Fósforo, Oxígeno Disuelto, turbidez, pH y temperatura variaron en cada réplica.

### 3.6. UNIDAD EXPERIMENTAL

El total de las combinaciones de los tratamientos fue de 12 unidades, es decir tres tratamientos con cuatro réplicas (añadiendo un testigo). Con respecto a las combinaciones de cada tratamiento, el sustrato fue el mismo para todos, solamente variaron las plantas. Para los tratamientos de los humedales se aprovechó el caudal del agua de la casa del Bosque Politécnico del cantón Bolívar.

Tabla 3.2 Nomenclatura de los tratamientos

Unidades Experimentales	Combinaciones			
	Tipo De Planta	Tamaño De Roca	Tamaño De Grava	Tamaño De Arena
T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	<i>Eichhornia crassipes</i>	≥ 150 mm	30 mm	0,007 mm
T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>				
T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>				
T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>				
T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	<i>Chrysopogon zizanioides</i>	≥ 150 mm	30 mm	0,007 mm
T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>				
T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>				
T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>				
T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	<i>Oryza sativa</i>	≥ 150 mm	30 mm	0,007 mm
T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>				
T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>				
T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>				
T <sub>0</sub>	Sin Planta			

Nota. El tamaño de cada sustrato del HA son números promediados.

### 3.7. VARIABLES POR MEDIR

#### 3.7.1. Variable dependiente

Depuración de aguas grises

#### 3.7.2. Variable independiente

Tres tipos de humedales (ornamental, forrajero y alimenticio) de especies vegetales.

#### 3.7.3. Variables para monitorear

Tabla 3.3 Parámetros por medir

Parámetros	Unidades
Nitrógeno	mg/l
Fósforo	mg/l
DBO <sub>5</sub>	mg/l
Oxígeno Disuelto	mg/l
Potencial de Hidrógeno	Unidades de pH
Turbidez	FAU
Temperatura	°C

Nota. Solamente serán estudiados N, P, DBO<sub>5</sub>, Turbidez.



### **3.8. MANEJO DEL EXPERIMENTO**

El procedimiento se desarrolló en base a los objetivos específicos:

#### **3.8.1. FASE 1. ESTUDIO DE TRES TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES (ORNAMENTAL, FORRAJERO Y ALIMENTICIO).**

##### **3.8.1.1 Actividad 1. Construcción de humedales artificiales:**

Para el diseño y construcción de cada Humedal Artificial se tomaron en cuenta las dimensiones, a partir de López, (2016).

El sistema que se implementó sirvió para tratar las aguas grises de la casa del Bosque Politécnico. Se procedió a elaborar trece humedales artificiales con recipientes plásticos tipo maceta las cuales tenían 52 cm de largo, 15 cm de ancho y 20 cm de altura. En la parte inferior de cada humedal se encuentra una salida que es controlada con una llave de paso para la toma de muestra del agua tratada. En la base de los humedales se realizó una excavación de tierra hasta tener una pendiente del 1% para obtener el flujo continuo. Todos los humedales contenían roca, grava y arena y como especies depuradoras una variable que comprendió en jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*), pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) y arroz (*Oryza sativa*) de agua respectivamente.

##### **3.8.1.2 Actividad 2. Implementación de humedales artificiales**

El aprovechamiento específico para el tratamiento mediante los humedales artificiales fue a través de las descargas de las aguas grises, provenientes del fregadero y del lavabo de la casa en estudio; así mismo apoyado en los estudios de Cantillo y Corpus (2018), el agua gris circulada desde su respectivo fregadero, hacia un tanque o reservorio de capacidad de 800 litros almacena el agua a tratar para regular el caudal y disminuir la velocidad.

##### **a) Estructura de entrada y salida**

El ingreso del agua gris generada por el fregadero se realizó a través de una tubería de PVC de 1/2", garantizando el fácil ingreso al sistema de tratamiento. Para el egreso del agua por el efluente, es decir desde el sistema de tratamiento hacia el exterior se lo realizó con una tubería de PVC de 1/2", la misma que tenía una llave de paso.

### b) Tipo de sustrato

El sustrato que se empleó en los humedales artificiales fue la roca, grava y arena, bajo la metodología de López, (2016), con un tamaño que variaba entre los 150 mm, 30 mm y 0,007 mm respectivamente, los mismos fueron apilados por capas y con el orden de mayor tamaño a menor tamaño, de tal manera que proporcione la porosidad de 35% como lo recomienda la EPA (2016). El humedal tuvo una distribución por espesor, es decir, mientras se asciende en el humedal los niveles dimensionales aumentan; al igual en las salidas y entradas del humedal se colocaron las piedras, con el fin de evitar taponamientos y posibles obstrucciones en esos puntos.

La adición del sustrato se distribuyó en tres capas con respecto a la profundidad del humedal (Vinueza, 2014) siendo la capa inferior de 5 cm de la roca con un diámetro alrededor de los 150 mm, la capa intermedia de grava de 3 cm con un tamaño alrededor de 30 mm y la capa superior de arena de 5 cm con un diámetro alrededor de 0,007mm.

Previo a la distribución de los sustratos se calculó el volumen correspondiente de cada una de las capas de acuerdo a la forma tronco piramidal rectangular que tenía el recipiente de tipo maceta que se utilizaron como humedales artificiales; con la fórmula empleada por Pantoja (2018) que se describe a continuación en la ecuación 3.1:

$$V = \frac{h}{3} (ABM + ABm + \sqrt{ABM * ABm}) \quad [3.1]$$

Donde:

V= volumen

h= Altura

ABM= Área de la base mayor

ABm= Área de la base menor

El sustrato de la roca usado como medio filtrante, se recolectó en su forma natural en el estero San Plácido de la parroquia San Plácido y trasladada a las instalaciones del bosque politécnico. De esta se seleccionaron granulométricamente las más acercadas a los 150 mm de diámetro a luego colocarlas en cada recipiente que se transformaría en un humedal artificial. La grava y la arena, fueron recolectadas en río Carrizal del cantón Bolívar.

### 3.8.1.3 Actividad 3. Selección de Plantas depuradoras

Para la selección de las plantas, instrumento fundamental para el sistema fitodepurador, se utilizaron criterios mencionados en el Manual de Humedales Artificiales (2008) emitidos por la ONU – HÁBITAT, como:

- a) Que las plantas sean locales y de fácil acceso.
- b) Que sus raíces penetren profundamente.
- c) Que sus rizomas y raíces sean fuertes y fibrosas.
- d) Que asimilen los nutrientes y depuren contaminantes.
- e) Que sean estéticas.

De esta manera se escogieron las plantas de tipo Ornamental, Forrajero y Alimenticio; la representante de tipo ornamental fue *Eichhornia crassipes* o jacinto de agua, del tipo forrajero fue *Chrysopogon zizanioides* o pasto y alimenticio fue *Oriza sativa* o arroz. El jacinto de agua se lo recolectó en la Represa “La Esperanza” de la parroquia Quiroga del cantón Bolívar. Se los colocaron en el centro de cada humedal del tratamiento alrededor de 15 plantas; Para el pasto, se lo adquirió en los potreros de la parroquia San Plácido y se plantaron alrededor de 15 plantas en cada humedal. El arroz fue recolectado en semilla en las plantaciones de Rocafuerte, ya que el uso de suelo predominante en el sector es agrícola; esta planta se la colocó en el sistema en la parte superior del sustrato para que las raíces puedan adherirse con facilidad. Para este tratamiento se utilizaron 25 plantas debido a que su espacio en el humedal era menor, comparado con las demás plantas.

## 3.8.2. FASE 2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PRINCIPALES CONTAMINANTES.

### 3.8.2.1 Actividad 4. Caracterización del afluente

El agua a tratar se recolectó en un tanque de un metro cúbico, la cual provenía de la casa del bosque politécnico generada en el fregadero que utilizan los 11 trabajadores y los estudiantes cuando realizan sus prácticas. El agua gris a tratar contiene principalmente residuos de alimentos y tensoactivos.

### 3.8.2.2 Actividad 5. Análisis físico químico

Finalmente instalado e implementado el sistema con los trece humedales artificiales se procedió a muestrear el agua del reservorio y luego la toma de muestra de cada

tratamiento; esta acción se la realizó con el fin de analizar y comparar los parámetros de estudios que indicaron el comportamiento y eficiencia de los tratamientos.

Para la recolección de las muestras del agua de estudio se acogió la Norma Técnica Ecuatoriana del Instituto Ecuatoriano de Normalización 2176:2013 y 2226:2013 conforme a las técnicas de muestreo y con la NTE INEN 2169:2013 que consistió en llenar un recipiente limpio y taparlo de tal forma que no exista aire sobre la muestra, para que no haya alteración de parámetros y del transporte al laboratorio para su posterior análisis en el Laboratorio de Química Ambiental de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. En la tabla 3.4 se muestran los parámetros que se analizaron con su respectivo método para realizar el mismo.

**Tabla 3.4** Parámetros en estudio.

Parámetros	Método
Nitrógeno	HACH 8075
Fósforo	NOVA 60 14543
DBO <sub>5</sub>	S.M. ed21. 2005. 5210B
Oxígeno Disuelto	S.M. Ed21. 2005. 2510B
Potencial de Hidrógeno	S.M. Ed21. 2005. 4500H+B
Turbidez	S.M. NOVA 60
Temperatura	S.M. Ed21. 2005. 2550B

Nota. Metodología tomada del laboratorio de ESPAM MFL

### 3.8.2.3 Actividad 6. Cálculo de eficiencia de remoción

Esta se realizó por cada parámetro de estudio, es decir del nitrógeno, fósforo, DBO<sub>5</sub>, y Turbidez, cada uno con sus respectivos cálculos de remoción. En cuanto a la temperatura, Oxígeno disuelto y pH no se efectuó la eficiencia de remoción debido a que son parámetros de control. Para calcular la eficiencia de remoción del humedal conforme a los parámetros que se quería remover (DBO<sub>5</sub>, nitrógeno, fósforo, turbidez,) se dio por una relación matemática que permitió analizar el comportamiento de las concentraciones iniciales de los contaminantes, es decir en el afluente (fórmula 3.2, con respecto al resultado del laboratorio después de su paso por el sistema de depuración, es decir en el efluente (Rodríguez y Durán, 2006).

$$\%E_R = \left( \frac{C_e - C_s}{C_e} \right) * 100 \quad [3.2]$$

Donde:

$E_R$  = Eficiencia de remoción

$C_e$  = Concentración inicial del parámetro (afluente)

$C_s$  = Concentración final del parámetro (efluente)

El volumen de agua contaminada que ingresó a cada humedal fue de 4L y con la ayuda de una llave de paso ubicado en la parte baja de cada humedal se controló el tiempo de retención hidráulica de 5 días cómo se manifestó en los parámetros de diseño impuestos por Rousseau *et al.*, 2004; Hinojosa, Sidrach, Martín, y Bécares, (2010).

#### **3.8.2.4 Actividad 7. Comparación con Normativa TULSMA**

Después de analizar las muestras del agua de estudio del reservorio del afluente y de cada humedal del efluente se compararon con la Normativa Ambiental Ecuatoriana, correspondiente al Libro VI Anexo 1 tabla 12 del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce), con el objetivo de verificar el cumplimiento con la Normativa Ambiental del TULSMA.

#### **3.8.2.5 Actividad 8. Análisis Estadístico**

Las variables serán sometidas al respectivo análisis de varianza a través de los softwares INFOSTATT y SPSS:

- a) Prueba de Tukey al  $\pm 0,05$
- b) Análisis de Varianza (ANOVA)
- c) Diagrama de cajas (gráficos)
- d) Excel (gráficos)

### **3.8.3. FASE 3. CALCULAR EL COSTO FINAL DEL HUMEDAL ARTIFICIAL DE MAYOR REMOCIÓN.**

#### **3.8.3.1 Actividad 9. ANÁLISIS DE COSTO**

Para el cálculo del costo total del tratamiento con mayor porcentaje de remoción, se realizó un detalle de los materiales utilizados para la elaboración de este.

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. ESTUDIO DE TRES TIPOS DE HUMEDALES ARTIFICIALES

#### (ORNAMENTAL, FORRAJERO Y ALIMENTICIO).

Las cantidades de los sustratos utilizados se detallan en tabla 4.1 con el respectivo porcentaje de espacio ocupado en cada unidad experimental (humedal artificial).

Tabla 4.1 Dimensiones de sustratos de los humedales artificiales

Tratamiento	Sustrato	Altura (cm)	Porcentaje
T <sub>1</sub>	Arena	5	25%
	Grava	3	15%
	Roca	5	25%
	Depurador (jacinto de agua)	7	35%
T <sub>2</sub>	Arena	5	25%
	Grava	3	15%
	Roca	5	25%
	Depurador (pasto)	7	35%
T <sub>3</sub>	Arena	5	25%
	Grava	3	15%
	Roca	5	25%
	Depurador (arroz)	7	35%
TESTIGO	Arena	5	25%
	Grava	3	15%
	Roca	5	25%

Nota. La vegetación puede alcanzar una altura que puede superar los 7 cm.

El volumen de cada medio filtrante se pasó a unidades en cm<sup>3</sup>; de acuerdo a lo descrito en la ecuación 4.1 para poder hacer uso de una probeta en la cual se midió y se procedió a verter los medios filtrantes.

$$V = \frac{h}{3} (ABM + ABm + \sqrt{ABM * ABm}) [4.1]$$

- Volumen de la capa de grava

$$V = \frac{3}{3} (682,496 + 660,52 + \sqrt{682,496 * 660,52})$$

$$V = 2014,43 \text{ cm}^3$$

- Volumen de la capa de roca

$$V = \frac{5}{3} (660,52 + 624 + \sqrt{660,52 * 624})$$

$$V = 3210,86 \text{ cm}^3$$

- Volumen de la capa de arena

$$V = \frac{5}{3} \left( 720,544 + 682,496 + \sqrt{720,544 * 682,496} \right)$$

$$V = 3507,17 \text{ cm}^3$$

Antes de verter los medios filtrantes se realizó una aleatorización para establecer las variables y niveles a estudiar en cada filtro. En la tabla 4.2 se muestra el número de humedales artificiales con cada tratamiento y la debida nomenclatura.

**Tabla 4.2** Aleatorización de humedales artificiales.

Nº Humedales artificiales	Tratamiento
1	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub> (arroz)
2	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub> (pasto)
3	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub> (pasto)
4	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub> (jacinto de agua)
5	T <sub>2</sub> R <sub>1</sub> (pasto)
6	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub> (jacinto de agua)
7	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub> (jacinto de agua)
8	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub> (pasto)
9	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub> (arroz)
10	TESTIGO
11	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub> (jacinto de agua)
12	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub> (arroz)
13	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub> (arroz)

Nota. La aleatoriedad de Humedales Artificiales es de propia fuente.

Con el volumen del reservorio del agua gris proveniente de las actividades de la casa del Bosque se racionó a cada uno de los humedales a un volumen de 2 litros respectivamente para que el agua a tratar pueda cumplir con la condición de los humedales artificiales horizontales de flujo sub-superficial reflejado en la tabla 2.3 (Parámetros de diseño para la construcción de HA.) en donde refiere que el tiempo de retención hidráulica (TDRH) óptimo para la depuración es de cinco días, esto se controló por la llave de paso en cada salida de los humedales.

Las dimensiones establecidas por López (2016) y aplicadas en cada humedal artificial se graficaron en el software Autocad para una visualización más estética y específica y así mismo una mayor comprensión (figura 4.1).

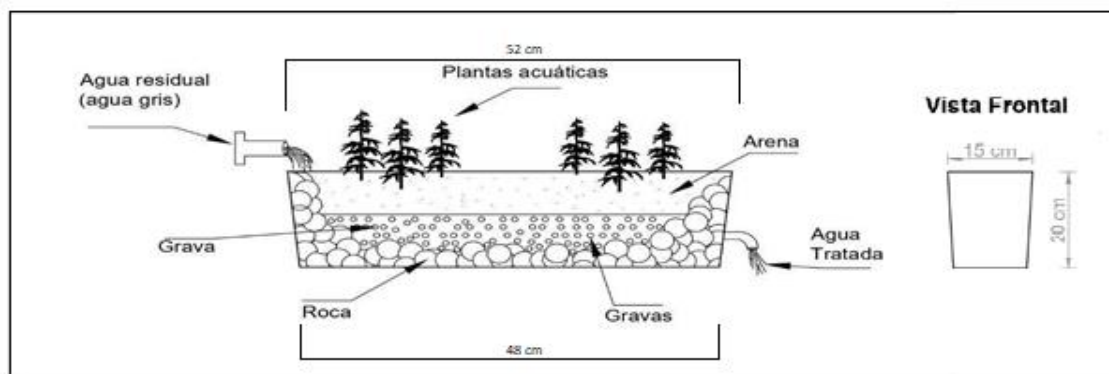


Figura 4.1 Dimensiones y componentes del Humedal Artificial

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PRINCIPALES CONTAMINANTES

La tabla 4.3 muestra los resultados de los análisis fisicoquímicos de cada parámetro de estudio en el afluente de todo el sistema que comprende el Humedal Artificial. En base a cada dato de esta tabla se determinará la eficiencia de remoción que tuvieron los humedales en conjunto con la acción fitodepuradora. Además, se puede observar que el parámetro con excesiva concentración es la Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días) lo cual es considerado por García y Montalvo (2008) como un contaminante por su abundancia en el cuerpo hídrico, atentando contra los demás organismos e imposibilitando desarrollar otras funciones.

Espinoza (2017), menciona que la excesiva presencia de  $DBO_5$  en el afluente del Sistema de Humedal Artificial se asemeja a la cantidad de materia orgánica proveniente de los tensoactivos, desechos de alimentos y demás aguas que formaban parte de los residuos de las diferentes actividades que se generaban en la casa del Bosque Politécnico; por tal razón se pudo observar la coloración del agua residual proveniente de la casa, es decir color gris, de esta manera el nivel de turbidez está muy relacionado con estos factores en estudio (Gurdián y Coto, 2011).

Tabla 4.3 Resultados de análisis de parámetros del afluente

AFLUENTE			
Parámetros	Datos	Unidad	Tulsma
Nitrógeno	0,0465	mg/l	15 mg/l
Fósforo	7,1568	mg/l	10 mg/l
$DBO_5$	210	mg/l	100 mg/l
Oxígeno disuelto	0,6	mg/l	-
Potencial de hidrógeno	7,59		5-9
Turbidez	102	FNU	-
Temperatura	26,8	°C	<35



Para determinar los porcentajes de remoción se tomaron en cuenta los parámetros de nitrógeno, fósforo, DBO<sub>5</sub>, y turbidez, ya que se espera que disminuyan con dicho tratamiento; se determinó el porcentaje de cada factor con la fórmula 3.2. teniendo en cuenta las concentraciones del afluente y efluente tratado.

sin embargo, los factores de Oxígeno Disuelto, pH y Temperatura no se les pudo efectuar el porcentaje de remoción ya que son factores de control y se espera que aumenten para que el medio sea un cuerpo de agua de buenas condiciones (Ariaz, Ortiz y Beltrán, 2017).

#### 4.2.1. NITRÓGENO

La tabla 4.4 muestra los valores de cada parámetro en torno al afluente, efluente y su eficiencia de remoción, se determinó el porcentaje de cada uno, con el objetivo de determinar la eficiencia de cada humedal, analizar su variabilidad, y los elementos que incidieron en la disminución o aumento de la concentración de cada factor de estudio debido a la influencia del filtro y las plantas fitodepuradoras.

**Tabla 4.4** Resultados de la variable Nitrógeno

Tratamiento	Nomenclatura	Afluente (Mg/L)	Efluente (Mg/L)	Eficiencia De Remoción (%)	Promedio De Remoción (%)	Tulsma (Mg/L)
T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	0,0465	0,0085248	82	88	15
	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	0,0465	0,0039579	91		15
	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	0,0465	0,0030446	93		15
	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	0,0465	0,0063936	86		15
T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	0,0465	0,0112650	76	87,5	15
	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	0,0465	0,0042624	91		15
	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	0,0465	0,0021312	95		15
	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	0,0465	0,0057847	88		15
T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	0,0465	0,0060892	87	78,75	15
	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	0,0465	0,0033490	93		15
	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	0,0465	0,0213122	54		15
	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>	0,0465	0,0088293	81		15
<b>TESTIGO</b>	T <sub>0</sub>	0,0465	0,0106561	77	77	15

Elaborado por: Párraga y Mendoza (2020).

Según el TULSMA, en los Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce, el nitrógeno es tolerado hasta 15 mg/l, en cuanto a los resultados de afluente y efluente no pasaron el LMP lo cual es beneficioso para el cuerpo de agua según Pérez *et al.*,

(2007). Estos indicadores de nitrógeno coinciden con investigaciones de Ilias y Masih (2017) que hacen referencia a los humedales artificiales como una buena tecnología ambiental para reducir las concentraciones de nitrógeno. Asimismo, Jiménez y Padilla (2010) constatan que la eficiencia de un tratamiento es elevada cuando se emplea al *Eichhornia crassipes* como planta fitodepuradora ya que se caracteriza por su capacidad desnitrificadora.

Se realizó un promedio de las eficiencias de cada réplica por cada planta para determinar el tratamiento más operativo; para la remoción del nitrógeno el mejor tratamiento depurador fue el T<sub>1</sub>, como lo indica la figura 4.2, de esta manera los investigadores Rodríguez y Durán (2006), certifican que este elemento orgánico es factible en la depuración a través de humedales artificiales, considerando el equilibrio entre las plantas fitodepuradoras, microorganismos y medio filtrante.

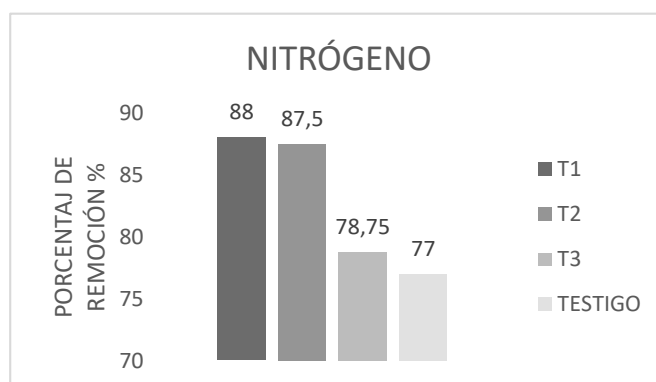


Figura 4.2 Porcentaje de remoción del nitrógeno

Aplicada la prueba de Tukey a los tratamientos se determinó que no existen grupos homogéneos, los tratamientos tienen una misma depuración en el nitrógeno, por lo tanto, cualquiera de los tratamientos presenta igual comportamiento en la disminución del nitrógeno del agua residual.

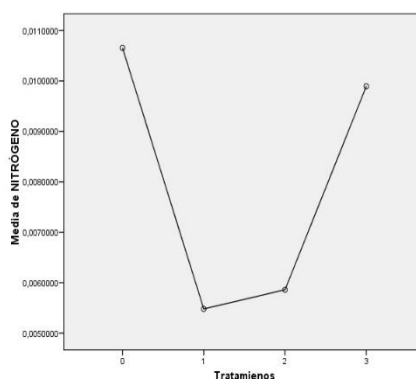
Tabla 4.5 Prueba De Tukey Nitrógeno

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05
		1
1	4	,005480280
2	4	,005860855
3	4	,009894950
0	4	,010656100
Sig.		,417 ns

\*Se muestran medias para grupos en los subconjuntos homogéneos. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.00964				
Error: 0.0000 gl: 12				
Tratamiento	Medias	N	Clasificación	Grupo
T <sub>1</sub>	0,01	4	2.3E-03	A
T <sub>2</sub>	0,01	4	2.3E-03	A
T <sub>3</sub>	0,01	4	2.3E-03	A
T <sub>0</sub>	0,01	4	2.3E-03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



## 4.2.2. FÓSFORO

La remoción del fósforo fue significativa para el efluente de cada humedal resultando favorable para la investigación y para el cuerpo hídrico tratado; de acuerdo a lo que menciona Vera *et al.*, (2011) la remoción de varios parámetros convierte a esta herramienta como una tecnología alternativa capaz de ser empleada en todos los hogares y diferentes actividades, de esta manera el tratamiento con mayor efectividad para depurar el fósforo fue el T<sub>3</sub> del *Oryza sativa* con el 81,75% sin embargo el testigo de control (tabla 4.6) obtuvo un porcentaje aún mayor del 95% de remoción, enfatizando la ausencia de plantas depuradoras.

Tabla 4.6 Resultados de la variable Fósforo

Tratamiento	Nomenclatura	Afluente (Mg/L)	Efluente (Mg/L)	Eficiencia De Remoción (%)	Promedio De Remoción (%)	Tulsma (Mg/L)
T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	7,15685	1,663314	77	49,75	10
	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	7,15685	0,0039579	87		10
	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	7,15685	9,9473	-39		10
	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	7,15685	1,8590	74		10
T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	7,15685	1,8916	74	78,5	10
	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	7,15685	1,4676	79		10
	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	7,15685	1,4350	80		10
	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	7,15685	1,3372	81		10

Tratamiento	Nomenclatura	Afluente (Mg/L)	Efluente (Mg/L)	Eficiencia De Remoción (%)	Promedio De Remoción (%)	Tulsma (Mg/L)
T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	7,15685	1,6633	87	81,75	10
	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	7,15685	1,3046	82		10
	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	7,15685	1,8916	74		10
	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>	7,15685	1,1415	84		10
<b>TESTIGO</b>	T <sub>0</sub>	7,15685	0,3914	95	95	10

Elaborado por: Párraga y Mendoza (2020).

Con respecto al resultado del efluente que no disminuyó, al contrario, aumentó; Naranjo (2017), menciona que uno de los factores que influye en este tipo de acontecimientos puede ser la concentración de materia orgánica y nutrientes al fondo del humedal o sistema de remoción. Sin embargo, el tratamiento que obtuvo una mejor remoción de fósforo fue el tratamiento Testigo, teniendo en cuenta que fue un tratamiento control que no contaba con las plantas fitodepuradoras (Figura 4.3); de esta manera Pabello y Carrillo (2004) comentan que para que la eficiencia de remoción de fósforo se estime en valores altos, es necesario emplear la precipitación química que consiste en la adición de un coagulante.

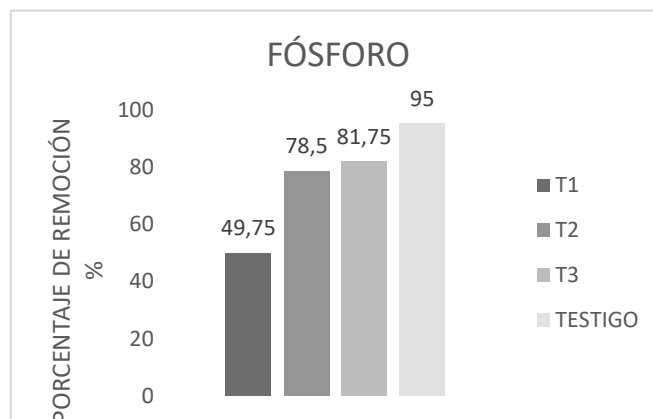


Figura 4.3 Porcentaje de Remoción del Fósforo

Aplicada la prueba de Tukey a los tratamientos se determinó que no existen grupos homogéneos, los tratamientos tienen una misma depuración en el fósforo, por lo tanto, cualquiera de los tratamientos presenta igual comportamiento en la disminución del fósforo del agua residual.

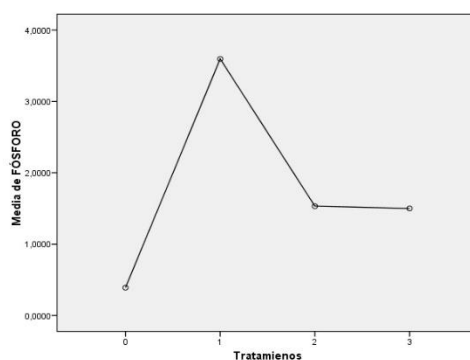
**Tabla 4.7** Prueba De Tukey Fósforo

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05
		1
0	4	,391368
3	4	1,500244
2	4	1,532858
1	4	3,595694
Sig.		,202

\*Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos. Usa el tamaño muestral de la media armónica= 4,000.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.48688				
Error: 4.5680 gl: 12				
Tratamiento	Medias	N	Clasificación	Grupo
T <sub>0</sub>	0,39	4	1.07	A
T <sub>3</sub>	1,50	4	1.07	A
T <sub>2</sub>	1,53	4	1.07	A
T <sub>1</sub>	3,60	4	1.07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



### 4.2.3. DBO<sub>5</sub>

Otro factor que tuvo un porcentaje de remoción óptimo según el promedio fue el de la Demanda Bioquímica de Oxígeno, con el 95,75% de depuración cuyo tratamiento fue el del *Chrysopogon zizanioides*, el cual es fundamental su remoción para evitar una eutrofización y que mueran las plantas por disminución de oxígeno u otro factor que persevere condiciones idóneas.

Con respecto a la comparación de los resultados con el TULSMA, en la tabla 4.8 se pudo observar que la DBO<sub>5</sub> con 210 mg/l en el afluente se encontraba por encima de los niveles permitidos según la normativa ambiental para Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce que permite 100 mg/l, pero con el sistema de humedales artificiales se redujo su concentración a 10 mg/l, lo cual se encuentra en el rango y es apto para descargarlo a un cuerpo hídrico, por lo tanto el oxígeno disuelto aumenta y se intensifican las posibilidades de vida (Quintana, 2010).

Tabla 4.8 Resultados de la variable DBO<sub>5</sub>

Tratamiento	Nomenclatura	Afluyente (Mg/L)	Efluyente (Mg/L)	Eficiencia De Remoción (%)	Promedio De Remoción (%)	Tulsma (Mg/L)
T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	210	10	95	95,25	100
	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	210	10	95		100
	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	210	15	93		100
	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	210	5	98		100
T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	210	10	95	95,75	100
	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	210	5	98		100
	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	210	10	95		100
	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	210	10	95		100
T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	210	15	93	92,25	100
	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	210	15	93		100
	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	210	20	90		100
	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>	210	15	93		100
<b>TESTIGO</b>	T <sub>0</sub>	210	10	95	95	100

Elaborado por: Párraga y Mendoza (2020).

Independientemente, la mayor remoción de DBO<sub>5</sub> se efectuó en el T<sub>2</sub> (figura 4.4) con el *Chrysopogon zizanioides* y T<sub>1</sub> con el *Eichhornia crassipes*, considerado una gran remoción en dichos sistemas y su capacidad fitodepuradora para remover, retener y absorber sustancias orgánicas (Larriva y González, 2017); este fragmento coincide con la investigación de Chiriboga y Sánchez (2020), ya que mencionan que la remoción de DBO<sub>5</sub> empleando el pasto, se debe al crecimiento del sistema radicular y aéreo de la planta.

En la figura 4.4 se visualiza que segundo tratamiento presenta excelente remoción de DBO<sub>5</sub> con el 95,75% considerando una buena reducción de la concentración inicial del afluyente a través del humedal, gracias a la acción del pasto vetiver; del sustrato de arena, grava y roca; y acción de microorganismos; Silva y Madera (2008), agregan que esta acción favorece a las condiciones para un medio adecuado en el efluyente; además el LMP del TULSMA no ha sido superado por la concentración final.

Para el humedal T<sub>1</sub> con respecto al jacinto de agua como fitodepurador, posee una relación directa con la remoción de contaminantes en aguas residuales, por tal motivo es muy utilizado en humedales artificiales para disminuir, controlar y remover ciertos

contaminantes orgánicos como nitrógeno y fósforo, además de disminuir los niveles de Demanda Bioquímica de Oxígeno (Metcalf y Eddy, 1995 citado por Coronel, 2016).

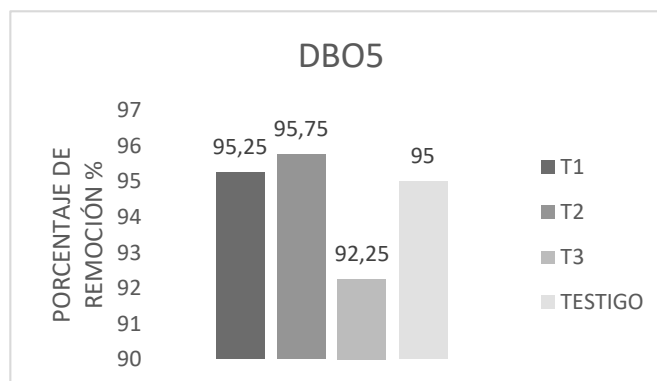


Figura 4.4 Porcentaje de Remoción del DBO<sub>5</sub>

En lo concerniente a la (DBO<sub>5</sub>) se ilustra que la prueba aplicada "Tukey" a los tratamientos se determinó que existen grupos homogéneos, los tratamientos tienen diferente depuración de la materia orgánica, por lo tanto, se determinó dos grupos homogéneos, es decir, T<sub>2</sub> – T<sub>1</sub> y T<sub>0</sub> que difiere una estadística significativa con el tratamiento 3. Por lo tanto, es recomendable emplear dado las medias los tratamientos T<sub>2</sub> – T<sub>1</sub> y T<sub>0</sub>.

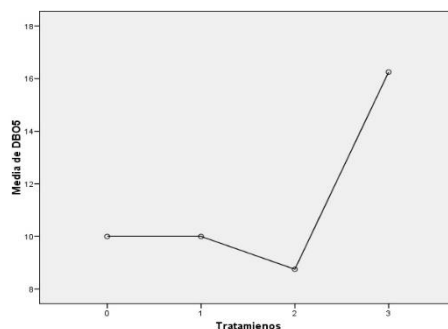
Tabla 4.9 Prueba de Tukey DBO<sub>5</sub>

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
2	4	8,75	
0	4	10,00	
1	4	10,00	
3	4		16,25
Sig.		,912	1,000

\*Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=5.66884				
Error: 7.2917 gl: 12				
Tratamientos	Medias	N	E.E.	Grupo
T <sub>2</sub>	8,75	4	1,35	A
T <sub>1</sub>	10,00	4	1,35	A
T <sub>0</sub>	10,00	4	1,35	A
T <sub>3</sub>	16,25	4	1,35	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



#### 4.2.4. TURBIDEZ

Como lo indica la tabla 4.10 que concierne a los resultados de la Turbidez, fue el factor de estudio con mayor porcentaje de remoción, con el 98,75% de depuración en el T<sub>1</sub>, es decir fue un resultado excelente que demuestra que el sistema del humedal artificial ayudó para la disminución de éste, así también lo indica Guerra *et al.*, (2017) que la efectividad de los humedales es alta para la eliminación de componente orgánicos.

Tabla 4.10 Resultados de la variable Turbidez

Tratamiento	Nomenclatura	Afluente (Fnu)	Efluente (Fnu)	Eficiencia De Remoción (%)	Promedio De Remoción (%)	Tulsma (Fnu)
T <sub>1</sub>	T <sub>1</sub> R <sub>1</sub>	102	1,74	98	98,75	ID:1/20
	T <sub>1</sub> R <sub>2</sub>	102	0,9	99		ID:1/20
	T <sub>1</sub> R <sub>3</sub>	102	0,94	99		ID:1/20
	T <sub>1</sub> R <sub>4</sub>	102	0,96	99		ID:1/20
T <sub>2</sub>	T <sub>2</sub> R <sub>1</sub>	102	3,62	96	95,5	ID:1/20
	T <sub>2</sub> R <sub>2</sub>	102	0,72	99		ID:1/20
	T <sub>2</sub> R <sub>3</sub>	102	8,57	92		ID:1/20
	T <sub>2</sub> R <sub>4</sub>	102	4,79	95		ID:1/20
T <sub>3</sub>	T <sub>3</sub> R <sub>1</sub>	102	27,67	73	76,25	ID:1/20
	T <sub>3</sub> R <sub>2</sub>	102	9,66	91		ID:1/20
	T <sub>3</sub> R <sub>3</sub>	102	32,63	68		ID:1/20
	T <sub>3</sub> R <sub>4</sub>	102	27,11	73		ID:1/20
<b>TESTIGO</b>	T <sub>0</sub>	102	10,18	90	90	ID:1/20

Elaborado por: Párraga y Mendoza (2020).

Asimismo, se puede observar en la figura 4.5 que la Turbidez, dentro de los tres tratamientos con el testigo, el más significativo fue el T<sub>1</sub> con una eficiencia de



remoción alta, teniendo como autor al jacinto de agua, ya que absorbe y retiene las impurezas, residuos y sólidos en suspensión Aranda y Pinchi (2020).

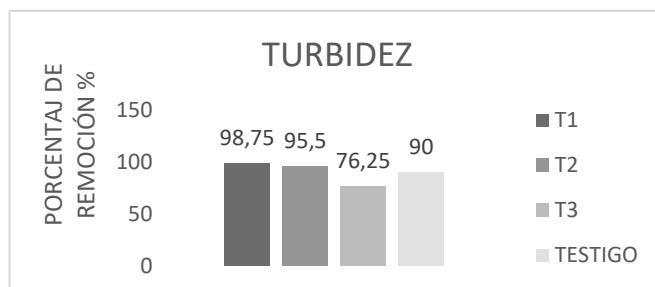


Figura 4.5 Porcentaje de Remoción de la Turbidez

En lo referente a turbidez se observa en la tabla 4.11 que la prueba aplicada “Tukey” a los tratamientos determinó que existen dos grupos homogéneos, los tratamientos tienen diferente depuración de la materia orgánica, por lo tanto, se determinó dos grupos homogéneos, es decir,  $T_1 - T_2$  y  $T_0$  que difiere una estadística significativa con el tratamiento 3. Por lo tanto, es recomendable emplear  $T_1 - T_2$  y  $T_0$  dado las medias los tratamientos tienen un mejor comportamiento y disminución de la turbidez del agua residual.

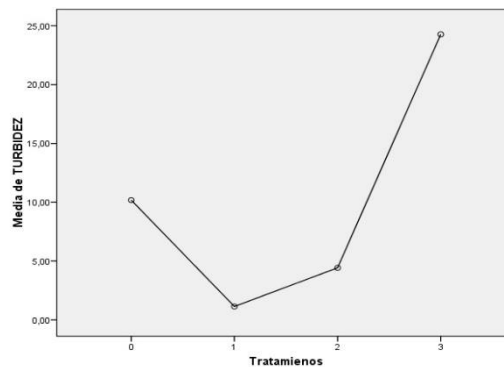
Tabla 4. 11 Prueba de Tukey Turbidez

Tratamientos	N	Subconjunto para alfa = .05	
		2	1
1	4	1,1350	
2	4	4,4250	
0	4	10,1800	
3	4		24,2675
Sig.		,126	1,000

\*Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.  
Usa el tamaño muestral de la media armónica = 4,000.

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=11.09449				
Error: 27.9289 gl: 12				
Tratamientos	Medias	N	E. E.	Grupo
T <sub>1</sub>	1,14	4	2,64	A
T <sub>2</sub>	4,43	4	2,64	A
T <sub>0</sub>	10,18	4	2,64	A
T <sub>3</sub>	24,27	4	2,64	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )



Un dato que hay que recalcar es que en todo el sistema del Humedal Artificial, los parámetros de oxígeno disuelto, pH y temperatura no tuvieron un porcentaje de remoción, debido a que estos no disminuían, ya que su tendencia consistía en aumentar para mejorar las condiciones del medio hídrico, agregando Hernández *et al.*, (2012) que estos parámetros nombrados recientemente en aguas contaminadas tienden a tener bajos niveles; por lo tanto en la investigación estos parámetros se los mantendrá como parámetros de control.

Hoyos y Toro (2007) mencionan en un estudio que si el agua se encuentra a temperaturas elevadas el nivel de oxígeno disuelto se reducirá debido a la proliferación de bacterias ya que consumen el oxígeno.

Además, los bajos niveles de oxígeno disuelto en el sistema coinciden con el criterio de Arias & Brix (2003) donde afirman que los humedales horizontales son buenos para eliminación de sólidos en suspensión y bacterias, reducción de DBO<sub>5</sub> y hasta que la disponibilidad del oxígeno en el lecho lo permita son aceptables en la desnitrificación del agua debido a sus bajos niveles de oxígeno.

Con respecto al Testigo, el cual fue un humedal control cuyos porcentajes de remoción con mayor significancia fueron el fósforo y la DBO<sub>5</sub> con el 95%, mientras que el nitrógeno fue del 77% que es considerable la calidad (Rojas, 2018).

En la tabla 4.12 se ilustra el análisis de la varianza de los factores evaluados en la depuración del agua residuales grises se establece que:

En lo referente al nitrógeno y fósforo, los tratamientos no presentaron estadística significativa dado a que el valor de valor -P de la prueba -F es mayor que 0,005, es

decir, los tratamientos evaluados presentan igual comportamiento en la depuración del nitrógeno del agua residual gris de la casa del bosque.

Sin embargo, en cuanto a la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), oxígeno disuelto y la turbidez, los datos de las medias evaluadas demuestran que existe diferencia significativa dado que el valor de -P de la prueba -F es menor que 0,005, es decir, los tratamientos evaluados presentan diferentes comportamientos en la depuración de la materia orgánica (DBO<sub>5</sub>), de turbidez y oxígeno disuelto del agua residual gris.

**Tabla 4.12** ANOVA de un factor por Parámetros

Parámetros	Grupos	Clasificación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F
<b>NITRÓGENO</b>	Inter-grupos	,000	3	,000	1,365	,300
	Intra-grupos	,000	12	,000		
	Total	,000	15			
<b>FÓSFORO</b>	Inter-grupos	21,448	3	7,149	1,565	,249
	Intra-grupos	54,816	12	4,568		
	Total	76,264	15			
<b>DBO5</b>	Inter-grupos	137,500	3	45,833	6,286	,008
	Intra-grupos	87,500	12	7,292		
	Total	225,000	15			
<b>OXÍGENO DISUELTO</b>	Inter-grupos	55,163	3	18,388	25,377	,000
	Intra-grupos	8,695	12	,725		
	Total	63,858	15			
<b>TURBIDEZ</b>	Inter-grupos	1253,051	3	417,684	14,955	,000
	Intra-grupos	335,146	12	27,929		
	Total	1588,198	15			

Elaborado por: Párraga y Mendoza (2020).

### 4.3. ANÁLISIS COSTO

Es importante destacar que dentro de esta investigación el agua utilizada para experimentar no tiene precio o valor, pero el costo mínimo del metro cúbico de agua potable es de \$7,00 dólares según Sanitrón, empresa dedicada a tratar aguas residuales. Al replicar este experimento a gran escala, el agua ya tendría un costo de extracción.

En la tabla 4.13 se visualizan los costos obtenidos a partir del tratamiento con el mayor beneficio correspondiente a la remoción de contaminantes orgánicos, es decir el tratamiento 2 con el *Chrysopogon zizanioides*.

Tabla 4.13 Análisis costo del T<sub>2</sub>

Análisis De Costo Del <i>Chrysopogon Zizanioides</i>				
Materiales		Detalles		
Descripción	Unidad	Cantidad	Tarifa	Costo
		A	B	C= A*B
Roca	m <sup>3</sup>	0,08	\$ 8,00	\$ 0,64
Graba	m <sup>3</sup>	0,05	\$ 10,00	\$ 0,50
Arena	m <sup>3</sup>	0,09	\$ 6,00	\$ 0,53
Tubería PVC	-----	3,00	\$ 3,25	\$ 9,75
Maceta (prototipo)	-----	1,00	\$ 4,00	\$ 4,00
Codo PVC	-----	3,00	\$ 0,80	\$ 2,40
Llaves de paso	-----	1,00	\$ 5,00	\$ 5,00
Teflón	-----	2,00	\$ 0,50	\$ 1,00
Pega tubo	-----	1,00	\$ 1,25	\$ 1,25
Pasto vetiver	Kg	1,00	\$ 17,99	\$ 17,99
Transporte de la materia prima	-----	-----	-----	\$ 12,00
<b>Total Materiales</b>				<b>\$ 55,06</b>
Mano De Obra				
Descripción	Unidad	Cantidad	Jornal/Hr	Costo
		(Horas Laboradas)		
Tesistas	-----	3	8,12	\$ 24,36
Ayudante Universitario	-----	3	3,65	\$ 10,95
<b>Total Mano De Obra</b>				<b>\$ 35,31</b>
<b>Costo Total</b>				<b>\$ 90,37</b>

Para el costo de la mano de obra se tomó como referencia los salarios mínimos que establece la Contraloría General del Estado. El tratamiento dos, que resultó ser el más efectivo costó producirlo \$90,37 (noventa y seis con setenta y siete) sin IVA, es importante destacar que dentro de este análisis de costos no se consideró una utilidad, debido a que esta investigación no persiguió fines de lucro.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 CONCLUSIONES

- Se estudiaron tres tipos de Humedales (ornamental, forrajero, alimenticio) para depurar el agua gris de la casa del Bosque Politécnico, mediante sistema de filtro (sustrato: arena, grava, roca) y plantas fitodepuradoras (*Eichhornia crassipes*, *Chrysopogon zizanioides* y *Oryza sativa*), cuyas dimensiones (15600 cm<sup>3</sup>) cumplieron los parámetros establecidos.
- La remoción más alta de Nitrógeno Total Kjeldahl fue para el tratamiento uno con el 88%, el Fósforo Total obtuvo una excelente remoción en el tratamiento cero (testigo) con el 95 % de remoción. La DBO<sub>5</sub> fue removida el 95,75% en el tratamiento dos y para la Turbidez, la depuración más representativa se determinó en el tratamiento uno con el 98,75% obteniendo resultados positivo
- s en el sistema. Siendo el tratamiento dos el que obtuvo mejores resultados a nivel general.
- Todos los tratamientos cumplen con los límites máximos permisibles del TULSMA para las variables Nitrógeno, Fósforo Total, DBO<sub>5</sub> y Turbidez, catalogando el cumplimiento con la normativa ambiental de descargas a un cuerpo de agua dulce, por lo cual se presenta como una estrategia ambientalmente segura en el tratamiento de aguas residuales.
- Se aplicó el Análisis de Costo al tratamiento con *Chrysopogon zizanioides* por presentar mayor efectividad de remoción de parámetros contaminantes y además, económico y facilidad de mantenimiento obteniendo un valor de \$90,37.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para futuros estudios es recomendable ampliar el campo científico integrando nuevas variables, por ejemplo, la implementación de peces en humedales artificiales como el chame o microorganismos.
- Se recomienda utilizar siempre especies autóctonas de la zona en donde se construirá el humedal para que el manejo y la construcción sean mucho más viables.
- Es vital un tratamiento previo del agua a tratar para eliminar sólidos, de esta manera evitar obstrucciones en los conductos y por ende la avería del sistema.

## BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, A., & Martínez, E. (2010). El agua, un derecho humano fundamental. Agua; Un derecho humano fundamental, 7-45.
- Alegre, J. (2007). Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*). Organización Panamericana de la Salud.
- Alvarado Carrión, P. R. (2013). Factibilidad del uso de lechuguín del Embalse Mazar para la elaboración de Compost (Master's thesis, Universidad del Azuay).
- Álvarez, R., 2012. Comportamiento de la temperatura y el oxígeno disuelto en la presa Picachos, Sinaloa, México. En línea. Consultado el 9 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v22n1/v22n1a12.pdf>
- Álvarez, S., 2005. La descomposición de materia orgánica en humedales: la importancia del componente microbiano. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.uv.mx/personal/tcarmona/files/2010/08/Alvarez-2005.pdf>
- Amaya, W. F., Cañón, Ó. A., & Avilés, Ó. F. (2004). Control de pH para planta de tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 14, 86-95. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/download/1271/1008>
- Araujol, I., & Morales, E. (2004). En La Remoción De Nitrógeno, Fósforo Y Dqo De Aguas Residuales Urbanas De Maracaibo, Venezuela. Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas, 38(2), 94-108.
- Arias, C. E. C., Ortiz, P., & Beltran, A. L. V. (2017). Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando bambusa sp en la finca el recreo ubicada en Tauramena, Casanare. Revista de tecnología, 16(1), 65-76.
- Arias, C., & Brix, H. (2003). Humrdales artificiales para el tratamiento de agua residuales. ciencia e ingeniería Neogranadina, 17-24. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Hans\\_Brix/publication/230563349\\_Humedales\\_artificiales\\_para\\_el\\_tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales/links/0912f50e3](https://www.researchgate.net/profile/Hans_Brix/publication/230563349_Humedales_artificiales_para_el_tratamiento_de_aguas_residuales/links/0912f50e3)

17ee2a1d1000000/Humedales-artificiales-para-el-tratamiento-de-aguas-residuales.pdf

- Arias, Ó. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/3339>
- Arroyave, M. D. P. (2004). La lenteja de agua (*lemna minor* L.): una planta acuática promisoría. *Revista EIA*, (1), 33-38.
- Arteaga-Cortez, V. M., Quevedo-Nolasco, A., Valle-Paniagua, D. H. D., Castro-Popoca, M., Bravo-Vinaja, Á., & Ramírez-Zierold, J. A. (2019). Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo. *Tecnología y ciencias del agua*, 10(5), 319-343.
- Bedoya Pérez, J. C., Ardila Arias, A. N., & Reyes Calle, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 30(3), 275-283.
- Berlanga-Robles, C. A., Ruiz-Luna, A., & Lanza Espino, G. D. L. (2008). Esquema de clasificación de los humedales de México. *Investigaciones geográficas*, (66), 25-46.
- Buchberger, S., & Shaw, G. (1995). An approach toward rational design of constructed wetlands for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, 4, 249-275. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0925857494000538?via%3Dihub>
- Caho, C. & López, E., 2017. Determinación del Índice de Calidad de Agua para el sector occidental del humedal Torca – Guaymaral empleando las metodologías UWQI y CWQI. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v12n2/1909-0455-pml-12-02-00035.pdf>



- Cano, A. L. (2003). Depuración de aguas residuales mediante humedales artificiales: La EDAR de los Gallardos (Almería). In *Ecología, manejo y conservación de los humedales* (pp. 99-112). Instituto de Estudios Almerienses.
- Cantillo, S. P., & Corpus, W. (2018). Diseño e implementación de un filtro para tratamiento de aguas grises en la aplicación de un sistema de riego para una huerta casera en San Andrés Islas, Colombia. *Revista Loginn: Investigación Científica Y Tecnológica*, 2(1).
- Chafloque, W. A. L., & Gómez, E. G. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 9(17), 85-96. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/iigeo/article/download/699/552/>
- Charris, Jhan Carlos, & Caselles-Osorio, Aracelly. (2016). Eficiencia de eliminación de contaminantes del agua residual doméstica con humedales construidos experimentales plantados con *Cyperus ligularis* (Cyperaceae) y *Echinochloa colonum* (Poaceae). *Tecnología y ciencias del agua*, 7(6), 93-103. Recuperado en 09 de julio de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000600093&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000600093&lng=es&tlng=es).
- Constanza, L., Antolinez, D., Bohórquez, J. & Corredor, A., 2015. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/nova/v13n24/v13n24a06.pdf>
- Córdova Bravo, H. M., Vargas Parker, R., Cesare Coral, M. F., Flores del Pino, L., & Visitación Figueroa, L. (2014). Tratamiento de las aguas residuales del proceso de curtido tradicional y alternativo que utiliza acomplejantes de cromo. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(3), 183-191. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2014000300005](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000300005)

- Coronel Castro, E. (2016). Eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y lentejas de agua (*Lemma minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas-2015. Disponible: <http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JACINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Delgadillo, O. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales. Nelson Antequera.
- Delgadillo-López, Angélica Evelin, González-Ramírez, César Abelardo, Prieto-García, Francisco, Villagómez-Ibarra, José Roberto, & Acevedo-Sandoval, Otilio. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612. Recuperado en 10 de julio de 2019, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000200002&lng=es&tlng=es).
- Espinoza Zegarra, A. E. (2017). Disminución de la DBO, DQO y STD del agua residual doméstica de Santiago de Chuco empleando un biofiltro de piedra pómez. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6776/espinoza\\_z\\_a.pdf?sequence=1](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/6776/espinoza_z_a.pdf?sequence=1)
- Fernández de la Mora, M, D, C. (2011). Fitodepuración en humedales, conceptos generales. Disponible en: <https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20Manual/Cap%EDtulos%205.pdf>
- Ferrer, Gabriela, Morán, Claudia, Aldana, Gerardo, & Pérez, Jhonny. (2013). Determinación del tiempo retención hidráulico en humedales construidos de flujo horizontal usando un trazador químico. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 36(3), 262-271. Recuperado en 05 de agosto de 2019, de [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0254-07702013000300009&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0254-07702013000300009&lng=es&tlng=es).

- Ferrer, J. (2012). Apuntes de la materia "tratamientos biológicos de aguas residuales". Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Fuentes, A. & Amábile, C., 2013. El agua en bioquímica y fisiología. En línea. Consultado el 9 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.redalyc.org/pdf/4236/423640341010.pdf>
- García Serrano, J., & Corzo Hernández, A. (2008). Guía práctica de diseño, construcción y explotación de Sistemas de Humedales de flujo subsuperficial. **DEPURACIÓN CON HUMEDALES CONSTRUIDOS.**
- García, N., Puentes, O., & Montalvo, J. F. (2008). Contaminación orgánica en el sector de la Bahía de Buena Vista cercano a la desembocadura del Río Guanó, Villa Clara, Cuba. *Revista Cubana de Química*, 20(3), 39-46. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543715006.pdf>
- Gil, C. A. L. (2008). Estandarización y validación de una técnica para medición de la Demanda Bioquímica De Oxígeno por el método respirométrico y la demanda química de oxígeno por el método calorimétrico (Doctoral dissertation, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Tecnologías. Química Industrial).
- González, M., & Saldarriaga-Molina, J. C. (2014). Remoción biológica de materia orgánica, nitrógeno y fósforo en un sistema tipo anaerobio-anóxico-aerobio. Disponible en: [https://181.193.125.13/index.php/tec\\_marcha/article/download/138/137](https://181.193.125.13/index.php/tec_marcha/article/download/138/137)
- Grimshaw, R. (2015). Vetiver, un excelente pasto para la conservación del agua. Disponible en: <http://www.leisa-al.org/web/index.php/volumen-14-numero-1/2499-vetiver-un-excelente-pasto-para-la-conservacion-del-agua>
- Guerra, J. D. T., Vargas, J. S. M., Aguirre, R. R. P., & Huaranga, M. A. C. (2017). 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. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2). Disponible en: [https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6789/11746\\_6789.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://digital.cic.gba.gob.ar/bitstream/handle/11746/6789/11746_6789.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Guzmán, L., Villabona, Á., Tejada, C., & García, R. (2013). Reducción de la turbidez del agua usando coagulantes naturales: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 16(1), 253-262.
- Hernández-Ruiz, J. M., Pérez-Villar, M. M., Domínguez, E. R., & Cachaldora, I. J. (2012). Humedal subsuperficial vertical para el tratamiento de aguas residuales: diseño, construcción y evaluación. *Revista Cubana de Química*, 24(2), 147-154. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/4435/443543726006.pdf>
- Hinojosa, M., Sidrach, R., Martín, J., & Bécares, E. (2010). Optimization of performance assessment and design characteristics in constructed wetlands for the removal of organic matter. *Chemosphere*, 81, 651-557. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004565351000888X>
- Hoyos, C. A. B., & Toro, Á. W. (2007). Evaluación de la estratificación térmica y su relación con el oxígeno disuelto del agua en la ciénaga Cachimbero, municipio de Cimitarra, Santander. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, (41), 48-65.
- Ilyas, H., & Masih, I. (2017). The performance of the intensified constructed wetlands for organic matter and nitrogen removal: A review. *Journal of environmental management*. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/316808352\\_The\\_performance\\_of\\_the\\_intensified\\_constructed\\_wetlands\\_for\\_organic\\_matter\\_and\\_nitrogen\\_removal\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/316808352_The_performance_of_the_intensified_constructed_wetlands_for_organic_matter_and_nitrogen_removal_A_review)
- Jaramillo-Gallego, Mónica L, Agudelo-Cadavid, Ruth M, & Peñuela-Mesa, Gustavo A. (2016). Optimización del tratamiento de aguas residuales de cultivos de flores usando humedales construidos de flujo subsuperficial horizontal. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 34(1), 20-29. <https://dx.doi.org/10.17533/udea.rfnsp.v34n1a03>
- Jiménez Castro, C. G., & Padilla Jiménez, C. M. (2010). Remoción de contaminantes inorgánicos de aguas residuales industriales con eichhornia crassipes o jacinto de agua (Bachelor's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad Ingeniería Química).

- López, C. 2016. Evaluación de humedales artificiales a escala piloto para el tratamiento secundario de efluentes agroindustriales. En línea. Consultado el 16 de julio de 2019. Disponible en: <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/5734/1/IAD-2016-T025.pdf>
- López, D. (2012). Aprovechamiento del lechuguín (*Eichhornia Crassipes*) para la generación de abono orgánico mediante la utilización de tres diseños diferentes de Biodigestores. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana.
- Lu, X., Kruatrachue, M., Pokethitiyook, P., & Homyok, K. (2004). Removal of cadmium and zinc by water hyacinth, *Eichhornia crassipes*. *Science Asia*, 30(93), 103.
- Luna-Pabello, V. M., & Aburto-Castañeda, S. (2014). Sistema de humedales artificiales para el control de la eutroficación del lago del Bosque de San Juan de Aragón. *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, 17(1), 32-55.
- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & García, M. D. (2004). La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas a propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 4, 72-82.
- Martínez Cortijo, F. J. (2014). Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. Aplicación a una línea de riego en el parque natural de la Albufera (Valencia) (Doctoral dissertation, Editorial Universitat Politècnica de València).
- Martínez, S. A. A., Toro, F. M. B., Rojas, G. G., Giraldo, J. P. S., & Ángel, M. L. H. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *Informador técnico*, 74.
- Medina, C., Ramírez, S., Espinosa, M., Tovar, R., Quintero, B., & Rodríguez, I., 2007. Impacto de la descarga de aguas residuales en la calidad del río Mololoa (Nayarit, México) y propuestas de solución. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v3-n1-8-impacto-de-la-descarga-de-aguas-residuales.pdf>

- Mishra, V. K., & Tripathi, B. D. (2009). Accumulation of chromium and zinc from aqueous solutions using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Journal of Hazardous Materials*, 164(2-3), 1059-1063.
- Mohanty, K., Jha, M., Meikap, B. C., & Biswas, M. N. (2006). Biosorption of Cr (VI) from aqueous solutions by *Eichhornia crassipes*. *Chemical Engineering Journal*, 117(1), 71-77.
- Montalvo, J. F., Perigó Arnaud, E., Martínez, M., García, I., Esponda, S. C., Cesar, M. E., ... & Blanco, M. (2010). Compuestos de nitrógeno y fósforo en las aguas superficiales de tres zonas de la plataforma marina cubana.
- Morales, M. A. (2008). Estudio de homogeneidad de la dispersión en un diseño completamente al azar con datos de proporciones y conteos (Doctoral dissertation, Tesis de maestría, Departamento de Estadística, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia).
- Morató, J., Subirana, A., Gris, A., Carneiro, A., & Pastor, R. (2006). Tecnologías sostenibles para la potabilización y el tratamiento de aguas residuales. *Revista Lasallista de Investigación*, 3(1), 19-29. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=69530105>
- Muñoz, H., Suárez, J., Vera, A., Orozco, S., Batlle, J., Ortiz, A. & Mendiola, J., 2012. Demanda Bioquímica de Oxígeno y población en la subcuenca del Río Zahuapan, Tlaxcala, México. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a3.pdf>
- Murcia-Sarmiento, M. L., Calderón-Montoya, O. G., & Díaz-Ortiz, J. E. (2014). Impacto de aguas grises en propiedades físicas del suelo. *Tecnológicas*, 17(32), 57-65.
- Naranjo Ríos, N. Y. (2017). Estudio para mejorar la eliminación de fósforo en humedales artificiales empleando fangos generados en la potabilización del agua, mediante procesos de adsorción. Aplicación a la potabilizadora La Presa (Manises, Valencia). Disponible en: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/92605/NARANJO%20-%20Estudio%20para%20mejorar%20la%20eliminaci%C3%B3n%20de%20f%>

C3%B3sforo%20en%20humedales%20artificiales%20empleando%20fang....pdf?sequence=1

- Nigam, J. N. (2002). Bioconversion of water-hyacinth (*Eichhornia crassipes*) hemicellulose acid hydrolysate to motor fuel ethanol by xylose-fermenting yeast. *Journal of Biotechnology*, 97(2), 107-116.
- Orejuela, J. (2007). Manual sobre el uso y manejo del pasto vetiver. Recuperado el, 16.
- Ospina López, F. A., Rodríguez González, A., & González Guzmán, J. M. (2017). Comparación de la reglamentación para el manejo de lodos provenientes de agua residual en Argentina, Chile y Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(1).
- Pabello, V. M. L., & Carrillo, H. F. R. (2004). Medios de soporte alternativos para la remoción de fósforo en humedales artificiales. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 20(1), 31-38.
- Palta, G. (2013). Fitodepuración De Aguas Residuales Domesticas Con Poaceas: *Brachiaria Mutica*, *Pennisetum Purpureum* Y *Panicum Maximun* En El Municipio De Popayán, Cauca. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 11(2).
- Pantoja, A., Tarapues, G., & Rosero, J. (2018). Remoción carga contaminante con humedales artificiales de tipo piloto sub-superficial horizontal (HAFSSh), Granja Botana, Nariño.
- Paz, M., Muzio, H., Gemini, V., Magdaleno, A., Rossi, S., Korol, S., & Moretton, J. (2004). Aguas residuales de un centro hospitalario de Buenos Aires, Argentina: características químicas, biológicas y toxicológicas. *Hig. Sanid. Ambient*, 4, 83-88.
- Peña, E., 2007. Trabajo de investigación de oxígeno disuelto. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6162/5/Investigacion.pdf>

- Peña, O. S., Rubalcaba, S. C., Novo, M. F., Rodríguez Y. H., & Pérez, A. (2006). Evaluación físico-química y microbiológica del agua de la presa El Cacao (Cotorro, Cuba). *Higiene y Sanidad Ambiental*, 6, 202-206.
- Pérez, S. A., Niño, Z. M., Hernández, V., & Hernández, C. (2007). Uso de Enzimas de Tipo Ureasa en el Tratamiento de Aguas Residuales con Alto Contenido en Nitrógeno Orgánico. *Información tecnológica*, 18(5), 41-48. Disponible en: <https://scielo.conicyt.cl/pdf/infotec/v18n5/art06.pdf>
- Peters, M., Franco, L. H., Schmidt, A., & Hincapie, B. (2003). Especies forrajeras multipropósito: opciones para productores de Centroamérica. CIAT.
- Quero Carrillo, A. R., Enríquez Quiroz, J. F., & Miranda Jiménez, L. (2007). Evaluación de especies forrajeras en América tropical, avances o status quo. *Interciencia*, 32(8), 566-571.
- Quintana, F. D. (2010). Análisis estadístico de los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub> y SS de las aguas residuales urbanas en el ensuciamiento de las membranas de ósmosis inversa (Doctoral dissertation, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria). Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=89102>
- Quiñones, E. E., Ferrera, R., Gavi, F., Fernández, L., Rodríguez, R., & Alarcón, A. (2003). Emergencia y crecimiento de maíz en un suelo contaminado con petróleo crudo. *Agrociencia*, 37(6), 585-594.
- Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 12(2), 58-69.
- Recalde, C., Echeverría, M. & Castro, R., 2013. Descomposición de materia orgánica con microorganismos benéficos magnetizados. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-07642013000600003](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642013000600003)
- Rincón, J. D., Martínez, F. M., & Cabrales, N. M. (2009). Reducción de demanda química de oxígeno, carbono orgánico total y sólidos totales en vinazas mediante electroflotación/oxidación. *Ingeniería e investigación*, 29(1), 35-38.



- Rivera, J., 2016. Determinación de las tasas de oxidación, nitrificación y sedimentación en el proceso de autopurificación de un río de Montaña. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: [https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-33052016000200013](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-33052016000200013)
- Rodríguez, 2017. Diseño de un Humedal Artificial para el Municipio Arcos de las Salinas. Tratamiento de aguas. Consultado el 20 de julio de 2020. Disponible en: Diseño de un Humedal Artificial para el municipio de Arcos de las Salinas (Teruel).
- Rodríguez-Momroy, J., & Durán-de-Bazúa, C. (2006). Remoción de nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. *Tecnología, Ciencia, Educación*, 21(1), 25-33.
- Rojas Díaz, M. Y. (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. Disponible en: [http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25780/Rojas\\_DM\\_Y.pdf?sequence=4&isAllowed=y](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/25780/Rojas_DM_Y.pdf?sequence=4&isAllowed=y)
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E. & Ortiz, L., 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. En línea. Consultado el 8 de julio de 2019. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992009000300004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992009000300004)
- Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. A. (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.
- Rousseau, D., Vanrolleghem, P., & De Pauw, N. (2004). Model-based design of horizontal subsurface flow constructed treatment wetlands: a review. *Water Research*, 38, 1484-1493. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135403006833>

- Rubio, H., Ortiz, R., Quintana, R., Saucedo, R., Ochoa, J. & Rey, N., 2014. Índice de Calidad de Agua (ICA) en la Presa La Boquilla en Chihuahua, México. En línea. Consultado el 9 de julio de 2019. Disponible en: <http://www.scielo.org.mx/pdf/era/v1n2/v1n2a5.pdf>
- Ruiz, Á. A. (2012). Efectos del pH y la conductividad en la electrocoagulación de aguas residuales de la industria láctea. *Producción+ Limpia*, 7(1). Disponible en: <http://repository.lasallista.edu.co:8080/ojs/index.php/pl/article/download/239/114>
- Santana Suárez, X. V., & Santos Tello, J. D. (2016). Eficiencia del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) ex-situ en la remoción de contaminantes orgánicos, caso de estudio río muerto, cantón Manta (Bachelor's thesis, Calceta: Espam).
- Scavo, M., Rodríguez, O., & Luque, O. (2004). Estudio de un sistema de tratamiento de aguas residuales complementario, con pasto vetiver (*Vetiveria zizanioides* L.), provenientes de una planta de producción de gaseosas. Villa de Cura, estado Aragua".(Tesis de Maestría Ingeniería Agrícola, Facultad de Agronomía). Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Sichi, I., 2019. Determinación de plomo en suelo y arroz (*Oryza sativa*) en dos cantones de la provincia del Guayas. Tesis de Ingeniería Ambiental en la Facultad de Ciencias Naturales de la Carrera de Ingeniería Ambiental.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347-359. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/download/13521/14204>
- Silván, R. S., Ocaña, G. L., Margulis, R. G. B., Barajas, J. R. H., & Cerino, M. J. R. (2016). Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita. *Interciencia*, 41(1), 40-47. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/339/33943362007.pdf>
- Soto, J. (2011). El pasto vetiver: una alternativa para la conservación y el desarrollo de sistemas sostenibles en Venezuela.

- Tipán Chiriboga, J. A., & Sánchez Mullo, M. J. (2020). Evaluación de la capacidad de remoción de contaminantes del sistema islas flotantes artificiales (ifa) con achira (*canna indica*), vetiver (*vetiveria zizanoide*), pasto guinea (*panicum maximum*) y mix (pasto guinea–achira), a través de un modelo matemático (Bachelor's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC).).
- Toledo, A. (2002). El agua en México y el Mundo. *Gaceta Ecológica*, (64), 9-18.
- Torres, S., (2009). Estudio del aprovechamiento del lechuguin, *Eichhornia crassipes*, del embalse de la represa Daniel Palacios como biosorbente de metales pesados en el tratamiento de aguas residuales (Doctoral dissertation, Tesis para la obtención del título de ingeniería ambiental. Universidad Politécnica Salesiana, México).
- Truong, P. N., Mason, F., Waters, D., & Moody, P. (2000, January). Application of Vetiver Grass Technology in off-site pollution control. I. Trapping agrochemicals and nutrients in agricultural lands. In Proc. second intern. Vetiver conf. Thailand. Disponible en: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.579.2845&rep=rep1&type=pdf>
- Vega, F. A. (2002). Filtros verdes. Un sistema de depuración ecológico. *Ingeniería hidráulica y ambiental*, 23(1), 25-29.
- Vera, L., Vidal, G., Salvato, M., & Borin, M. (2011). Consideraciones para la eliminación del nitrógeno en humedales artificiales. *Tecnología del agua*, 31(330), 40-49. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/235754309\\_Consideraciones\\_para\\_la\\_eliminacion\\_de\\_nitrogeno\\_en\\_humedales\\_artificiales](https://www.researchgate.net/publication/235754309_Consideraciones_para_la_eliminacion_de_nitrogeno_en_humedales_artificiales)
- Verbel, R. E. O., Martínez, I. D. M., & Gazabón, L. E. M. (2013). Remoción de la turbidez del agua del río Magdalena usando el mucílago del nopal *Opuntia ficus-indica*. *Producción+ Limpia*, 8(1).
- Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater biology*, 55(2), 282-298.

Yáñez Torrente, S. (2018). Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales en humedales construidos de flujo vertical. Disponible en: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente\\_Sandra\\_TFG\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/20315/YanezTorrente_Sandra_TFG_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Zayas, A. Á. (2008). Plantas ornamentales en Cuba: usos, diversidad y amenazas. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 83-100.

# **ANEXOS**

**ANEXO 1****ELABORACIÓN DE LOS HUMEDALES ARTIFICIALES****Elección del sustrato****Sistema terminado****Especies depuradoras****ANEXO 2****OBTENCIÓN DE DATOS****Monitoreo en el sistema****Análisis de la muestra de DBO<sub>5</sub>**