

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**“REMOCION DE MATERIA ORGANICA MEDIANTE *Chrysopogon zizanioides* EN EL TRATAMIENTO SECUNDARIO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS DE CITRAR”**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de  
**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CAMPOVERDE CADILLO, MARTIN

**Villa El Salvador  
2017**

## **DEDICATORIA**

Dedico a mis padres, Horacio y Claudia, por siempre apoyarme en mis lograr mis objetivos profesionales. Mis queridos hermanos, mis sobrinos, y especialmente a mis amigos que siempre me han apoyado emocionalmente y haciendo que me esfuerce. A dios por ser quien me guía todos los días de mi vida.

*Martin Campoverde Cadillo*

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a Dios por bendecirme para llegar hasta donde he llegado.

Agradezco a mis familiares por siempre estar a mi lado apoyándome, dándome facilidades y consejos para poder concretar este proyecto de tesis, para el curso de titulación.

A la bióloga Luzmila Rodríguez Quispe, por sus conocimientos, recomendaciones a lo largo de la elaboración y revisión del presente proyecto de tesis hasta la finalización de este proyecto.

A la universidad Tecnología de Lima sur, por el apoyo con la biblioteca y los profesores los cuales me han ayudado en la elaboración del marco teórico del proyecto de tesis. Agradezco al personal del laboratorio de la Universidad Nacional Tecnología de Lima sur por su confianza y apoyo en las mediciones realizadas.

Al profesor Bracho Pérez Julio Cesar, por brindarme sus conocimientos, me apoyo en la elaboración de las partes de mi proyecto de tesis.

A varios amigos de la Universidad Tecnología de Lima Sur y la Universidad Nacional de Ingeniera, los cuales me ayudaron a consolidar el tema de proyecto de tesis, y también me apoyaron para obtener facilidades en la redacción del proyecto de tesis.

## INDICE

### INTRODUCCION

CAPITULO I.....	9
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	9
1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	9
1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA .....	11
1.3 DELIMITACION DEL PROBLEMA .....	12
1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA.....	12
1.5 OBJETIVOS.....	12
CAPITULO II.....	13
MARCO TEORICO .....	13
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	13
2.2 BASES TEORICAS.....	18
2.2.1 Recurso Hídrico.....	18
2.2.2 Contaminación del Agua .....	20
2.2.3 Aguas Residuales Domésticas .....	23
2.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales .....	27
2.2.4.1 Planta de Tratamiento de aguas residuales .....	29
2.2.5 Clases de Plantas Acuáticas o Macrófitas.....	30
2.2.6 Tratamiento de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas o Fitorremediación .....	33
2.2.7 <i>Chrysopogon Zizanioides</i> .....	34
2.2.8 Parámetros indicativos de contaminación orgánica.....	38
2.3 MARCO CONCEPTUAL.....	41
CAPITULO III.....	43
DISEÑO METOLOGICO .....	43
3.1 ANÁLISIS DEL MODELO .....	43
3.2 CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA.....	48
3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS .....	58
CONCLUSIONES.....	68
RECOMENDACIONES.....	69
BIBLIOGRAFÍA.....	70
ANEXOS.....	78

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁGINA</b>
<b>FIGURA 1.</b> Principales plantas acuáticas.	Pg. 31
<b>FIGURA 2:</b> Esquema de sistema con especies flotantes.	Pg. 44
<b>FIGURA 3:</b> Sistema FMF	Pg. 45
<b>FIGURA 4:</b> Estructura de un FTW experimental.	Pg. 46
<b>FIGURA 5:</b> Distribución del sistema de tratamiento	Pg. 47
<b>FIGURA 6:</b> Laguna facultativa secundaria.	Pg. 49
<b>FIGURA 7:</b> Dimensionamiento de la estructura de tratamiento	Pg. 51
<b>FIGURA 8:</b> Montaje de las unidades experimentales.	Pg. 52
<b>FIGURA 9:</b> Instalación de las macrófitas.	Pg. 53
<b>FIGURA 10:</b> Válvula de manguera.	Pg. 54
<b>FIGURA 11:</b> Puntos de medición.	Pg. 55
<b>FIGURA 12:</b> Tendencia del parámetro Temperatura.	Pg. 59
<b>FIGURA 13:</b> Tendencia del parámetro pH.	Pg. 60
<b>FIGURA 14:</b> Tendencia del parámetro Turbidez.	Pg. 62
<b>FIGURA 15:</b> Tendencia del parámetro DQO.	Pg. 64
<b>FIGURA 16:</b> Tendencia del parámetro COT.	Pg. 67

## LISTA DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PAGINA</b>
<b>TABLA 1.</b> Clasificación vegetal de la especie <i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty	Pg. 35
<b>TABLA 2:</b> Detalle de materiales y equipos	Pg. 50
<b>TABLA 3:</b> Resultados de medición de la Temperatura	Pg. 58
<b>TABLA 4:</b> Resultados de medición del pH	Pg. 60
<b>TABLA 5:</b> Resultados de medición de la Turbidez	Pg. 62
<b>TABLA 6:</b> Resultados de medición de la DQO	Pg. 64
<b>TABLA 7:</b> Cálculos de DBO5	Pg. 66
<b>TABLA 8:</b> Cálculos de COT	Pg. 66

## INTRODUCCIÓN

La fitorremediación constituye una alternativa eficiente y económica para tratar diferentes tipos de aguas residuales, teniendo más aplicación en tratamiento de aguas ácidas de minas y domésticas. Es eficiente especialmente en la remoción de sustancias orgánicas, microorganismos y contaminantes fisicoquímicos. Debido a sus costos de construcción, operación y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales, se le considera una alternativa de bajo costo.

A pesar de sus beneficios, estos sistemas tratamiento de aguas residuales no se vienen implementando en muchos países de Latinoamérica. Sin embargo, se vienen realizando investigaciones aplicadas para otras finalidades. La aplicación de esta tecnología se viene realizando en países desarrollados, debido a su sistema educativo de incentivar la investigación, esto conlleva a desarrollar eficientes sistemas de tratamiento.

En el Perú, específicamente Lima se ha realizado algunas investigaciones con macrófitas, principalmente en la Universidad Nacional de Ingeniería, donde nos han demostrado la eficiencia que pueden tener las plantas acuáticas en los sistemas de tratamiento.

Por tal motivo la fitorremediación a través del uso de macrófitas ofrece una alternativa o ayuda a las técnicas tradicionales para las eliminaciones de materia orgánicas y nutrientes.

El uso de la *Chrysopogon Zizanioides* constituye una alternativas importantes porque se ha demostrado en varias investigaciones que esta

macrófita puede eliminar contaminantes debido a que sus cualidades morfológicas y fisiológicas, es altamente tolerante a condiciones desfavorables (Truong & Baker, 1998)

El uso de *Chrysopogon Zizanioides* para el tratamiento y control de contaminantes se considera como una alternativa económica y ecológica (Sepúlveda, 2013).

Este trabajo de tesis consiste en la aplicación metodológica de la fitorremediación utilizándola especie *Chrysopogon Zizanioides*, en la cual comprobaremos la eficiencia en la remoción de materia orgánica a través del análisis de diferentes parámetros, con el fin futuro de implementar un sistema de fitorremediación en el Perú.

## **CAPITULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

#### **1.1 DESCRIPCION DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA**

Hoy en día el ambiente se ve afectado por una gran carga de contaminantes, proveniente de todos los procesos que lleva a cabo el ser humano para facilitar su desarrollo y manutención.

La contaminación del agua dulce es una de las principales preocupaciones de la sociedad. Es un recurso limitado, apenas el 0.01% del agua dulce del mundo proviene de los ríos, lagos y humedales; por distribución geográfica sólo el 1% del agua sobre la superficie del planeta es de fácil acceso y es apta para el consumo humano (BID, 2002).

La contaminación del agua dulce será uno de los factores limitantes en el crecimiento económico del siglo XXI; muchos de los conflictos entre pueblos

tendrán su origen en la disponibilidad de agua dulce de buena calidad. Por esta razón, la importancia de la conservación y manejo de las fuentes de agua dulce.

Por consiguiente, para obtener un adecuado manejo y conservación se debe de contar un sistema de tratamiento de aguas residuales acorde las características, con el fin de destinar estas aguas a usos que de riego, bebida de animales entre otros, que el agua dulce está destinada.

La actividad humana está asociada a una generación de aguas residuales que deben ser sometidas a un tratamiento que garantice la continuidad del ciclo de consumo del recurso. La mayoría de las industrias vierten sus residuos a las redes de alcantarillado municipales que luego van a dar a los lagos y cuerpos de agua, ocasionando su contaminación.

En el Perú se generan anualmente aproximadamente 1,000 millones de m<sup>3</sup> de aguas residuales domésticas, de las cuales solo el 22% de este volumen es tratado, siendo más precisos en Lima solo se trata el 9.5% (Madueño y Salvador, 2009).

El problema del tratamiento de aguas residuales se ha tratado de solucionar implementando un conjunto de normativas y reglamentos que controlen la descarga de estos efluentes, para así minimizar en parte los daños que ocasionan.

En la actualidad existen muchos métodos para tratar aguas residuales, según Fernández, denomina "Sistemas blandos" o extensivos, a los sistemas de tratamientos de agua residuales empleados en los centros poblados

alejados de la ciudad debido a que consumen menos energía, y suelen ser menos costosos que los sofisticados sistemas de tratamiento convencionales o intensivos, sin comprometer la eficacia en la depuración del agua residual (Fernández, 2000).

Los fitosistemas es un tipo de sistema blando, su característica es el empleo de energía solar a través de procesos biológicos naturales (fotosíntesis). Estos sistemas surgen como un intento de aprovechar las capacidades de autodepuración de los hidrosistemas naturales que cuentan con plantas acuáticas, particularmente han sido implementados a través de sistemas de humedales para el tratamiento de aguas residuales (Brix & Shierup, 1989).

En esta experiencia se evaluará el comportamiento de la *Chrysopogon zizanioides*, la cual cuenta con características que la posicionan como una excelente especie fitorremediadora de suelos contaminados con metales pesados, por lo cual es importante conocer la capacidad que pueda tener en el tratamiento de aguas residuales y de esta manera realizar un aporte científico que beneficie en la depuración de las aguas residuales (Callirgos, 2014).

## **1.2 JUSTIFICACION DEL PROBLEMA**

La necesidad de proponer una alternativa sencilla y de bajo costo, a través de la fitorremediación para tratar las aguas residuales de procedencia doméstica, mediante la determinación de la capacidad de remoción de la materia orgánica con el uso de las macrófita *Chrysopogon zizanioides*.

### **1.3 DELIMITACION DEL PROBLEMA**

El proyecto se realizará en el departamento de Lima, provincia de Lima, distrito de Rímac en el Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas residuales domésticas y residuos peligrosos (CITRAR-UNI) en un periodo de 4 a 5 meses de estudio.

### **1.4 FORMULACION DEL PROBLEMA**

¿La macrófitas *Chrysopogon zizanioides* remueve materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales de procedencia doméstica?

### **1.5 OBJETIVOS**

#### **1.5.1 Objetivo General**

- ❖ Evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica a través del Carbono Orgánico Total (COT), mediante la *Chrysopogon zizanioides* en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- ❖ Determinar la DQO en el Tratamiento de aguas residuales domésticas con la *Chrysopogon zizanioides*
- ❖ Evaluar el comportamiento de los parámetros como el pH, temperatura y turbiedad en el tratamiento con la *Chrysopogon zizanioides*.
- ❖ Implementar un sistema sencillo y de bajo costo como alternativa en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION**

Las exploraciones con macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales se iniciaron en la década de los 70's en el Centro espacial de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), como un potencial método para tratar las aguas residuales en los viajes espaciales (Bolaños, Casas, & Aguirre, 2008).

La eficiencia de las macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales en presencia de materia orgánica y nutriente ha sido estudiada por varios investigadores. En el año de 1973 en la Universidad de la Florida, Harvey y Fox ensayaron con Lemna minor en la remoción de nutrientes,

obteniendo resultados de 89 % y 67 % para nitrógeno y fósforo, respectivamente (Martelo & Lara Borrero, 2012).

En Cuba dos décadas después, una investigación comparó la capacidad depuradora de cinco tipos de macrófitas flotantes. Los resultados que se obtuvieron demostraron la eficiencia en la remoción de estos tipos de contaminantes. De la misma manera se observó una relevante influencia del tamaño de la planta y de su sistema radicular en la remoción de los contaminantes (Rodríguez, Díaz, Guerra y Hernández, 1996).

Otra investigación demuestra además de la disminución de contaminantes comunes, las variables fisicoquímicas, en el tratamiento de efluentes provenientes de un digestor anaeróbico de una industria lechera. Las especies empleadas fueron: *Pistia stratiotes*, *Eichhornia crassipes* y *Hydrocotyle umbellata* (Wilkie & Sooknah, 2004).

Según investigaciones las macrófitas han demostrado una gran eficiencia en la remoción de metales pesados. Por ejemplo, la *Salvinia rotundifolia* demostró una alta eficiencia en el tratamiento de plomo (Barnerjee & Sarker, 1997). La *Pistia stratiotes* L. (Araceae) presentó una alta eficiencia en la remoción de metales en el tratamiento de efluentes industriales (Satyakala & Jamil, 1997).

Una de las primeras investigaciones con macrófitas flotantes en América Latina fue en Colombia en el 1996 registrado por la literatura; se determinó la capacidad de la *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales en zonas cálidas del valle Sinuano del departamento de Córdoba. Los resultados

demonstraron una alta remoción en las variables analizadas (Flórez, Otero, Segura y Sariego, 1996).

Posteriormente en la Universidad del Valle (Cali, Colombia) en el año 2012, a modo de escala de laboratorio se evaluó la eficiencia de la Lemna minor. En la remoción del Hierro, los experimentos se realizaron en diferentes concentraciones, obteniendo como resultado que a altas concentraciones la remoción disminuye, esto debido a procesos de saturación (Barba, 2002).

Estas publicaciones muestran el inicio de las investigaciones en relación al tratamiento de aguas residuales con macrófitas en el mundo, siendo Colombia uno de los primeros países de Latinoamérica que ha desarrollado este tipo de tecnología (Martelo y Lara, 2012).

Un estudio realizado en el Perú demostró que el uso de la macrófita Lemna minor es eficiente en la remoción de materia orgánica y nutrientes alcanzando una remoción de DQO en 56.10%, Nitrógeno Total (Nt) en 13.55% y Fósforo Total (Pt) de 25.40% (Madueño y Salvador, 2009).

Una de las primera investigaciones con la macrófita *Chrysopogon zizanioides*, se desarrolló en el año 1994, en la cual Jayashree alude que la especie vegetal *Chrysopogon zizanioides* logro captar Zn, Fe, Cu y Mn en suelos contaminados con aguas residuales de industrias textiles, mediante la fitoextracción, siendo la especie *Chrysopogon zizanioides* altamente tolerantes a suelos contaminados con metales pesados (Callirgos, 2014).

La aplicación de sistemas de tratamiento con la *Chrysopogon zizanioides* se comenzó en Australia en 1996, demostrando que la siembra de alrededor de

100 plantas en un área de 50 m<sup>2</sup> tiene la capacidad de secar totalmente la descarga del efluentes de un bloque sanitario de un parque, donde otras plantaciones como caña de azúcar, bananas, árboles de crecimiento rápido y pastos tropicales han fracasado (Truong y Hart, 2001)

En China, la *Chrysopogon zizanioides* fue utilizado con éxito para purificar las aguas de los ríos contaminados (Anon., 1997, Zheng et al., 1997).

El *Chrysopogon zizanioides* puede crecer en suelos alcalinos (pH=11) y ácidos (pH=3), también tolera altos niveles de metales como el cadmio, cobre, cromo y níquel (Truong y Claridge, 1996; Truong y Baker, 1998; Truong, 1999).

La *Chrysopogon zizanioides* es una macrófita con diferentes tipos de capacidades como tener beneficios económicos y ecológicos (Akhila y Rani, 2002) y además de sus propiedades de conservación ya que puede crecer verticalmente hasta 2 m, también posee un sistema radicular fuerte y denso que puede llegar a medir 3 m a más (Greenfield 1988, 1989, 1993, 1995).

Un estudio hecho mostró que la adición de enmiendas a relaves de hierro mejoraba el crecimiento de la *Chrysopogon zizanioides*, así como también la captación de Fe, Zn, Mn y Cu por la especie vetiver (Roongtanakiat, 2001).

Los estudios realizados con la especie *Chrysopogon zizanioides* han demostrado su capacidad de remover diversos contaminantes, entre las cuales se encuentran algunos macro nutrientes como el nitrógeno, fosforo y metales pesado como el Níquel, Cadmio, Plomo, Mercurio, Cianuros y recientemente el Flúor (Sepulveda, 2013).

Otro estudio determino la eficiencia de *Chrysopogon zizanioides* en la mejora de la calidad de los efluentes domésticos, bajo condiciones hidropónicas el ensayo se llevó a cabo usando una mezcla de aguas negras y grises. Los resultados mostraron que el Nitrógeno total (Nt) se redujo en un 94%, Fosforo total (Pt) en un 90%, de Coliformes fecales en un 44%, Conductividad Eléctrica en un 50%, Escherichia coli en un 91% y oxígeno disuelto > 800 mg / L (Truong y Hart, 2001).

Otros resultados también han demostrado que la *Chrysopogon zizanioides* tiene alta capacidad para absorber nutrientes tales como Nitrógeno y Fosforo en aguas contaminadas (Truong, 2000).

Usando la *Chrysopogon zizanioides* en un sistema hidropónico para tratar aguas residuales no solo fue capaz de eliminar Nitrógeno y Fosforo en un porcentaje de 90% sino que también redujo el crecimiento de algas y coliformes fecales. Una planta de *Chrysopogon zizanioides* usa en promedio 1.1 litros de agua al día (Truong y Hart, 2001).

Ha cobrado gran importancia la *Chrysopogon zizanioides* en la tecnología de fitorremediación, dada su alta resistencia a ambientes extremos y condiciones; en este sentido Roongtanakiat y Chairaj (2001); Troung y Baker (1998), demostraron que el vetiver es eficiente para la eliminación de zinc, plomo y cromo.

La aplicación de la *Chrysopogon zizanioides* en humedales artificiales para la depuración de aguas residuales urbanas y para aguas residuales industriales con alta carga orgánica, se evidencio una elevada rendimiento de la planta

obteniendo una remoción de DBO, DQO y SST por encima del 90% en un periodo de un año (Santana y Santos, 2016).

En un ensayo realizado para comparar la eficacia y la tolerancia a la toxicidad de 4 tipos de plantas en el tratamiento de lixiviados de vertederos, se concluyó que la siguiente escala de mayor a menor eficacia: *Chrysopogon zizanioides* > *Alternanthera philoxeroides* > *Potatum notatum* > *Eichhornia crassipes* (Xia et al., 2002)

## **2.2 BASES TEORICAS**

El empleo de la fitorremediación constituye una tecnología fundamentada científicamente, ampliamente publicada y aceptada por la comunidad científica internacional.

### **2.2.1 Recurso Hídrico**

Según Tortajada (2002), el ambiente es el sustrato que permite la supervivencia del ser humano dándole recursos esenciales para sus actividades productivas y económicas. El recurso hídrico es la suma total del entorno constituido por la atmósfera, la hidrosfera, la litósfera y la biósfera. Las interacciones entre los distintos componentes a través de diferentes procesos físicos, químicos y biológicos hacen que las especies químicas se muevan en el medio ambiente y este transporte se describe como un ciclo biogeoquímico.

El agua es un recurso natural, que se precipita desde la atmosfera en los días de lluvia. El agua corre por los ríos, es la que llega diario a nuestras casas. Esta misma la compramos en botellas para beber y saciar la sed.

El volumen de agua realmente disponible en la tierra se estima en 7 millones de kilómetros cúbicos existentes en (Calla, 2015):

- **Lagos:** 123,000 km<sup>3</sup>
- **Corrientes:** 1,230 km<sup>3</sup>
- **Mantos acuíferos:** hasta 800 metros de profundidad: 3x10000000 km<sup>3</sup>
- **Aguas profundas:** 4x10000000 km<sup>3</sup>
- **La atmosfera:** 12,700 km<sup>3</sup>

El agua es un recurso insustituible e fundamental en todos los organismos vivos, en ella viven y se multiplican casi todos los organismos como bacterias, virus, animales superiores y plantas. Este recursos contribuye a la formación de todos los líquidos biológicos necesarios para los procesos metabólicos en especial la asimilación y digestión de alimentos (Calla, 2015).

El ciclo hidrológico del agua representa el cambio permanente del agua entre sus diferentes estados y su participación en los procesos de vida en la tierra (Calla, 2015).

La composición del agua natural es producto de varios componentes que se van adhiriendo de acuerdo al ciclo hidrológico, según la composición del suelo, su ubicación, los procesos físicos y químicos que se realizan durante su paso. El agua posee características variables de acuerdo al sitio y al proceso de donde provenga (Calla 2015).

### **Calidad de Agua**

El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias

producidas por procesos naturales y actividades humanas. Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada. De acuerdo con lo anterior, los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si es agua para consumo humano (agua potable), para uso agrícola o industrial, para recreación, de contacto primario, para mantener la calidad ambiental, etc. (OMS, 1995).

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Panamericana de la Salud (OPS), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro.

El agua en la naturaleza contiene impurezas, que pueden ser de naturaleza físico-química o bacteriológica y varían de acuerdo al tipo de fuente. Cuando las impurezas presentes sobrepasan los límites recomendados, el agua deberá ser tratada antes de su consumo. Además de no contener elementos nocivos a la salud, el agua no debe presentar características que puedan rechazar el consumo (Soriano, 2014).

### **2.2.2 Contaminación del Agua**

Las actividades humanas han ocasionado la contaminación de los recursos hídricos, ya sea en forma directa (vertidos), por lo tanto la contaminación reduce la cantidad de agua utilizable para fines específicos, y se contribuye a conformar una situación de escasez y de degradación del ambiente (GDF, 2009)

La contaminación del agua sucede cuando la composición se altera de tal modo que no cumple las condiciones para los usos a los que estaba destinada. Se pueden distinguir dos tipos de contaminación del agua a según la fuente que la produce:

- Puntual o local: producida por actividades en un sitio determinado y que afectan a un sector limitado. Este tipo de contaminación es fácil de medir y controlar.
- No puntual o difusa: producida por aquellas actividades cuya fuente contaminante no tiene un punto de entrada fijo. Se produce en grandes extensiones. Ejemplo: agricultura intensiva.

Es decir que, la calidad natural del agua puede ser alterada por la actividad humana, dicho deterioro puede medirse por medio de parámetros físicos, químicos y biológicos, cuyos límites condicionan su potabilidad (Andriulo, 2005).

### **Aguas Residuales**

El agua residual es aquella cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y debido a su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA, 2014).

Desde el punto de vista de la fuente de generación se puede definir agua residual como la combinación de los residuos líquidos procedentes, tanto de residencias como de instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales (Linares, 2015).

Las aguas residuales también son llamadas aguas negras o aguas cloacales. Son residuales ya que es un residuo y no sirve para el uso directo del usuario, son negras por el color que habitualmente tienen. Algunos autores hacen diferencia entre aguas servidas y aguas residuales ya que las primeras son provenientes de uso doméstico y la segunda es de la mezcla de aguas domesticas e industriales (Linares, 2015).

Las aguas residuales provienen de una determinada población, por esta razón son líquidas y de composición variada, que según su origen se clasifican en Aguas Residuales Domésticas, Industriales, pluviales y de infiltración (Metcalf y Eddy, 2006).

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2014) las principales clasificaciones de las aguas residuales son:

- **Aguas Residuales Industriales (ARI):** Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.
- **Aguas Residuales Domésticas (ARD):** Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
- **Aguas Residuales Municipales (ARM):** También denominadas aguas servidas, son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas

residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

- **Agua Residual Tratada (ART):** Aguas servidas sometidas a tratamiento de remoción de los contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos en donde el efluente del sistema de tratamiento cumple los parámetros medioambientales (Cuidoelagua.org, 2014).

### **2.2.3 Aguas Residuales Domésticas**

Son aquellas aguas que provienen de las diferentes actividades domésticas como lavado de ropa, preparación de alimentos, aseo personal, limpieza, considerándose una combinación de orina, agua gris y heces humanas y de animales (Mara y Caimcross, 1990). Generalmente presentan un alto contenido de materia orgánica, compuestos químicos domésticos como detergentes, cloro y microorganismos principalmente patógenos.

En relación a la composición química, las aguas residuales domésticas generalmente contienen varios tipos de proteínas como albúminas y globulinas y enzimas producto de la actividad microbiana en la propia agua residual doméstica o como carbohidratos como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa (Blundi, 1988), así como grasas animales y aceites provenientes de los alimentos y también sales inorgánicas y otros compuestos inertes (Metcalf y Eddy, 2006).

De acuerdo a la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314 – Artículo 4°, son aquellas sustancias productos o subproductos en estado sólido o

semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer, en virtud de lo establecido en la normatividad nacional o de los riesgos que causan a la salud y el ambiente, para ser manejados a través de un sistema que incluya, según corresponda, a las operaciones y procesos.

### **Características del Agua Residuales Domesticas**

Las características de las aguas residuales pueden ser clasificadas como físicas, químicas y biológicas. Los constituyentes de mayor importancia del agua residual son los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos, por ello la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. (Garcia, 2012)

#### **Características Físicas**

- **Temperatura:** las Aguas residuales domesticas (ARD) liberan energía, por lo cual hacen que tenga una temperatura más alta que las aguas no contaminadas, dependiendo también del lugar donde se encuentra la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Es un parámetro bastante uniforme (Moret, 2014).

- **Color:** las aguas residuales que llegan a la PTAR tienen un color gris y, conforme pasa el tiempo, se torna negra, quiere decir que el agua residual se vuelve séptica. Pero puede tomar otros colores como verde (eutrofización) o rosácea (exceso de materia orgánica), indicando que las lagunas están trabajando mal y existe algún problema (Moret, 2014).

- **Sólidos:** hay diferentes tipos de sólidos que se encuentran en las aguas residuales. Los sólidos totales son aquellos que se quedan después de evaporar toda el agua; los sólidos disueltos son las moléculas orgánicas e inorgánicas; los sólidos en suspensión, los retiene el decantador y pueden diferenciarse en sedimentables (se separan por sedimentación) y no sedimentables (coloides). Eventualmente aparecen en la superficie de las lagunas anaeróbicas sólidos flotantes, que son producidos por el desprendimiento del metano en el fondo de la laguna (Moret, 2014).

- **Turbiedad:** indica como cualidad la transparencia. El agua deber ser transparente, al igual que el color está determinada por el material en suspensión (Soriano, 2014).

### **Características Químicas**

**Materia orgánica:** es importante este parámetro ya que puede provocar la pérdida de oxígeno y consecuentemente la muerte de seres aeróbicos en las fuentes de agua. Las formas de denominación más conocidas son:

- **Demanda biológica de oxígeno a los 5 días (DBO5):** es el parámetro más utilizado y aplicado a las aguas residuales y superficiales. Indica la cantidad de oxígeno disuelto que se consume en agua residual durante 5 días a 20 °C. Los resultados de la determinación de la DBO se utilizan para dimensionar las instalaciones de tratamiento y medir el rendimiento de algunos de estos procesos. Se puede calcular asimismo la velocidad a la que se requerirá el oxígeno (Rich, 1980).

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DQO):** es la cantidad de oxígeno que se necesita para oxidar químicamente toda la materia orgánica contenida en la muestra de agua. Los valores de DQO de un agua residual por lo general son mayores de la DBO porque es elevado el número de compuestos que se oxidan por vía química que biológica (Rich, 1980).

- **Oxígeno disuelto (OD):** nos indica el grado de contaminación del agua, es necesario para la respiración de los microorganismos aeróbicos y otras formas de vida. El oxígeno es ligeramente soluble en el agua (Metcalf, 1977).

- **pH:** es un indicador de la concentración de ion hidrogeno, es importante ya que indica la calidad de las aguas naturales como de las residuales. El valor adecuado para el crecimiento de organismos oscila entre 6,5 y 7,5. Si no se encuentra el agua entre estos valores indica que su tratamiento por medios biológicos son difíciles (Moret, 2014)

### **Características Biológicas**

- **Bacterias:** son los organismos más importantes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica se clasifica en cocos, bacilos, vibriones, espiroquetas y filamentos (Romero, 2010).

Existen bacterias (anaerobias) que consumen el oxígeno procedente de los sólidos orgánicos; otras (aerobias) que necesitan oxígeno del agua para poder alimentarse y respirar, las bacterias facultativas, son aquellas que pueden adaptarse al medio opuesto; por último se encuentran las bacterias coliformes, éstas sirven como indicadores de contaminación, y patógenos (Romero, 2010)

Organismos coliformes: el tracto intestinal del hombre contiene muchas bacterias en forma de bastoncillo, conocidas como coliformes. Aproximadamente una persona elimina 100 000 a 400 000 millones por día, además de otras bacterias. No son dañinos al hombre, y de hecho son útiles para destruir la materia orgánica en los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales (Metcalf, 1977).

#### **2.2.4 Tratamiento de Aguas Residuales**

El tratamiento de aguas residuales data del año 1800. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación de las fuentes de agua y las enfermedades de origen hídrico (Rojas, 2002).

El tratamiento de aguas residuales es la conversión del agua residual en un efluente final aceptable y la disposición adecuada de los lodos obtenidos en la purificación (Rojas, 2002).

El principal objetivo que tiene el tratamiento de aguas residuales es eliminar o reducir los contaminantes a niveles que no causen efectos nocivos en humanos o en los ambientes receptores (Hedine et al., 1994). Aunque a principios el tratamiento estuvo dirigido a evitar problemas con la industria y agricultores más que a los problemas de salud (Rojas, 2002).

Para la adecuada selección del tratamiento se deberá conocer la naturaleza del problema, las características del agua residual. Esto nos dará la capacidad y eficiencia del sistema de tratamiento mediante su diseño (Moret, 2014).

El proceso del tratamiento de aguas residuales consiste en una serie de métodos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los

contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua efluente (Pérez y Camacho, 2011).

Los métodos más utilizados para el tratamiento de aguas residuales se subdividen en tres grandes grupos (Palomino y Ballón, 2007):

- I. Método Físico:** es una operación en la cual se obtienen cambios en las características y propiedades del agua residual mediante la aplicación de fuerza física.
- II. Métodos Químicos:** es un proceso en la cual se producen reacciones químicas, se aplica para mejorar la calidad del efluente, con el fin de eliminar agentes patógenos, remover sólidos suspendidos y coloides.
- III. Métodos Biológicos:** la mayoría de aguas residuales se puede tratar con este método, se pueden clasificar desde el punto de vista de requerimiento de oxígeno en aerobios y anaerobios.

### **Tratamiento de aguas residuales en el Perú**

En el Perú de las 143 plantas de tratamiento de aguas residuales son gestionadas por Empresas Prestadoras de Servicios (EPS), solo el 14,7% tienen autorización sanitaria para su funcionamiento, lo que demuestra la informalidad. Según el estudio realizado en el 2007 por la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), los sistemas de alcantarillado recolectaron aproximadamente 747,3 millones de m<sup>3</sup>, el 70,9% pasan a contaminar los cuerpos de agua superficial que se usan para la agricultura, pesca, recreación e incluso para abastecimiento de agua potable y

solo el 29,1% ingresaron a un sistema de tratamiento de agua; esta última cifra tampoco garantizaba un tratamiento adecuado (Moret, 2014).

Otro de los problemas es que no se cuenta con profesionales capacitados para el mantenimiento y operación de las plantas de tratamiento. A consecuencia de ello, se deterioran, son abandonadas, debido a la inadecuada operación de las mismas.

La mayoría de las plantas en el Perú, no cuentan con información básica y necesaria como la temperatura, caudal, calidad del afluente o efluente, para un adecuado control en casos adversos. A Noviembre del 2008, solo el 26,6% de las PTAR mide el caudal afluente, solo el 70,6% de las PTAR tienen datos del nivel de DBO5 y 69,2% de ellas solo disponían de datos del nivel de coliformes fecales (Méndez & Marchan, 2008).

#### **2.2.4.1 Planta de Tratamiento de aguas residuales**

##### **Tratamiento primario**

Los tratamientos primarios de los contaminantes de un cuerpo de agua, básicamente son tratamientos físicos. El cribado es utilizado para la remoción de sólidos en suspensión donde, a través de rejillas, los materiales flotantes gruesos son separados. La sedimentación es utilizada para separar sólidos en suspensión de tamaño pequeño. Este método se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran. La flotación es un proceso utilizado para separar sólidos de baja densidad.

También se incluye los métodos de coagulación para la remoción de material en suspensión y los métodos de absorción (Ramalho, 1996).

### **Tratamientos secundarios**

Los tratamientos secundarios de los cuerpos de agua incluyen procesos biológicos aeróbicos y anaeróbicos, en lagunas de estabilización del tipo de oxidación, anaeróbicas, facultativas, tratamientos con lodos activados que, por acción de bacterias y algas, oxidan o reducen los componentes orgánicos contaminantes del agua (Ramalho, 1996 y Yáñez, 1993).

Adicionalmente se cuenta con los tratamientos que utilizan plantas acuáticas, los cuales son considerados tratamientos secundarios, entre ellos encontramos a los humedales.

### **Tratamientos terciarios**

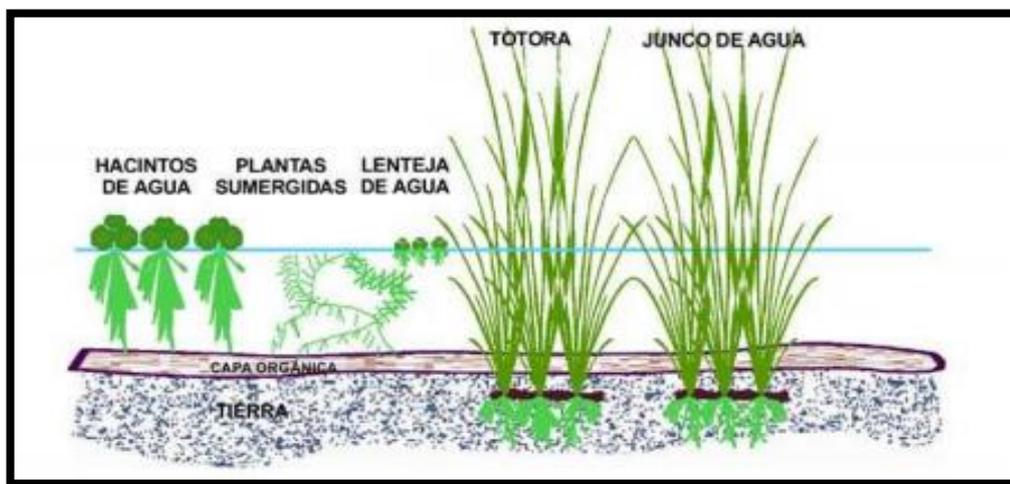
Son métodos de tratamiento avanzado, de naturaleza biológica, química o por radiación. En estos tratamientos, la eliminación, de los compuestos tóxicos persistentes para la biota acuática, se realiza mediante la mineralización completa del contaminante y, en otros casos, se busca que el compuesto inicial se degrade a compuestos inocuos. Estos tratamientos terciarios se realizan sólo cuando el contenido del contaminante se encuentra en pequeñas concentraciones (Visitación, 2004).

#### **2.2.5 Clases de Plantas Acuáticas o Macrófitas**

Son aquellas que para vivir requieren gran cantidad de agua en sus raíces, se desarrollan en medios húmedos y completamente inundados. Básicamente

tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes (García, 2012).

Estos facilitan la integración paisajística de los sistemas y recrean los ecosistemas donde intervienen varios elementos como insectos, aves, entre otros, regulando el sistema. También da la posibilidad de obtener productos con diversos fines, se puede usar para uso ornamental, compost, producción de forrajes, fibras para trabajos artesanales, etc. (García, 2012). Ver figura 1.



**Figura 1.** Principales plantas acuáticas. **Fuente:** EPA, 2003.

Las plantas acuáticas también son llamadas Macrófitas, estas no han sido muy estudiadas como sistema biológicos en tratamiento de aguas residuales (Miglio y Mellisho, 2003) (Bolaños, Casas, & Aguirre, 2008)

De acuerdo a la forma y la fisiología se tiene una clasificación simple y clara de las macrófitas (Jaramillo y Flores, 2012):

- ❖ Plantas flotantes, se distinguen por la habilidad para derivar el dióxido de carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las

plantas reciben sus nutrientes y minerales desde el agua. La especie más utilizada en la depuración ha sido el Jacinto de Agua.

- ❖ Plantas sumergidas, se distingue por la habilidad para absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.
- ❖ Plantas emergentes, son plantas que viven en aguas poco profundas, arraigadas en el suelo, cuyos tallos y hojas emergen fuera del agua, no sufren limitaciones de agua y tienen un mayor acceso a la luz.

Su presencia en abundancia genera ciertos inconvenientes, algunos de ellos son (Jaramillo y Flores, 2012):

- ❖ Favorecen la ausencia de oxígeno en el cuerpo de agua (en grandes coberturas de macrófitas flotantes).
- ❖ Grandes masas de macrófitas en descomposición acumulan materia orgánica en general en el sedimento, volviéndolo anóxico (sin oxígeno).
- ❖ Problemas en represas, en puentes y obras de ingeniería en general por acumulación de macrófitas flotantes.
- ❖ Problemas en lugares de recreación debido a que al encontrarse en grandes cantidades, hay gran cantidad de materia en descomposición y produce mal olor.
- ❖ Producen sombra a plantas sumergidas y algas que liberan oxígeno por la fotosíntesis.
- ❖ Pueden actuar como fuente de vectores propagadores de enfermedades y plagas.

- ❖ Taponamiento de canales de riego y de navegación.

## **2.2.6 Tratamiento de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas o**

### **Fitorremediación**

El Tratamiento de aguas residuales por medios de plantas acuáticas o macrófitas en los últimos años ha producir un gran interés, por su potencial en la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas lograron un tratamiento integral en donde no solo removieron material orgánico y sólidos suspendidos sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (García, 2012).

La fitorremediación se basa en el uso de plantas y su interacción con los microorganismos que se ubican en la rizósfera, con el fin de remover, transformar, secuestrar o degradar sustancias contaminantes contenidas en el suelos, sedimentos, aguas superficiales y subterráneas es por esto que los humedales construidos han sido ampliamente utilizados para el tratamiento de aguas contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos de compleja degradación (Susarla et al., 2002).

La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Kelley et al., 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008).

La fitorremediación es una alternativa emergente, que representa un menor costo, posee ventajas estéticas, captura gases efecto invernadero, no requiere

de una fuente de energía diferente a la solar y tiene una gran aplicabilidad bajo diferentes rangos de concentración de contaminantes (Guendy, 2008).

En Rio Negro, Colombia hay una fábrica llamada Imusa S.A. donde se viene ejecutando sembríos con *Eichhomia crassipes* (Jacinto de Agua) desde 1988, donde se comprobó una eficiencia de remoción de los diferentes contaminantes que alcanza más de 97% en los metales pesados (García, 2012).

Otra investigación reporto una disminución en la demanda bioquímica de oxígeno de 247 a 149 mg/l y una reducción en los sólidos suspendidos totales de 214 a 58 mg/l en una granja porcina en el Valle del Cauca utilizando este sistema de tratamiento (García, 2012).

### **Propiedades de las plantas acuáticas en el Tratamiento de aguas residuales**

Las macrófitas tiene funcionales importante las cuales son (García, 2012):

- ❖ Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- ❖ Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- ❖ Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- ❖ Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

#### **2.2.7 *Chrysopogon Zizanioides***

La *Chrysopogon zizanioides* es una planta que se cultiva hace muchas años en el continente Asiático, principalmente en la India, de donde es originario,

durante años fue utilizada para fines tradicionales, luego se utilizó para la extracción de aceites esenciales, para usos medicinales, usos artesanales y principalmente para fijar el suelo (Smyle, 1999)

La *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty, es una planta herbácea y perenne; según como lo indica el Sistema de Clasificación de Cronquist (1988) se clasifica de la siguiente forma: perteneciente a la División Magnoliophyta, clase Liliopsida, familia de las Poaceae, subfamilia Panicoindaceae.

Según Kumar (1995), menciona que la fitoextractora o fitoacumuladora consiste en la absorción de contaminantes mediante las raíces de las plantas y acumulándolos en tallos y hojas siendo una de las especies más utilizadas la *Chrysopogon zizanioides*.

**Tabla 1:** Clasificación vegetal de la especie *Chrysopogon zizanioides* (L.) Roberty

Especie Vegetal	
Nombre Científico	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty
Nombre vulgar	Vetiver Grass
Fecha de recolección	Cuarto Trimestre de 2011
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Poales
Familia	Poaceae (Gramineae)
Genero	Chrysipogon
Especie	<i>Chrysopogon zizanioides</i> (L.) Roberty

**Fuente:** Sistema de Clasificación de Cronquist (1988)

Su gran capacidad de adaptarse a diversas condiciones agroecológicas, ha permitido su expansión a nivel mundial. En Australia se desarrollaron estudios

en condiciones de invernadero, se comprobó que la especie *Chrysopogon zizanioides* en condiciones extremas de acidez si se fertiliza con N y O, una salinidad de hasta 17 dS\*m-1, así como mediana tolerancia al Na y elevada alcalinidad (pH de 9.6) (Truong y Baker, 1996).

Esta planta tolera sequía prolongada, inundaciones (entre 800 mm hasta 6000 mm de precipitación anual), resiste temperaturas extremas desde 14 °C hasta 60°C (Rodríguez, 2002); puede desarrollarse en una amplia gama de niveles de pH en el suelo (desde 3 hasta 11); posee un alto nivel de tolerancia a la salinidad, al sodio, acidez, presencia de Al, As, Cd, Cu, Cr, Pb, Mn, Hg, Ni, Se y Zn presentes en el suelo (Truong, 1999).

Ha cobrado gran importancia en la fitorremediación, dada su alta resistencia a ambientes extremos, condiciones de stress y acidez; en este sentido Roongtanakiat y Chairaj (2001); Troung y Baker (1998), demostraron que el vetiver es eficiente para la eliminación de zinc, plomo y cromo.

Las principales utilidades del son: barreras para control erosión, prevención de desastres naturales y corrientes de tierra, control de polución del agua, capacidad de descontaminación de contaminantes agrícolas químicos, rehabilitación de áreas contaminadas y degradadas, prevención de desastres naturales (Sepulveda, 2013).

### **Reproducción de la *Chrysopogon zizanioides***

El medio de propagación más utilizado para la *Chrysopogon zizanioides* es a través de rizomas, siendo muy cortos y llegando a medir 2-3 mm; presenta un sistema radicular que crece rápidamente pudiendo alcanzar de 3 a 4 m de

profundidad durante el primer año; sus tallos son erguido y rígidos con una altura de 0.5 y 1.5 m (Truong 1994). Se propaga mediante esquejes y no es invasiva (National Research Council, 1993).

Desarrollaron investigaciones de tipificación de ADN, por el Programa de identificación del *Chrysopogon zizanioides*, se evaluaron 60 muestras de diferentes cultivos como el Vallonia, Monto, Sunshine (presente en Perú) y Guiyang provenientes de 29 países ubicados entre Norteamérica, Suramérica, Asia, África y Oceanía; se halló que de estos, 53 pertenecían al único clon de *Chrysopogon zizanioides*, por lo que los cultivos sólo se diferencian en el nombre, pues los análisis de ADN demostraron que no existen diferencias genéticas entre ellos, lo que confirma que se está empleando el "genotipo estéril" de rápido crecimiento y desarrollo en gran parte del mundo (Truong, 1999).

Alegre (2000) indica que se enviaron muestras de hojas de Vetiver al Biotechnology Center en Texas para el análisis de ADN y así se identificó exactamente la especie que se tiene en Perú, enviando tres muestras de hojas de las plantas de Kenya, las propagadas en Yurimaguas y las producidas en Iquitos. Fueron parte de las 299 muestras analizadas de todas partes del mundo, finalmente se concluyó que las 3 muestras de Perú son la *Chrysopogon zizanioides* con semillas estériles. De esta manera, el genotipo empleado no produce semillas viables, lo cual asegura que no existe ningún riesgo de que esta planta llegue a convertirse en plaga en un lugar no deseado (Truong, 1999).

### **2.2.8 Parámetros indicativos de contaminación orgánica**

Materia orgánica son aquellas sustancias químicas que contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, y muchas veces con nitrógeno, azufre, fósforo, boro y halógenos. En las aguas residuales la materia orgánica proviene de residuos alimenticios, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

Existen tres métodos principales para medir la cantidad de materia orgánica en el agua: Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y la Carbono Orgánico Total (COT).

#### **Demanda Bioquímica de Oxígeno**

El parámetro de contaminación orgánica más empleado, aplicado tanto a aguas residuales como a aguas superficiales es la DBO a 5 días (DBO5). La determinación del mismo esta relacionada con la medición de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos en el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica (Metcalf y Eddy, 1995).

El procedimiento para su determinación es el siguiente. Se coloca una pequeña cantidad de agua residual en una botella de DBO (conocida como botella Whinkler). Se llena totalmente la botella agregando agua saturada con Oxígeno Disuelto y los Nutrientes requeridos. Esta disolución se mide con un oxímetro para ver la concentración de oxígeno disuelto o bien se determina en laboratorio como ya se indicó. Posteriormente se tapa la botella y se incuba a una temperatura de 20 °C durante cinco días. Después de este tiempo se

vuelve a medir la concentración de oxígeno disuelto (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

### **Demanda Química de Oxígeno**

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno necesario para descomponer químicamente, la materia orgánica degradable y biodegradable en un periodo de tres horas (Queralt, 2003).

Se trata de un ensayo empleado para medir el contenido de materia orgánica de una muestra de agua residual bajo condiciones específicas de agente oxidante, temperatura y tiempo. Como agente oxidante se emplea el dicromato de potasio, siendo el acidificante de uso generalizado el ácido sulfúrico; ambas son sustancias fuertemente oxidantes. Bajo tales condiciones se oxida toda la materia orgánica presente en la muestra incluyendo la materia orgánica que los microorganismos no pueden degradar. El análisis de este parámetro se aplica tanto a aguas superficiales como residuales (Otoniel, 2004).

Este proceso oxida todos los compuestos orgánicos en gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ). La ventaja de las mediciones de DQO es que los resultados se obtienen rápidamente (cerca de tres horas) (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

### **Carbono Orgánico Total**

El carbono es imprescindible para todo ser vivo. Circula de manera continua en el ecosistema terrestre. En la atmósfera existe una forma de dióxido de carbono que emplean las plantas en la fotosíntesis. Los animales usan el

carbono de las plantas y liberan dióxido de carbono como producto de su metabolismo.

El carbono orgánico total (COT) es un parámetro que permite medir la cantidad de materia orgánica biodegradable y no degradable presente en el agua.

Su determinación requiere un equipo muy costoso y un cuidadoso manejo de las muestras, y que por esta razón no es de uso muy generalizado. El procedimiento para el análisis del COT es el siguiente. El agua residual se inyecta a una cámara de reacción, a 680°C; el agua se vaporiza y el carbono (orgánico e inorgánico) se oxida a CO<sub>2</sub>. Dicho compuesto se transporta en corriente de aire, y se mide en un analizador de infrarrojos no dispersivo. Con este procedimiento se determina el carbono total (CT).

Se debe medir entonces el carbono inorgánico (CI) y por diferencia entre el CT y el CI se obtiene el COT. El carbono inorgánico (CI) se mide inyectando la muestra (agua residual) en una cámara de reacción distinta, que contiene ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>). Bajo condiciones ácidas todo el CI se convierte en CO<sub>2</sub>, que se mide en el analizador de infrarrojos. En estas condiciones el carbono orgánico no se oxida, por lo que sólo se determina el CI (Delgadillo, Camacho, Perez y Andrade, 2010).

### **Correlación entre las diferentes medidas del contenido de materia orgánica**

La posibilidad de establecer relaciones constantes entre los diferentes parámetros de medida del contenido en materia orgánica depende

principalmente del tipo de agua residual y de su origen. De todos ellos, el más complicado de interrelacionar resulta ser la DBO5, debido a los diferentes problemas e inconvenientes que presenta su análisis. No obstante, para aguas domesticas brutas el cociente DBO5/DQO se halla en el intervalo 0,4 - 0,8, mientras que la relación DBO5/COT varía entre 1,0 y 1,6 (Metcalf y Eddy, 1995).

### **2.3 MARCO CONCEPTUAL**

**Agua residual:** Agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión (Norma OS.090).

**Afluente:** agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Norma OS.090).

**Efluente:** líquido que sale de un proceso de tratamiento (Norma OS.020).

**pH:** logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro (Norma OS.020).

**Tratamiento secundario:** nivel de tratamiento que permite lograr la remoción de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión (Norma OS.020).

**Sistema de tratamiento de agua:** Conjunto de componentes hidráulicos; de unidades de procesos físicos, químicos y biológicos; y de equipos electromecánicos y métodos de control que tiene la finalidad de producir agua apta para el consumo humano (DS N°031-2010-SA).

**Planta de Tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales (Norma OS.090).

**Turbidez:** La turbiedad o turbidez de una muestra de agua es la falta de transparencia debida a la presencia de partículas en suspensión, de naturaleza inorgánica u orgánica, y también a la presencia de algas o fitoplancton. Se mide como Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU) (Martínez, 2014).

## **CAPITULO III**

### **DISEÑO METOLOGICO**

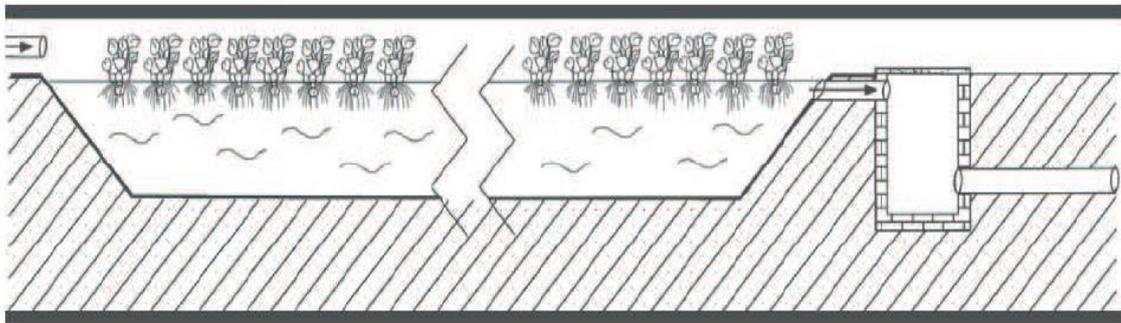
#### **3.1 ANÁLISIS DEL MODELO**

Históricamente se ha desarrollado sistemas de tratamiento con macrófitas flotantes. Por ese motivo existen varios métodos o modelos, el más empleado es el sistema de humedales (EPA, 1988). Así, un diseño con macrófitas flotantes puede ser considerado bajo algunos criterios un sistema de humedal, donde la literatura señala como humedales flotantes y humedales con macrófitas emergentes en flotación, ambos operando como humedales de flujo superficial (Fernández, 2000).

A continuación serán abordadas las consideraciones de diseño para cada uno de estos sistemas.

### Tratamiento con especies flotantes

Se trata de estanques con una profundidad variable (0,4 a 1,5 metros), donde las macrófitas se desarrollan, principalmente están las especies *Eichornia crassipes* y *Lemna minor* (Fernández, 2000). Son semejantes a las lagunas oxidación, pero con la presencia de macrófitas en lugar de algas y con una profundidad somera (EPA, 1988). Ver figura 2.



**Figura 2.** Esquema de sistema con especies flotantes.

**Fuente:** Fernández, 2000

Las macrófitas utilizadas son plantas capaces de eliminar nitrógeno mediante desnitrificación y fósforo incorporándolo a su biomasa, pudiendo eliminar también sólidos en suspensión del agua (Saeed y Sun, 2012).

### Tratamiento con macrófitas emergentes en flotación

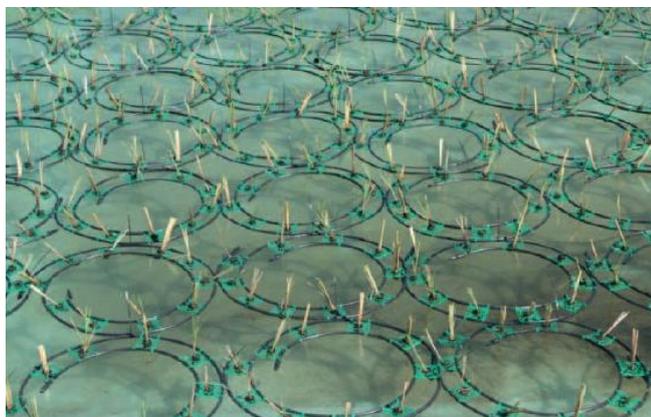
En estos sistemas se utilizan macrófitas emergentes, entre los más destacados se encuentran los Filtros de macrófitas en flotación (Fernández et al., 2004) y los humedales de tratamiento flotante con macrófitas emergentes (Tanner y Headley, 2011), cuyas características se evidenciarán más adelante.

### - **Filtros de Macrófitas en Flotación (FMF)**

El grupo de Agro energética del Departamento de producción vegetal de la Universidad Politécnica de Madrid desarrollaron este modelo, debido a problemas de colmatación. Llegando este modelo hasta África, estados unidos y varios países de Europa (Fernández, 2001).

Estos sistemas enlazan las ventajas de los humedades de flujo libre superficial y los sistemas acuáticos, principalmente manejan macrófitas emergentes como macrófitas flotantes, las cuales tiene un soporte en una estructura que flota la cual permite el entrelazado de las raíces, formando un tapiz filtrante que está permanentemente bañado por agua residual.

La remoción que brinda el mecanismo es más eficiente, conservando procesos similares a los que se dan en un Humedal de tratamiento flotante con macrófitas emergentes. Los mecanismos de remoción brindados por la vegetación son más eficientes, conservando procesos similares que se dan en un FWS; el flujo de agua ocurre superficialmente en estanques debidamente aislados como se muestra en la Figura 3 (Fernández, 2001).

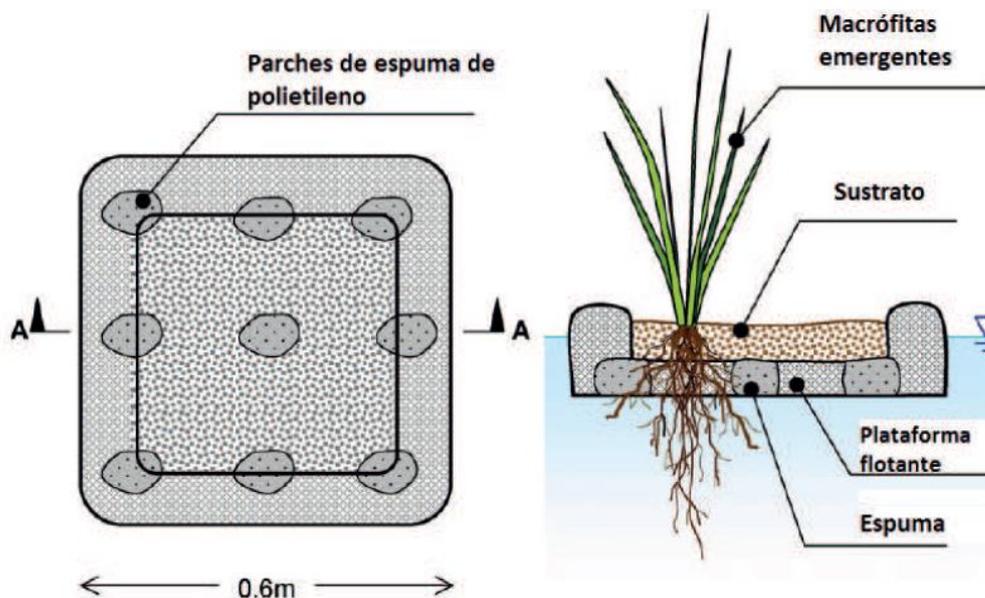


**Figura 3.** Sistema FMF. **Fuente:** Martelo y Lara, 2012.

- **Humedales de tratamiento flotante con macrófitas emergentes (FTW)**

Son similares a los FMF, manejan macrófitas emergentes flotantes, las cuales se encuentran en la superficie del estanque, a través de una estructura flotante, como se muestra en la Figura 4. La diferencia con el otro sistema consiste en el montaje de las macrófitas, que tienen lugar en estructuras diferentes (Headley y Tanner, 2008).

Las principales aplicaciones reportadas de estos sistemas han sido para el tratamiento de aguas pluviales, aguas residuales, aguas provenientes de sistemas combinados (aguas residuales - pluviales), y efluentes de industria minera, avícola, y porcina (Headley y Tanner, 2008).



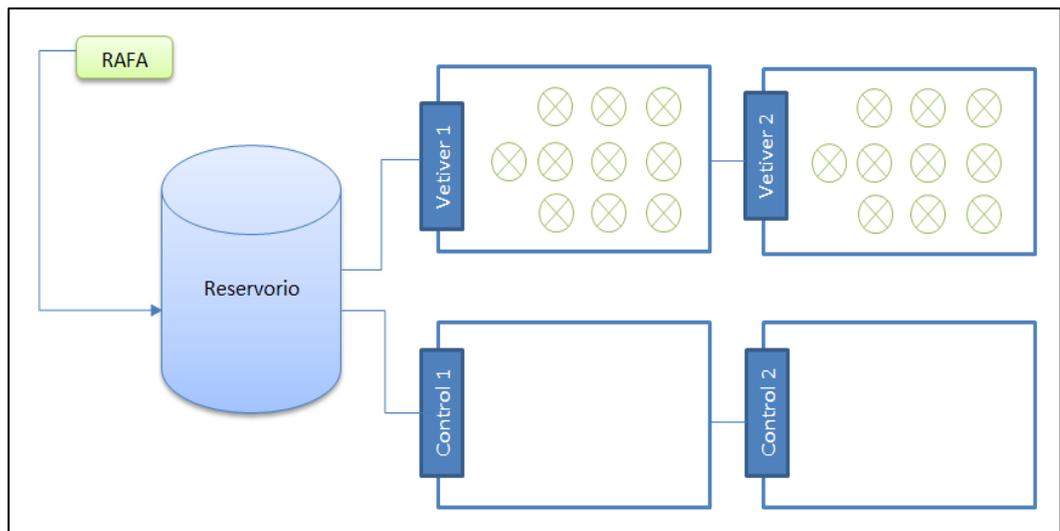
**Figura 4.** Estructura de un FTW experimental. **Fuente:** Tanner y Headley, 2011.

## Descripción del Proyecto

En la presente investigación se utilizará el modelo de Filtros de Macrófitas en Flotación descrita anteriormente, para ellos se plantea implementar 4 unidades experimentales. El primer tratamiento consta de 2 unidades control en serie y de la misma manera el segundo tratamiento es similar al primer tratamiento con la diferencia que constara de 10 macrófitas cada pecera. (Ver figura 5).

Todo el sistema experimental cuenta con un flujo continuo, el cual esta suministrado por una cisterna que recibe el efluente del Reactor Anaeróbico de flujo Ascendente, el cual es una unidad de tratamiento que conforma la Planta de Tratamiento CITRAR-UNI.

- Control 1 (T1): recibe el efluente del RAFA.
- Control 2 (T2): recibe el efluente del Control 1.
- Vetiver 1 (T3): tendrá macrófitas y recibirá el efluente del RAFA.
- Vetiver 2 (T4): tendrá macrófitas y recibirá el efluente del Tratamiento 1.



**Figura 5.** Distribución del sistema de tratamiento. **Fuente:** Elaboración

Propia.

## **3.2 CONSTRUCCIÓN Y DISEÑO DEL SISTEMA**

### **Actividad 1. Obtención de materiales y equipos**

El material vegetal de estudio (*Chrysopogon zizanioides*) fue obtenida en la Universidad Nacional Agraria la Molina ubicado en Lima-Perú. En total se obtuvo 20 plantas de mediano tamaño.

El efluente a tratar proviene de la planta de Tratamiento de Aguas Residuales de CITRAR-UNI, que tratan las aguas residuales de los asentamientos humanos El Ángel y El Milagro. La infraestructura existente en el centro de investigación de tratamiento de aguas residuales y residuos peligrosos está conformada de la siguiente manera:

- Captación
- Relleno Sanitario Manual
- Cámara de rejillas
- Desarenador
- Medidor de caudales
- Reactor RAFA/UASB
- Lecho de secado
- Laguna facultativa secundaria
- Laguna facultativa terciaria
- Estanque de peces
- Zona de Tesis
- Oficinas y laboratorio
- Muro perimetral



**Figura 6.** Laguna facultativa secundaria. **Fuente:** Elaboración Propia.

En el Reactor RAFA se realizó una conexión directa hacia la cisterna del proyecto, el cual proveerá de un flujo continuo al proyecto. La cisterna será llenado cada 2 a 3 días.

En la tabla 2 se indica la lista de los equipos y materiales que fueron utilizados específicamente durante el desarrollo del proyecto.

**Tabla 2: Detalle de materiales y equipos**

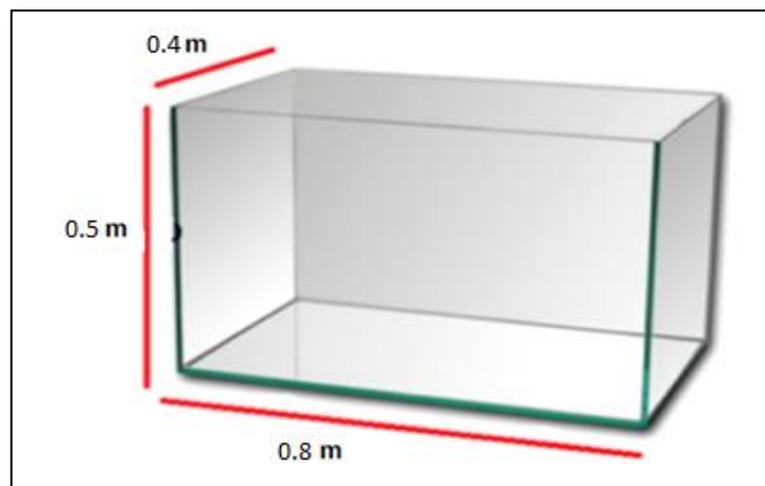
<b>MATERIALES DE CONSTRUCCION</b>	
Vidrio o acrílico	Silicona
Marcos de fierro	Cisterna de rotoplas
Válvulas de manguera	Mangueras
Pegamento	Tubos
Plástico negro	Tecnopor
Cinta negra	Ladrillos
Tijeras	Medidor de nivel de agua
Pabilo	-
<b>MATERIALES DE MUESTREO</b>	
Guantes quirúrgicos	Mascarillas
Mandil	Frascos de vidrio
Libreta de campo	Cinta métrica
Caja de tecnopor	Trapos
Cronómetro	Probeta
<b>EQUIPOS</b>	
Medidor de DQO portátil	Colorímetro
Turbidímetro	Multiparametro
Biodigestor	-

**Fuente:** Elaboración Propia.

## Actividad 2. Diseño de las unidades experimentales

Para desarrollar el presente Proyecto de investigación se utilizará cuatro estructuras rectangulares de vidrio y acrílico, reforzados con un marco de fierro, estas estructuras se ubicaran en las instalaciones de CITRAR-UNI. Las estructuras tienen las siguientes dimensiones útiles: (ver Figura 7)

- ❖ Largo: 0.80 metros
- ❖ Alto: 0.50 metros (5cm libre)
- ❖ Ancho: 0.40 metros
- ❖ V total por estructura: 144 L
- ❖ V total con las 4 estructuras: 576 L



**Figura 7.** Dimensionamiento de la estructura de tratamiento

**Fuente:** Elaboración Propia

Las peceras serán cubiertas por un plástico negro para evitar la aparición de algas. (Ver figura 8)

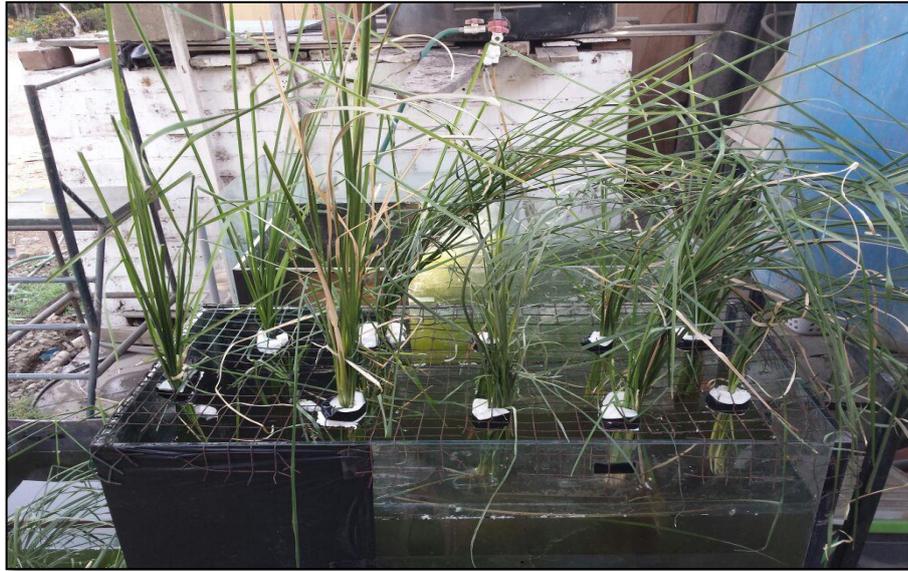


**Figura 8.** Montaje de las unidades experimentales. **Fuente:** Elaboración Propia.

### **Actividad 3. Adaptación de las Macrófitas**

Se realizó la adaptación de la macrófita *Chrysopogon zizanioides* durante 2 a 3 semanas. Los cuales fueron sumergidos en el agua a tratar hasta que brotaron raíces nuevas.

Cuanto se colocaron las macrófitas en las peceras estas se harán mediante un tecnopor amarrados a las esquinas para mantenerlos equilibrados (ver Figura 9).



**Figura 9.** Instalación de las macrófitas. **Fuente:** Elaboración Propia.

#### **Actividad 4. Tiempo de retención hidráulico y determinación del flujo continuo**

El tiempo de retención (TR) que se tomo fue de 2 días por pecera, fue elegido sobre base de la literatura y experiencia en investigación, en este tiempo se pudo conocerse el comportamiento de la *Chrysopogon zizanioides* en un medio acuático.

En cuanto al flujo o caudal de ingreso, se debe que tener en cuenta 2 variable importantes el volumen de la pecera y el tiempo de retención hidráulica, con estas 2 variables se determina el flujo que va tener nuestro sistema. En nuestro caso el volumen es de 144L y nuestro TR= 2 días obteniendo un flujo de 50 ml/min el cual fue establecido con las válvulas de manguera tal como muestra la figura 10, en las entradas de los primeros tratamiento y las entradas de los segundos tratamiento.



**Figura 10.** Válvula de manguera. **Fuente:** Propia.

### **Actividad 5. Frecuencia y puntos de medición de las variables de investigación**

La frecuencia de medición de los parámetros como el pH, temperatura y turbiedad será 3 veces al día en los horarios de 9am, 12pm y 3pm, y el parámetro DQO se medirá 3 veces semanalmente (lunes, miércoles y viernes).

Los puntos de medición son los siguientes: afluente del RAFA, el efluente del control 1, efluente del efluente del control 2, efluente del Vetiver 1 y efluente del Vetiver 2 (Ver figura 11)



**Figura 11.** Puntos de medición. **Fuente:** Elaboración Propia.

### **Actividad 6. Pruebas realizadas**

Pruebas que se realizaron en campo y laboratorio se hicieron con la finalidad de observar las variaciones de los parámetros del agua trata y el agua residual, y poder comprobar la eficiencia de las *Chrysopogon zizanioides* en remover materia orgánica a través de la medición de DQO.

El parámetro que se mide en campo es el caudal, es lo primero que se debe hacer antes de comenzar a tomar las muestras, ya que flujo que se estableció al comienzo en el sistema de tratamiento no debe variar. Para la medición del caudal se usa una probeta y un cronometro, se medirá 50 ml en 1 minuto, siendo el caudal establecido de 50 ml/min.

Después los parámetros de análisis en laboratorio fueron el pH y la T° los cuales se midieron 3 veces al día en un total de 5 puntos, esto se realizara con el Multipametro del laboratorio de CITRAR-UNI.

En cuanto a la turbidez este se midió 3 veces al día en los 5 puntos con el Turbidímetro, la medición consta llenar el vial con el agua residual y limpiarlo, después colocarlo en turbidímetro el cual nos arrojará el valor.

La medición de DQO se realizó 3 veces a la semana en los 5 puntos, en este caso se realizó mediante 2 métodos. El primero método consiste en el empleo de un equipo portátil.

El segundo método se utilizará un colorímetro, primero se colocan 2 ml de la muestra en un vial que contiene viene un reactivo específico, se agita suavemente y se repite para los 5 puntos del sistema. A la par se prepara en un vial con agua destilada es el llamado blanco el cual nos ayuda a poner en 0 el colorímetro.

Estos viales se colocarán en el biodigestor que previamente debe estar en 150 °C por un periodo de 120 minutos, después se procede a que se enfríen durante 20 minutos.

Finalmente el blanco se coloca primero en el colorímetro y solo presiona 0, para que se puedan iniciar las mediciones a partir de este valor, después se colocan el resto de viales con las muestras del sistema el cual permite obtener la medición de DQO en mg/L de cada muestra.

El cálculo del Carbono Orgánico Total se realizara mediante la correlación que hay entre la DQO, DBO5 y COT para aguas residuales domésticas. En este caso se tomara un valor de intermedio para evitar los valores extremos en ambos casos, 0.6 para la relación de DBO5/DQO y un valor de 1.3 para la relación de DBO5/COT.

### 3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

Durante el periodo de la investigación se observó que en las dos primeras semanas la *Chrysopogon zizanioides* presento cambios debido a su adaptación al medio.

Los análisis del agua se realizaron en el laboratorio del Centro de Investigación de Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR-UNI) obteniendo los siguientes resultados:

#### Resultados y análisis de temperatura y pH

**Tabla 3**

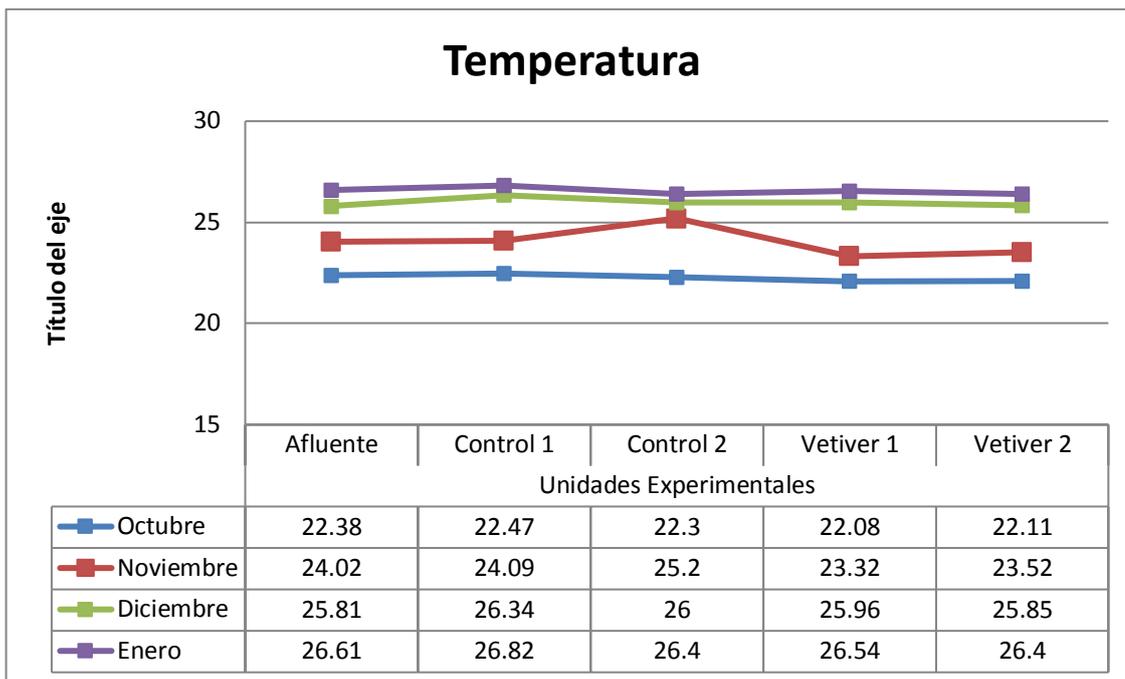
Resultados de medición de la Temperatura

Temperatura					
Meses	Unidades Experimentales				
	Afluyente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	22.38 ± 0.596	22.47 ± 0.254	22.3 ± 0.378	22.08 ± 0.225	22.11 ± 0.340
Noviembre	24.02 ± 0.534	24.09 ± 0.237	25.2 ± 0.360	23.32 ± 0.425	23.52 ± 0.277
Diciembre	25.81 ± 0.397	26.34 ± 0.140	26 ± 0.100	25.96 ± 0.282	25.85 ± 0.265
Enero	26.61 ± 0.232	26.82 ± 0.294	26.4 ± 0.624	26.54 ± 0.431	26.4 ± 0.472

**Fuente:** Elaboración Propia.

La temperatura es considerado uno de los parámetros de gran importancia ya que interviene en los todos los procesos biológicos y fisiológicos que se desempeñan en los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas (García, 2012).

La tabla nos muestra la tendencia a una temperatura similar en todos los puntos cuyos valores oscilan entre (22.11±0.340) – (26.82±0.232) °C con un promedio de 24.7°C.



**Figura 12.** Tendencia del parámetro Temperatura. **Fuente:** Elaboración Propia.

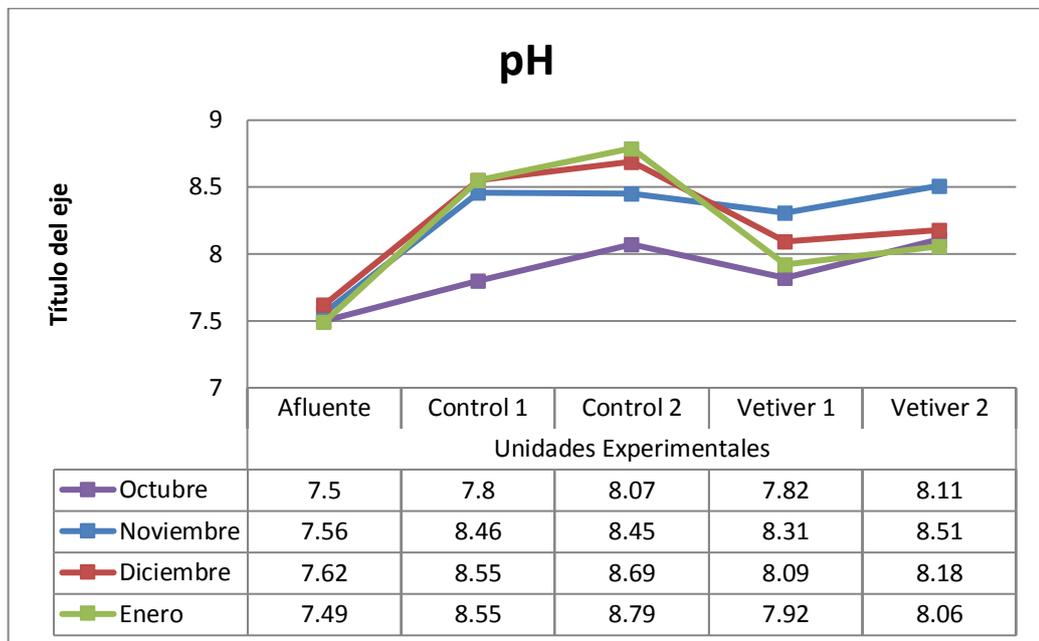
Se presenció un aumento en la Temperatura esto debido a la radiación solar ya que el proyecto se desarrolló en verano.

**Tabla 4**

Resultados de medición del pH

pH					
Meses	Unidades Experimentales				
	Afluente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	7.50 ±0.010	7.80 ±0.208	8.07 ±0.020	7.82 ±0.041	8.11 ±0.030
Noviembre	7.56 ±0.020	8.46 ± 0.152	8.45 ±0.015	8.31 ±0.055	8.51 ±0.066
Diciembre	7.62 ±0.015	8.55 ±0.086	8.69 ±0.040	8.09 ±0.176	8.18 ±0.035
Enero	7.49 ±0.035	8.55 ±0.180	8.79 ±0.035	7.92 ±0.070	8.06 ±0.075

Fuente: Elaboración Propia.



**Figura 13.** Tendencia del parámetro pH. Fuente: Elaboración Propia.

La figura nos muestra un comportamiento del pH tiende a alcalinizarse, cuyos valores oscilan entre  $(7.5 \pm 0.010)$  –  $(8.79 \pm 0.035)$  con un promedio de 8.1.

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales como los cloruros, iones de hidrógeno (que influyen en el pH), carbonatos, entre otros causan la alcalinidad en el agua. Es necesario mencionar que la

descomposición de materia orgánica o de ácidos orgánicos puede también incrementar el nivel de pH en aguas residuales domésticas (García, 2012).

Según Valderrama, los niveles de pH pueden alterarse durante el tratamiento de aguas residuales domésticas entre 6.5 y 8.5.

En los meses de Noviembre y Diciembre se presenciaron gran cantidad de Algas, esto evidencio el aumento del pH ya que estas realizan la fotosíntesis en procesos que remueven el CO<sub>2</sub> y altera el equilibrio buffer ácido carbonico-carbonatos, elevando el pH (García, 2012).

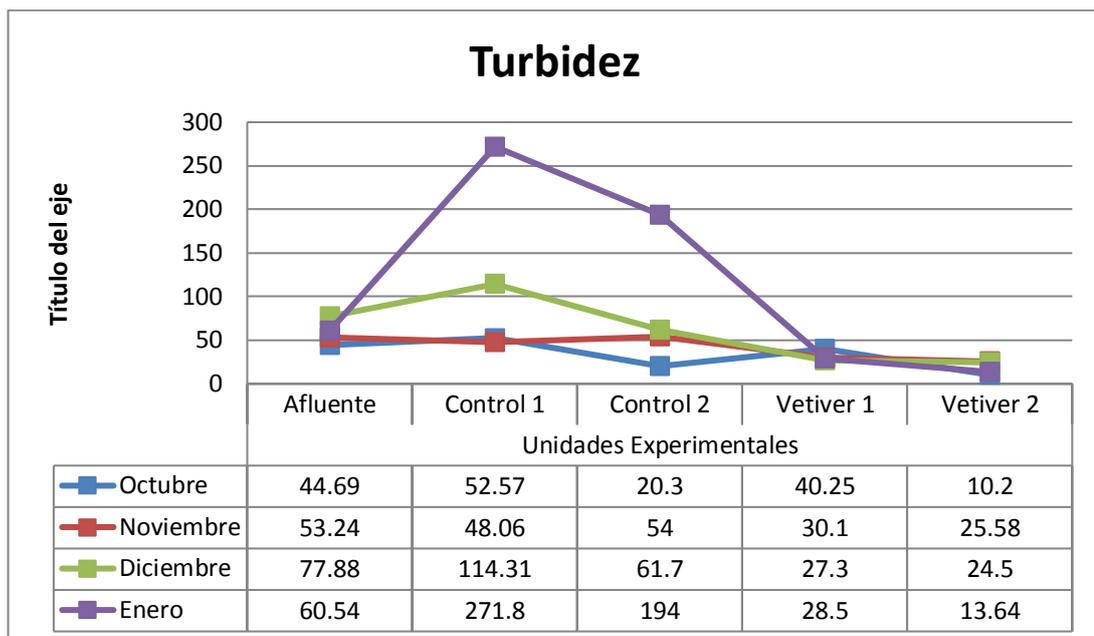
## Resultados y análisis de la turbidez

**Tabla 5**

Resultados de medición de la Turbidez

Turbidez					
Meses	Unidades Experimentales				
	Afluente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	44.69 ± 0.086	52.57 ± 0.503	20.3 ± 0.680	40.2 ± 0.610	10.2 ± 0.602
Noviembre	53.24 ± 0.140	48.06 ± 0.247	54 ± 1.154	30.1 ± 0.375	25.58 ± 0.795
Diciembre	77.88 ± 0.425	114.31 ± 0.445	61.7 ± 0.602	27.3 ± 0.550	24.5 ± 0.793
Enero	60.54 ± 0.563	271.8 ± 0.152	194 ± 2.516	28.5 ± 0.513	13.64 ± 0.866

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 14.** Tendencia del parámetro Turbidez. **Fuente:** Elaboración Propia.

La Figura nos muestra un comportamiento variable en las unidades de control las cuales presentan un aumento en algunos meses, en cambio en las unidades con la macrófita hubo una reducción del 82% de la turbidez al finalizar

la investigación, evidenciando un alto porcentaje de remoción, esta tendencia de reducción ocurren en los 4 meses que duró la investigación.

Las unidades control sufren un aumento debido a factores como residuos, larvas de mosquitos, sarro en las tuberías y la presencia de algas en los meses de Diciembre y Enero.

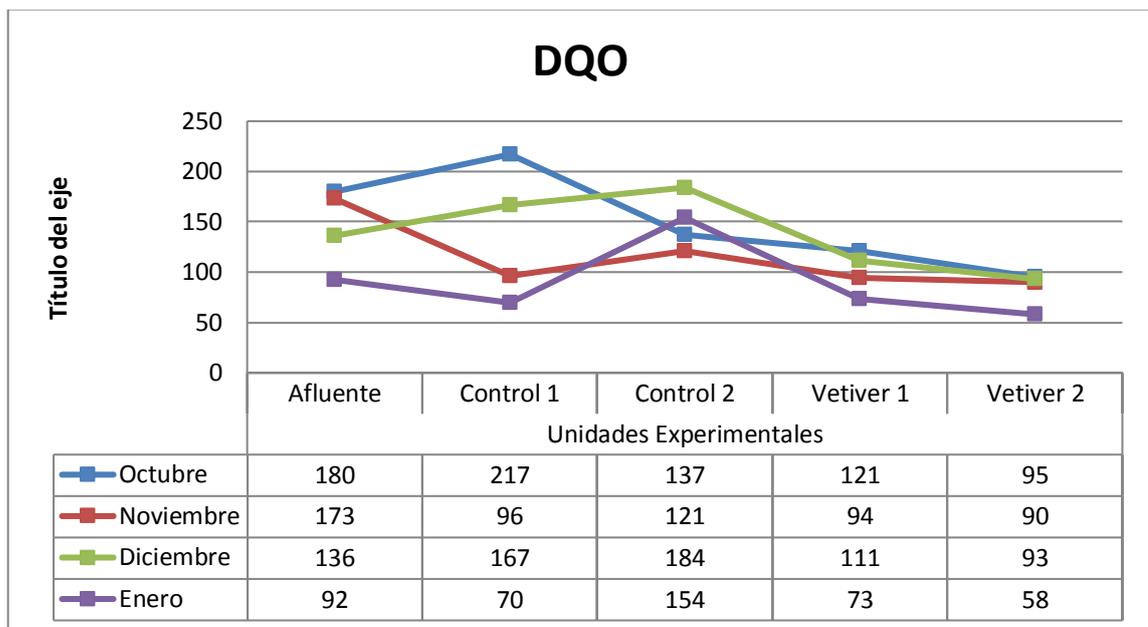
## Resultados y análisis de la DQO

**Tabla 6**

Resultados de medición de la DQO

DQO					
Meses	Unidades Experimentales				
	Afluyente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	180 ± 9.291	217 ± 7.505	137 ± 6.806	121 ± 6.429	95 ± 3.055
Noviembre	173 ± 7.505	96 ± 7.637	121 ± 5.686	94 ± 3.511	90 ± 5.131
Diciembre	136 ± 5.859	167 ± 6.557	184 ± 6.806	111 ± 4.041	93 ± 3.055
Enero	92 ± 3.785	70 ± 7.371	154 ± 7.767	73 ± 5.131	58 ± 5.033

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 15.** Tendencia del parámetro DQO. **Fuente:** Elaboración Propia.

La Figura nos muestra el comportamiento variable en las unidades de control 1 y 2. Evidenciando una pequeña reducción en los primeros meses. En cambio en las unidades con la macrófita se evidenció un comportamiento de reducción en todos los meses obteniendo una alta eficiencia en los meses de

experimentación. En el mes de Diciembre se evidencia una baja reducción de debido a presencia de algas. Según Truong adn Hart (2001) comprueban que la macrófita *Chrysopogon zizanioides* remueve la mayoría de los nitratos y fosfatos, de esta manera elimina la presencia de las algas.

La presente remoción de DQO se debe a que los sistemas tratados con plantas acuáticas, tienen raíces densas las cuales proporcionan más sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica y actúan como filtros de material particulado (García, 2012).

## Cálculo y análisis del Carbono Orgánico Total

**Tabla 7**

Cálculos de DBO5

<b>DBO5 (DQO*0.6)</b>					
<b>Meses</b>	<b>Unidades Experimentales</b>				
	Afluyente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	108	130.2	82.2	72.6	57
Noviembre	103.8	57.6	72.6	56.4	54
Diciembre	81.6	100.2	110.4	66.6	55.8
Enero	55.2	42	92.4	43.8	34.8

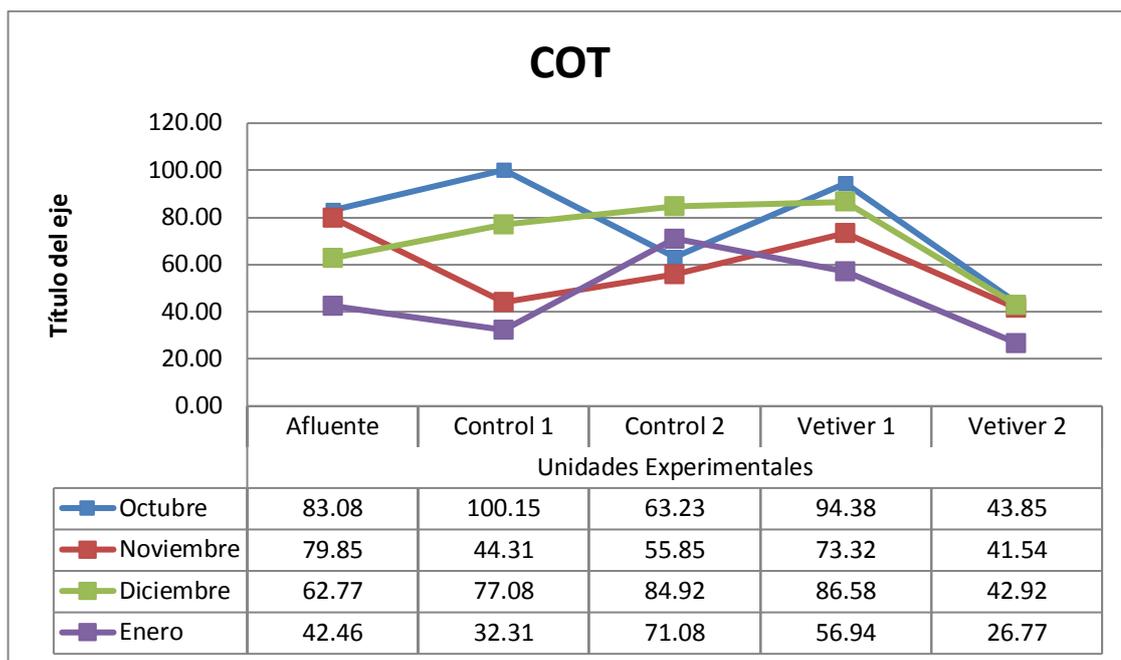
**Fuente:** Elaboración Propia.

**Tabla 8**

Cálculos de COT

<b>COT (DBO5/1.3)</b>					
<b>Meses</b>	<b>Unidades Experimentales</b>				
	Afluyente	Control 1	Control 2	Vetiver 1	Vetiver 2
Octubre	83.08	100.15	63.23	94.38	43.85
Noviembre	79.85	44.31	55.85	73.32	41.54
Diciembre	62.77	77.08	84.92	86.58	42.92
Enero	42.46	32.31	71.08	56.94	26.77

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 16.** Tendencia del parámetro COT. **Fuente:** Elaboración Propia.

La Figura nos muestra el comportamiento variable en las unidades de control 1 y 2. Evidenciando una pequeña reducción del 24 % en los primeros meses. En cambio en las unidades con la macrófita se evidenció un comportamiento de reducción en todos los meses obteniendo una eficiencia del 63 % en los meses de experimentación.

La remoción de Carbono Orgánico Total (COT) proporciona información específica acerca del tipo y origen de las cargas orgánicas en el agua residual. Junto con o en combinación con la DQO y la DBO5, es un parámetro “suma” importante para evaluar la carga orgánica del agua. Dado que los compuestos de carbono orgánico se determinan y especifican en términos de masa de carbono, el COT es una cantidad absoluta exactamente definible y se puede medir de modo directo (unidad: mg C/l).

## CONCLUSIONES

- La remoción de materia orgánica con la macrofita *Chrysopogon zizanioides* en el presente estudio alcanzó una eficiencia del 63 % en el parámetro Carbono orgánico total (COT), en el tratamiento de aguas residuales domésticas.
- Durante el Tratamiento de aguas residuales domésticas con la *Chrysopogon zizanioides* se comprobó la remoción del parámetro DQO en todos los meses. En los primeros meses tuvo una disminución elevada y en los últimos meses se notó una reducción en la remoción debido a la presencia de algas, larvas de mosquitos, entre otros.
- Los parámetros de Temperatura y pH en las unidades con tratamientos con la macrófita y el control, no se evidenció una variación significativa. Sin embargo se pudo determinar una eficiencia del 82% en el efluente final de las unidades con la macrófita, para reducir la turbidez.
- El tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando la macrófita *Chrysopogon zizanioides* ofrece una alternativa a los métodos convencionales de absorción de materia orgánica, ya que en la implementación se utilizó materiales de bajo costo, resultando ser una herramienta efectiva y económica (Ver anexo 2).

## RECOMENDACIONES

- Mejorar la estructura utilizando tubos a los bordes y una malla de hierro en el medio para una mejor distribución y estabilidad de las macrófitas ya que para nuestro caso fueron amarradas con un pabilo.
- Realizar repeticiones simultáneas bajo condiciones controladas de las unidades de tratamiento bajo las mismas condiciones, de manera de obtener resultados más precisos.
- Cubrir en su totalidad el área de las peceras con macrófitas, para poder encontrar una mayor eficiencia de degradación de la materia orgánica.
- Realizar un estudio a detalle para poder evaluar los diversos procesos que ocurre entre las raíces, el agua residual y los microorganismos.
- Incentivar el empleo de la fitorremediación ya que constituye una vía de valorizar la biodiversidad del Perú, como las macrófitas, que ofrecen una alternativa de tratamiento de aguas residuales de bajo costo.
- Evaluar la  $DBO_5$  conjuntamente con la DQO y los análisis de nitratos y fosfatos, para evaluar de manera más profunda la eficiencia de degradación de la materia orgánica.
- Implementar un estudio con tiempos de retención más elevados (5,10 días) para conocer la influencia de ese parámetro.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alegre Orihuela, Julio. (2000). Síntesis de los estudios de investigación y desarrollo con la especie vetiveria zizanioides (vetiveria) en Perú.
- Andriulo A., Sasacarolina, L. & Portela, S. (2005). Contaminación de las Aguas Subterráneas. Grupo Suelo INTA Pergamino.
- Anon. (1997). A consideration and preliminary test of using vetiver for water eutrophication control in Taihu Lake in China. Fuzhou: Proc. International Vetiver Workshop.
- Akhila, A., Rani, M. (2002). Chemical constituents and essential oil biogenesis in Vetiveria zizanioides. London: Maffei, M. ed. Vetiveria.
- Barba L. (2002). Fitorremediación en el tratamiento de aguas residuales con metales pesados. Universidad del Valle, 1-17.
- Barnerjee, G., & Sarker, S. (1997). The role of salvinia rotundifolia in scavenging aquatic pb(II) pollution: a case study. Bioprocess and Biosystems Engineering, 295-300.
- Blundi, C.E. (1988). Aplicação de métodos alternativos de determinação da matéria orgânica e Biomassa em águas residuárias de São Carlos (Tese Doutorado), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
- Bolaños, S., Casas, J., & Aguirre, N. (2008). Analisis comparativo de la remoción de un sustrato orgánico por las macrofitas Pistia stratiotes y Egeria densa en un sistema batch. Gestion y ambiente, 39-48.
- Brix, H., & Shierup, H. (1989). The use of aquatic macrophytes in water pollution control. Ambio Stockholm volumen 18, 100-107, 223, 224, 226, 237.
- Calla, M.H., (2015). Sistema de tratamiento de aguas residuales y sus consecuencias en la contaminación del agua subterránea en la ciudad universitaria de la UANCV en el 2015 (Tesis para optar el grado de Ingeniería Ambiental). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Perú.
- Calligos Rodriguez, C.M. (2014). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de la especie *chrysopogon zizanioides* mediante la incorporación de enmiendas en relaves mineros. (Título para optar el grado de Ingeniero Ambiental) Universidad Nacional Agraria la Molina, Perú.

- Cartró, J. (2003). Tratamiento de aguas industriales: Depuración biológica de las aguas residuales. Ed. Fundación Universitaria Iberoamericana. Universidad de Catalunya, Barcelona.
- Cuidoelagua.org. (10 de julio de 2014). Recuperado el 20 de febrero de 2016, de [cuidoelagua.org: http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguasresiduales/aguasresiduales.html](http://www.cuidoelagua.org/empapate/aguasresiduales/aguasresiduales.html)
- Cherian, S. & Oliveira, M. (2005). Transgenic plants in phytoremediation: recent advances and new possibilities. *Environmental Science & Technology*, 39, 9377-9390.
- Cho, C., Yavuz-Corapcioglu, M., Park, S. & Sung, K. (2008). Effects of Grasses on the Fate of VOCs in Contaminated Soil and Air. *Water, Air, & Soil Pollution*, 113, 243-250.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L. & Andrade, M. (2010). Depuración de Aguas residuales por medio de humedales artificiales. Ed. Nelson Antequera Durán. Cochabamba, Bolivia.
- Desarrollo, B. I. (2002). Recursos Mundiales 2002 La Guía global del planeta. Madrid: Ecoespaña.
- DS N°031-2010-SA. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 26 de setiembre 2010.
- Eapen, S., Singh, S. & D'Souza, S. F. (2007). Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. *Biotechnology Advances*, 25, 442-451.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1988. Design manual: Constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment. US EPA, 225, 226, 229, 230, 231, 232, 235.
- Fernández González, J., de Miguel González, E., de Miguel Muñoz, J., & Curt Fernández de la Mora, M. D. (2004). Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación, 61-77.
- Fernández, J. (2000). Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación. Coordinada por Jesús Fernández González. Proyecto Life. Amb., 2000. 223, 226, 227, 229, 230, 232, 236.
- Fernández, J. (2001). Filtro autoflotante de macrofitas para la depuración de aguas residuales. In *El agua, un bien para todos: conservación, recuperación y usos: 6ª Jornadas Ambientales* (pp. 171-180). Ediciones Universidad de Salamanca.

- Florez A., Otero A., Segura A., & W. Sario W. (1996) Evaluación de macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales en un tramo del canal de drenaje de 1E de montería. *Temas Agrarios*, 61–70.
- Garcia, Z.M. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas (Tesis para optar el grado de Ingeniería Sanitaria). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Gobierno del distrito Federal (GDF) 2009. Lineamientos de Sustentabilidad para Proyectos en Espacios Públicos en el Distrito Federal México, 232.
- Greenfield, J.C. (1988). *Vetiver grass (Vetiveria zizanioides): a method for soil and water conservation*. India: P.R. Press, New Delhi.
- Greenfield, J.C. (1989). *Vetiver grass (Vetiveria zizanioides): the ideal plant for vegetative soil and water conservation*. Washington: the World Bank.
- Greenfield, J.C. (1995). *Vetiver grass (Vetiveria spp): the ideal plant for vegetative soil and moisture conservation*. In: Grimshaw RG, Helfer L (eds) *Vetiver grass for soil and water conservation, land rehabilitation, and embankment stabilization*. Washington: The World bank.
- Guendy M. (2008). Pigments and moisture contents in *Phragmites australis* (Cav.) Trin. Ex steudel, would be engines for monitoring biodegradation of petroleum contaminants in constructed wetlands. *Australian Journal of basic and applies Sciences*, 1068 – 1075
- Headley, T. R., & Tanner, C. C. (2008). Floating treatment wetlands: an innovative option for stormwater quality applications. In 11th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Indore, India (Vol. 17).
- Hedin, R.; Nairn, R. & Kleinmann, R. (1994). *Passive treatment of polluted coal mine drainage*. Bureau of Mines Information Circular 9389. United States Department of Interior, 313- 318.
- Jaramillo Jumbo, M.D. y Flores Campoverde, E.D. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. (Tesis para optar el título de Ingeniero Ambiental) Universidad Politecnica Salesiana, Ecuador.
- Kumar, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I. 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology*. 29: 1239-1245.

- Kelley, C., Gaither, K. K., Baca-Spry, A. & Cruickshank, B. J. (2000). Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory. *Chem Educator*, 140-143.
- Linares Martinez, J.A. (2015). Empleo de bofedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales de baños portátiles. (Título para optar el grado de magister) Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- Mara, D. & Caimcross. S. (1990). Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura. Medidas de protección de la Salud Pública, OMS, 213.
- Madueño Huaruco, R.J. y Salvador Tixe, J.C. (2009). "Evaluación del uso de la Planta acuática Lemna para determinar la eficiencia remocional de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la planta CITRAR". (Tesis para Optar el Título Profesional). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Martelo, J., & Lara Borrero, J.A. (2012). Macrofitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte . *Ingeniería y ciencias*, volumen 8, 221-243.
- Martinez, P.A. (2014). Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domesticas (Tesis para optar el grado de doctor) Universidad de Murcia, España.
- Méndez, J.P. & Marchan, J. (2008). Diagnóstico situacional de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de las EPS del Perú y propuestas de solución. Lima: RyF Publicaciones y servicios S.A.C.
- Metcalf, E. (1977). Tratamiento y depuración de las aguas residuales. 1era ed.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, vertido y reutilización. Mac Graw- Hill Book Co. 3da Edición.
- Miglio, R. & Mellisho, M. (2003). Evaluación de la capacidad depuradora de tres macrofitas acuáticas en pantanos artificiales para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Editorial Agraria, 158.
- Miretzky, P., Saralegui, A. & Fernández-Cirelli, A. (2004). Aquatic macrophytes potential for the simultaneous removal of heavy metals (Buenos Aires, Argentina). *Chemosphere*, 997-1005.
- Moret, I. (2014). Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas. (Tesis de pregrado en Ingeniería Civil). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Programa Académico de Ingeniería Civil. Piura, Perú.

- Norma OS.090. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de mayo de 2006.
- Norma OS.020. Diario Oficial El Peruano, Lima, Perú, 23 de mayo de 2006.
- Organización Mundial de la Salud (OMS). 1995. Ginebra: Guías Para la Calidad del Agua Potable.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA - MINAM. (2014). Perú: Fiscalización en Aguas Residuales.
- Otoniel, A. (2004). Tratamiento de aguas industriales: Características químicas del agua. Universidad Nacional de Colombia, Bogota.
- Palomino Lucano G.R. y Ballon Jomeque M.C. (2007). Tratamiento de aguas residuales por procesos de biopelículas. (Tesis para optar el título de Ingeniero Sanitario) Universidad Nacional de Ingeniería, Perú
- Perez Alarcon, F.E. y Camacho Alcala, K.L. (2011). Tecnologías para tratamiento de aguas servidas. (Tesis para aprobar el examen demostrativo de la experiencia recepcional en el programa de Ingeniería Ambiental) Universidad Veracruzana, Perú.
- Queralt, R. (2003). Tratamiento de aguas industriales: Generalidades. Fundacion universitaria Iberoamericana, Barcelona.
- Ramalho R. S. (1996); Tratamiento de Aguas Residuales. Barcelona: Editorial Reverte, 91 – 154.
- Rich, L. (1980). Low Maintenance, Mechanically Simple Wastewater Treatment Systems, Mc Graw Hill.
- Rodriguez, C., Diaz, M., Guerra, L., & Hernandez, J. (1996). Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. Centro de investigaciones hidráulicas. Instituto Superior Politécnico. Facultad de Ingeniería Química. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Rodríguez, O. (2002). Establecimiento exitoso de barreras de vetiver en el terreno. Boletín Vetiver N° 10.
- Rojas, R. (2002). Curso Internacional "Gestión integral de tratamiento de aguas residuales". Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales (págs. 1-19). CEPIS/OPS-OMS.
- Romero, J. (2010) Tratamiento de aguas residuales. Colombia: Teoría y principios de diseño. 3a ed. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.

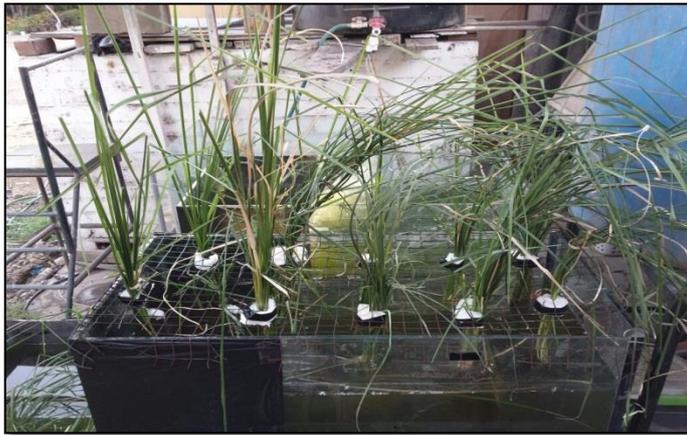
- Roongtanakiatm N. & Chairroj, P. (2001). Uptake potential of some heavy metals by vetiver grass. *Kasetsart: J. Nat. Sci.*, 46-50.
- Saeed, T., Sun, G. (2012). A review on nitrogen and organics removal mechanism in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*, 429-448.
- Satyakala, G., & Jamil, K. (1997). Studies on the effect of heavy metal pollution on pistia statiotes. *Indina Journal of Environmental Health*, 1-7.
- Sepulveda Asprilla, N.I. (2013). Desarrollo de una protocolo para la Rizofiltracion de efluentes contaminados con mercurio mediante la aplicación de filtros vegetales con la especie Vetiver. (Título para optar el grado de magister) Universidad de Manizales. Colombia.
- Smyle, J. (1999). Experiencia mundial con el uso del vetiver para infraestructura, cuenca y uso en la finca. Taller de Bioingeniería para la Construcción Post Mitch. San Salvador. El Salvador, 19-22.
- Soriano Ortiz, F.H. (2014). Eficiencia del Filtro de arcilla en la purificación del agua para consumo humano en Cajamarca. (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil) Universidad Privada del Norte, Perú.
- Susarla, S., Medina V. & McCutcheon S. (2002). Phytoremediation: an ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering* N° 18, 647 – 658.
- Tanner, C. C., & Headley, T. R. (2011). Components of floating emergent macrophyte treatment wetlands influencing removal of stormwater pollutants. *Ecological Engineering*, 474-486.
- Tortajada, A. (2002). Soluciones quimiométricas para optimizar el análisis de parámetros químicos en aguas. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Facultad de Química.1997. España. Pag 486pag, pag.28-29
- Truong, P. (1994). Vetiver grass, its potential in the stabilisation and rehabilitation of degraded and saline lands. Ed.V.R. Squire and A.T.Ayoub: Halophytes a resource for livestock and for rehabilitation of degraded land Kluwer Academics Publisher, Netherlands., 293-296.
- Truong, P.N. & Baker D.E. (1995). Effects of some adverse soil conditions on the growth of *Vetiveria zizanioides* L. *International Conference of Vetiver: A Miracle Grass.Tailandia*. 18.
- Truong, P., & Baker, D. (1998). *Vetiver Grass System For environmental protection*. Bangkok: Pacific Rim Vetiver Network.

- Truong, P. & Baker, D. (1998). Vetiver grass for stabilization of acid sulfate soil. In proceedings second national conference acid sulfate soils, 196-198.
- Truong, P. & Claridge, J. (1996). Effects of heavy metal toxicities on Vetiver growth. Thailand: Proc. First Int. Vetiver Conf. Thailand (in press).
- Truong, P. (1999). A tool Against Environmental Degradation and Desertification in Iberia. Iberia: Vetiver Grass Technologie.
- Truong P. (2000). The global impact of vetiver grass technology on the environment. Proceedings of the Second International Conference on Vetiver. Office of the Royal Development Projects Board, Bangkok, 48-61.
- Truong, P.N. & Hart, B. (2001). Vetiver system for wastewater treatment. Bangkok: Technical Bolletin No. 2001/2. Pacific Rim Vetiver Network.
- Truong, P.N. & and Hart, B. (2001). Vetiver System for Wastewater Treatment. Born: Poster paper presented at the International Fresh Water Conference.
- Valderrama, L.T. (2005). Evaluación del Efecto del Tratamiento con Plantas Acuáticas en la Remoción de Indicadores de Contaminación Fecal en Aguas Residuales Domésticas. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental – Universidad Javeriana. Bogotá – Colombia. Pág.3-7.
- Visitación Figueroa, L. (2004). Degradación fotocatalitica de detergentes en efluentes domésticos. (Tesis para optar el grado de Magister en química) Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú
- Wilkie, A., & Sooknah, R. (2004). Nutrien removal by floating aquatic macrophytec cultured in anerobically digested flushed dairy wastewater. Ecological Engineering, 27-42.
- Xia, H.P., Liu S.Z., & Ao H.X. (2002). Study on purification and uptake of vetiver grass to garbage leachate. Bangkok: Proceedings of the Second International Conference on Vetiver. Office of the Royal Development Projects Board.
- Ximena Valeria S.S. y Jessie Daniela S.T. (2016). Eficiencia del Pasto Vetiver (*Chrysopogon zizanooides*) ex – situ en la remocion de contaminantes organicos, caso de estudio Río Muerto, Cantón Manta. (Tesis para optar el título de Ingeniea en medio ambiente) Escuela superiores Politecnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Ecuador.
- Yañez, F. (1993). Lagunas de Estabilización. Cuenca: Editorial Monsalve, 11 – 18.

Zheng, C.R., Tu C., & Chen H.M. (1997). Preliminary Study on Purification of Eutrophic Water With Vetiver. Fuzhou: Proc. International Vetiver Workshop.

## ANEXOS

### ANEXO 1: PANEL FOTOFRAFICO



Descripción: Se muestra la puesta en marcha del proyecto



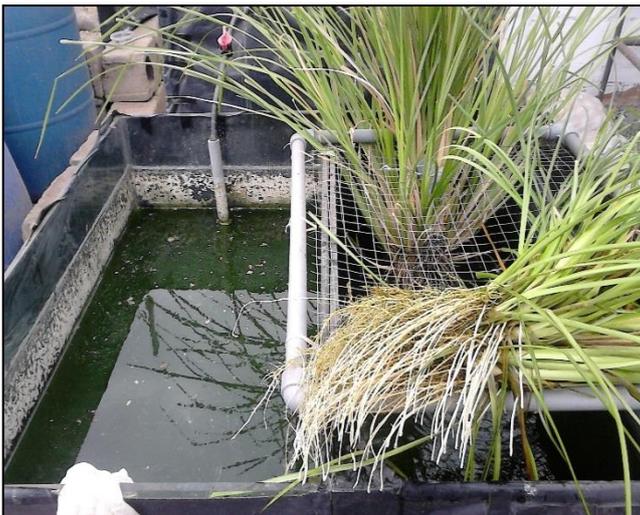
Descripción: Se observa el cambio de soporte de las macrofitas.



Descripción: competencia de la macrofita con las algas, se muestra la presencia de algas en las raíces.



Descripción: Se evidencia el crecimiento de las raíces.



Descripción: Se observa el estado de la unidad control y el crecimiento de la parte superior de la macrofita.



Descripción: Los sedimento de las unidades que contenían a la macrófita.

## ANEXO 2: PRESUPUESTO DEL PROYECTO

<b>Presupuesto (Octubre-Enero)</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total (S/.)</b>
Tanque Rotoplas	1	200	200
Tuberías	3	4	12
Válvula compuerta	5	2	10
Mangueras de Pecera	5 metros	2	10
Uniones	10	1	10
Frascos	5	5	25
Pegamento	2	15	30
Plástico Negro	4	0.5	2
Peceras	4	70	280
Cinta Aislante	4	3	12
Marcos de Fierro	4	60	240
Otros materiales	1	50	100
<b>Análisis de Laboratorio</b>			
DQO, Turbidez, ph y Temperatura	1	5200	5200
<b>TOTAL</b>			<b>6181</b>