



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL**

**TEMA:**

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA WETLAND CON CAÑA  
GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS.**

**AUTORES:**

**JACHO GAMEZ, MARGARITA ISABEL  
MARMOL ACOSTA, XAVIER EMMANUEL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL**

**TUTORA:**

**ING. GLAS CEVALLOS, CLARA CATALINA, M.SC.**

**GUAYAQUIL, ECUADOR**

**26 DE FEBRERO DEL 2020**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

## CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente trabajo de titulación fue realizado en su totalidad por **Jacho Gámez, Margarita Isabel y Mármol Acosta, Xavier Emmanuel**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniera Civil**.

## TUTORA

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Glas Cevallos, Clara Catalina, M.Sc.

## DIRECTOR DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
Ing. Alcívar Batidas, Stefany Esther, M.Sc.



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA INGENIERIA CIVIL

## DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, **Jacho Gámez, Margarita Isabel y Mármol Acosta,**  
**Xavier Emmanuel**

### DECLARAMOS QUE:

El Trabajo de Titulación, **Evaluación de un sistema Wetland con caña guadua para el tratamiento de aguas servidas**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

**Guayaquil, a los 26 del mes de febrero del año 2020**

### LOS AUTORES

f. \_\_\_\_\_  
**Jacho Gámez, Margarita Isabel**

f. \_\_\_\_\_  
**Mármol Acosta, Xavier Emmanuel**



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA CIVIL

## AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Jacho Gámez, Margarita Isabel y Mármol Acosta,**  
**Xavier Emmanuel**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación, **Evaluación de un sistema Wetland con caña guadua para el tratamiento de aguas servidas**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

**Guayaquil, a los 26 del mes de febrero del año 2020**

**LOS AUTORES:**

f. \_\_\_\_\_  
**Jacho Gámez, Margarita Isabel**

f. \_\_\_\_\_  
**Mármol Acosta, Xavier Emmanuel**

## REPORTE URKUND



**Documento** [Jacho Margarita y Marmol Xavier FINAL..pdf](#) (D64114784)

**Presentado** 2020-02-19 10:10 (-05:00)

**Presentado por** Clara Glas (claglas@hotmail.com)

**Recibido** clara.glas.ucsg@analysis.urkund.com

**Mensaje** Trabajo de titulo Jacho y Marmol [Mostrar el mensaje completo](#)

2% de estas 36 páginas, se componen de texto presente en 10 fuentes.



## **AGRADECIMIENTO**

A Dios gracias por cada detalle a lo largo de todo este periodo académico, por cada día en el que me permitió despertar no solo con vida, sino que con salud, fuerzas y empeño; gracias a mis padres por ser los principales promotores de mis sueños, gracias a ellos por cada día confiar y creer en mí y en mis expectativas, gracias a ellos por cada consejo y por cada una de sus palabras que me guiaron durante mi vida especialmente a mi madre por enseñarme que incluso la tarea más grande se puede lograr si se hace un paso a la vez; a Margarita Jacho la cual fue la compañía perfecta para poder lograr alcanzar esta dichosa y muy merecida victoria en la vida al ser un apoyo incondicional en todo este tiempo, también agradecerle a la Ing. Clara Glas Cevallos por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda que me surgiera, agradecerle por la caridad y exactitud con la que enseñó cada clase, discurso y lección. Muchas gracias a todos y cada una de las personas que formaron parte de este éxito aportando con un granito de arena para poder culminar esta etapa de mi vida.

***Xavier Emmanuel Marmol Acosta***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser la guía y apoyo espiritual que me acompaña día a día, a mis padres que fueron una luz en mi camino demostrándome que cada sacrificio tiene su recompensa, a mis hermanas y primas que son un ejemplo de responsabilidad, humildad y disciplina; principalmente a mi hermana Ivana que sin su apoyo no hubiera podido lograr culminar esta etapa de mi vida. A mis tíos y abuelos que siempre me daban palabras de aliento, amor y fe a lo largo de la carrera. A la familia Mármol Acosta un sincero agradecimiento, por haberme acogido como parte de su familia y apoyado como tal a medida que aprobábamos cada semestre; en especial a Xavier Mármol Acosta que juntos pudimos afrontar cada problema, trabajo y examen que se ponía en frente de nosotros formando parte de las personas que siempre estarán presentes en mi corazón creciendo juntos como personas desde el preuniversitario y demostrándolo con este trabajo de titulación. Un afectuoso agradecimiento a la Ing. Clara Glas que fue un apoyo fundamental a lo largo de la carrera universitaria enseñándonos que siempre hay más por investigar, y la preparación y practica son el mejor ejercicio para tener éxito en cualquier trabajo propuesto.

***Margarita Isabel Jacho Gámez***

## DEDICATORIA

Esta tesis esta dedicada a mis padres Azucena Acosta Reasco y Javier Marmol Muñoz quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy un sueño más, gracias por inculcar en mi el ejemplo de esfuerzo y valentía, de no temer las adversidades porque Dios esta conmigo siempre. A mi hermana Shayrita Marmol Acosta por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A toda mi familia porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mi una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

***Xavier Emmanuel Marmol Acosta***



## DEDICATORIA

Este trabajo de titulación se lo dedico a mis padres por ser el pilar fundamental a lo largo de toda mi educación, por confiar en mí y anteponer mi educación como el mayor regalo que ellos podían brindarme. Este título es tanto mío como suyo.

***Margarita Isabel Jacho Gámez***



**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
CARRERA DE INGENIERIA**

**TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN**

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Alcívar Batidas, Stefany Esther, M.Sc.**  
DIRECTOR DE CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Andrés Castro Beltrán, M.Sc.**  
DOCENTE DE LA CARRERA

f. \_\_\_\_\_  
**Ing. Camacho Monar, Alexandra Mélida, M.Sc.**  
OPONENTE

# TABLA DE CONTENIDO

Capítulo 1 .....	2
1. Generalidades .....	2
1.1. Antecedentes .....	2
1.2. Objetivos .....	2
1.2.1. Objetivo General .....	2
1.2.2. Objetivos Específicos .....	2
1.3. Alcance .....	3
1.4. Metodología .....	3
Capítulo 2 .....	4
2. Marco teórico .....	4
2.1. Agua Residual .....	4
2.2. Clasificación de las Aguas Residuales .....	4
2.2.1. Aguas residuales domésticas .....	4
2.2.2. Aguas residuales industriales .....	4
2.2.3. Aguas residuales urbanas .....	5
2.2.4. Características del agua residual .....	6
2.3. Tratamiento de Aguas Residuales .....	12
2.3.1. Procesos de tratamiento .....	13
2.4. Sistema Wetland .....	15
2.5. Caña Guadua Angustifolia .....	20
Capítulo 3 .....	22

3. Descripción de sistema de tratamiento de aguas residuales – Wetland con caña guadua .....	22
3.1. Ubicación .....	22
3.2. Montaje de la planta piloto Wetland.....	23
Capítulo 4 .....	27
4. Metodología .....	27
4.1. Muestras .....	27
4.2. Materiales y equipos utilizados para el análisis de muestras.....	29
4.3. Ensayos realizados para el análisis de muestras .....	30
Capítulo 5 .....	38
5. Análisis e interpretación de resultados .....	38
5.1. Análisis de muestras.....	38
5.2. Análisis de eficiencia en los aspectos técnicos, operacionales y económicos de la PTAR.....	58
5.2.1. Aspectos técnicos.....	58
5.2.2. Aspectos Operacionales.....	60
5.2.3. Aspectos económicos.....	61
6. Conclusiones y recomendaciones .....	63
6.1. Conclusiones .....	63
6.2. Recomendaciones .....	64
Referencias Bibliográficas .....	66
Anexos.....	72
Anexo 1: Norma calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Anexo 1 del libro VI.....	72

Anexo 2: Ilustración 26 y 27.....	76
Anexo 3: Registro fotográfico.....	77

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Esquematación gráfica de las aguas residuales de uso industrial Fuente: ( <a href="https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales">https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales</a> ) .....	5
Ilustración 2 Esquematación gráfica de las aguas residuales Urbanas Fuente: ( <a href="https://sites.google.com/a/correounivalle.edu.co/ptars-tratamiento-de-aguas-residuales/home/problematika">https://sites.google.com/a/correounivalle.edu.co/ptars-tratamiento-de-aguas-residuales/home/problematika</a> ).....	5
Ilustración 3 Composición de los Sólidos en el Agua Residual Fuente: (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua , 2014).....	7
Ilustración 4 Esquema de los diferentes procesos de tratamiento .....	13
Ilustración 5 Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas. Fuente: (Rabat, 2019) .....	18
Ilustración 6 Esquematación de sistema Wetland Flujo Horizontal. Fuente: (Rabat, 2019).....	19
Ilustración 7 Ubicación Geo-referenciada de Planta Piloto Wetland.....	23
Ilustración 8 Esquematación de Planta Piloto Wetland .....	27
Ilustración 9 Valores de pH a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland. ....	39
Ilustración 10 Valores promedios de las muestras de Caja de Registro, Tanque Homogeneizador y efluente de Planta piloto Wetland. ....	40
Ilustración 11 Valores de conductividad a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.....	41
Ilustración 12 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de Conductividad .....	42
Ilustración 13 Valores de temperatura a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.....	44

Ilustración 14 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de temperatura.....	44
Ilustración 15 Valores de Sólidos Disueltos a lo largo del proceso de muestreo en el sistema Wetland.....	45
Ilustración 16 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos disueltos.....	46
Ilustración 17 Valores de Sólidos Sedimentables a lo largo del proceso de muestreo en el sistema Wetland.....	47
Ilustración 18 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de sólidos sedimentables.....	47
Ilustración 19 Valores de Sólidos Suspendidos a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.....	49
Ilustración 20 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de sólidos suspendidos.....	49
Ilustración 21 Valores de Sólidos Totales a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.....	51
Ilustración 22 Comportamiento promedio de la Planta Piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos totales .....	51
Ilustración 23 Valores de Oxígeno Disuelto a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.....	53
Ilustración 24 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Oxígeno Disuelto.....	53
Ilustración 25 Valores de la Demanda bioquímica de Oxígeno a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland .....	55
Ilustración 26 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno .....	55

Ilustración 27 Valores de Coliformes Fecales a lo largo del proceso de muestreo la planta piloto Wetland.....	57
Ilustración 28 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Coliformes Fecales .....	57
Ilustración 29 Planta Piloto con Caña Guadua. Vista en Planta. ....	76
Ilustración 30: Planta Piloto con Caña Guadua. Vista Transversal.....	76



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caracterización de plantas enraizadas comunes y ornamentales utilizadas en humedales .....	18
Tabla 2 Cuadro comparativo de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos utilizando plantas utilizadas acuáticas en sistemas Wetland..	21
Tabla 3 Cuadro comparativo de biomasa .....	21
Tabla 4 Fechas en las cuales se realizaron las actividades de toma de muestras .....	29
Tabla 5 Valores de pH .....	39
Tabla 6 Valores de la conductividad .....	41
Tabla 7 Valores de Temperatura .....	43
Tabla 8 Valores de Sólidos Disueltos .....	45
Tabla 9 Valor por medición directa de Sólidos sedimentables.....	46
Tabla 10 Valores de Sólidos Suspendidos .....	48
Tabla 11 Valores de la suma algebraica entre sólidos Suspendidos y Disueltos .....	50
Tabla 12 Valores del Oxígeno Disuelto (mg/l) .....	52
Tabla 13 Valores de DBO .....	54
Tabla 14 Valores por medición por Técnica de Filtración de Membrana - m-FC Medio para Coliformes Fecales.....	56
Tabla 15 Comparación de efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Wetland con la Normativa Ambiental (Anexo: tabla 12 y tabla 13) .....	58
Tabla 16 Mediciones de Caudales de efluente de tanque homogeneizador	59
Tabla 17 Mediciones de Caudales de efluente de Planta Piloto Wetland....	60

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1 Torre para el almacenamiento de aguas residuales. ....	77
Fotografía 2 Pretratamiento para disminución de sólidos suspendidos. ....	77
Fotografía 3: Torre y tanque homogeneizador para el almacenamiento de aguas residuales. ....	78
Fotografía 4: Planta Piloto. ....	78
Fotografía 5: Impermeabilización de Planta Piloto. ....	79
Fotografía 6: Colocación de Arena en Planta Piloto. ....	79
Fotografía 7: Colocación de Vinil sobre el impermeabilizante de la Planta Piloto. ....	80
Fotografía 8: Colocación de los materiales filtrantes en la Planta Piloto. ....	80
Fotografía 9: Colocación de Caña Guadua. ....	81
Fotografía 10: Planta Piloto con Tanque homogeneizador. ....	81
Fotografía 11: Sistema de Bombeo hacia el tanque homogeneizador. ....	82
Fotografía 12: Obtención de muestra de Efluente de Planta Piloto. ....	82
Fotografía 13: Obtención de muestras de la Planta Piloto. ....	83
Fotografía 14: Realización de ensayos de Sólidos Suspendidos. ....	83
Fotografía 15: Peso del Filtro Seco. ....	84
Fotografía 16: Proceso de obtención de Sólidos Suspendidos. ....	84
Fotografía 17: Obtención de Sólidos Suspendidos. ....	85
Fotografía 18: Muestra colocada al horno a 105 °C. ....	85
Fotografía 19: Muestra de Caja de Registro. ....	86
Fotografía 20: Prueba de Sólidos Sedimentables. ....	86

Fotografía 21: Técnica de muestreo con equipo Hatch de los cuales se miden parámetros como pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos.	87
Fotografía 22: Realización de Ensayo de DBO <sub>5</sub> .	87
Fotografía 23: Instrumentos de laboratorio usados para la obtención del DBO.	88
Fotografía 24: Extracción de muestra a colocar en botellas winkler de ensayos de DBO.	88
Fotografía 25: Medición del oxígeno inicial del DBO.	89
Fotografía 26: Colocación de medio de cultivo en Cajas Petri.	89
Fotografía 27: Colocación de Filtro para realización de Prueba de Coliformes Fecales.	90
Fotografía 28: Solución con muestra de Caja de Registro, efluente de tanque homogeneizador, y efluente de descarga.	90
Fotografía 29: Resultados de Coliformes fecales después de 24 h.	91

## RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo proporcionar nuevas alternativas para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que sean amigables con el medio ambiente y presentar una buena eficiencia de depuración del agua residual en parámetros físicos, parámetros biológicos y microbiológicos de tal manera que cumplan con las características de una descarga a un cuerpo de agua dentro de los límites de la norma TULSMA, norma la cual regula los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado.

Para la aseveración de dicha premisa se realizó el montaje de una planta piloto Wetland con caña Guadua de la familia Angustifolia la cual trata parte de la descarga de aguas residuales de la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, el sistema Wetland está compuesto por tres partes esenciales captación, conducción y regulación finalizando con la descarga de la planta piloto; para la regulación del agua servida se utilizó un tanque homogeneizador de 300 litros; de la misma manera los análisis de muestra para poder comprobar la efectividad de depuración del sistema.

Para una mejor demostración de los resultados se realizaron gráficos y tablas comparativas para poder denotar la eficiencia de remoción en cada parámetro verificando que estos se encuentran debajo de los que la norma TULSMA especifica en cada uno de sus enunciados.

Para finalizar se mencionan las diferentes ventajas que tendría la implementación de un sistema Wetland como el propuesto en esta investigación para tratar las aguas residuales.

***Palabras Claves: Angustifolia, Wetland, Aguas residuales, Planta Piloto, Microbiológicos, depuración.***

## ABSTRACT

This research aims to provide new alternatives for environmentally friendly wastewater treatment systems and provide good wastewater purification efficiency in physical parameters, biological and microbiological parameters in such a way that they meet the characteristics of a discharge to a body of water within the limits of the TULSMA standard, which regulates permissible limits, provisions and prohibitions for discharges into bodies of water or sewer systems.

For the assertion of this premise, the assembly of a Wetland pilot plant with Guadua cane of the Angustifolia family was carried out which deals part of the discharge of wastewater from the faculty of Engineering of the "Universidad Católica Santiago de Guayaquil", the Wetland system is composed by three essential parts uptake, driving and regulation ending with the discharge of the pilot plant; A 300-litre homogenizing tank was used for the regulation of the water served; in the same way the sample analyses to be able to check the debugging effectiveness of the system.

For a better demonstration of the results, graphs and comparative tables were made to be able to denote the removal efficiency in each parameter by verifying that these are below those specified by the TULSMA standard in each of its utterances.

Finally, we mention the different advantages of implementing a Wetland system such as the one proposed in this research to treat wastewater.

**Key Words: Angustifolia, Wetland, Wastewater, Pilot Plant, Microbiological, Purification.**

# Capítulo 1

## 1. Generalidades

### 1.1. Antecedentes

Se conoce que la contaminación del agua es un grave problema ambiental que se ha originado debido al incremento de la población mundial y las diversas actividades del hombre sin ningún tipo de conciencia ambiental, por ende, se debe investigar sobre alternativas de tratamiento eficientes que sean amigables con el ambiente.

Por lo que se propone investigar sobre la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas servidas con la caña Guadua como planta acuática enraizada.

### 1.2. Objetivos

#### 1.2.1. Objetivo General

Evaluar un sistema Wetland con caña guadua (*Guadua Angustifolia*) para el tratamiento del agua residual doméstica, haciendo énfasis en los parámetros de materia orgánica, sólidos suspendidos y coliformes fecales.

#### 1.2.2. Objetivos Específicos

- Montar la planta piloto de tratamiento de aguas servidas con plantas acuáticas enraizadas.
- Determinar la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos, de la materia orgánica en términos de DBO y coliformes fecales, a través de pruebas de laboratorio.
- Realizar un análisis de eficiencia en los aspectos técnicos, operacionales y económicos de la PTAR.

### **1.3. Alcance**

En el presente trabajo se busca investigar sobre diferentes alternativas de tratamiento, que sean eficientes y amigables con el medio ambiente. Se analizará la eficiencia de depuración de las aguas servidas en un sistema Wetland con la caña Guadua como planta acuática enraizada, con un proceso de tratamiento físico – biológico.

Se montará una planta piloto Wetland en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

### **1.4. Metodología**

El proceso para llevar a cabo el desarrollo de la siguiente investigación es:

- Montaje de una planta piloto y siembra de las plantas acuáticas enraizadas.
- Descripción del sistema en estudio y revisión bibliográfica.
- Realización de toma de muestras y ensayos de laboratorio para evaluar la eficiencia de remoción en los parámetros de sólidos suspendidos, oxígeno disuelto, materia orgánica en términos de DBO y coliformes fecales.
- Cuantificación y generación de biomasa.
- Análisis generales de aspectos técnicos, operacionales, ambientales y económicos en el uso de los sistemas wetland con plantas acuáticas en el tratamiento de aguas servidas.

## **Capítulo 2**

### **2. Marco teórico**

#### **2.1. Agua Residual**

Las aguas residuales se pueden definir como las aguas cuyas características han sido alteradas por las distintas actividades humanas lo que hace que pierdan aquellas condiciones mínimas para poder aprovecharlas como fuentes de abastecimiento de agua y por lo cual debido a eso requieren de algún tratamiento antes de poder ser reutilizadas o a su vez ser vertidas a un cuerpo de agua natural como el caso de los ríos, lagos, estuarios, corrientes de agua subterránea y el mar. (Espigares & Perez, 1985)

#### **2.2. Clasificación de las Aguas Residuales**

Las actividades humanas que alteran las características del agua son diversas desde el uso doméstico hasta el uso industrial por ello las aguas residuales pueden clasificarse en, agua residual domésticas, agua residual industrial y aguas residuales urbanas.

##### **2.2.1. Aguas residuales domésticas**

Las aguas residuales domésticas son aquellas cuya procedencia es residencial y comercial, estas contienen heces, orina, desechos alimenticios, incluidos productos de limpieza. Se caracterizan por poseer una gran cantidad de materia orgánica y microorganismos (Lorenzo, Ocaña, & Fernández, 2009).

##### **2.2.2. Aguas residuales industriales**

Las aguas residuales industriales son aquellas cuyo origen es debido a los diferentes tipos de procesamientos que se utilizan en fábricas, establecimientos industriales a gran escala; este tipo de aguas residuales son muy variables. Estas aguas tienden a variar desde aquellas con altos contenidos de materia orgánica biodegradable como mataderos y finalmente



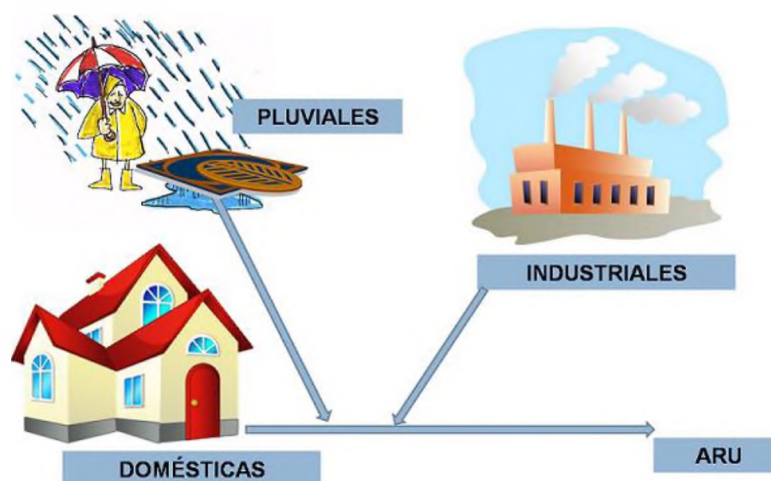
las que poseen sustancias inorgánicas u orgánicas no degradables (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2015).



**Ilustración 1 Esquematización gráfica de las aguas residuales de uso industrial**  
Fuente: (<https://sites.google.com/site/ptaruniminuto/origen-y-caracteristicas-de-las-aguas-residuales>)

### 2.2.3. Aguas residuales urbanas

Las aguas residuales urbanas son aquellas cuyo origen es proveniente de la mezcla de las aguas residuales domésticas, industriales con aguas de la escorrentía pluvial. La escorrentía que se genera por las aguas lluvias tiene menor contaminación que las calificaciones de aguas mencionadas anteriormente, la contaminación mayor se llega a producir en las primeras aguas que son las que lavan las áreas por donde escurre (Senagua, 2018).



**Ilustración 2 Esquematización gráfica de las aguas residuales Urbanas**  
Fuente: (<https://sites.google.com/a/correounivalle.edu.co/ptars-tratamiento-de-aguas-residuales/home/problematica>)

## 2.2.4. Características del agua residual

Las características que se hacen presentes en el agua residual se muestran en diferentes formas como es el caso de la presencia y concentración de los sólidos, olores, temperaturas, turbidez, entre otros. Las características que se reconocen son físicas, químicas y biológicas.

### ➤ **Características físicas del agua residual**

Cuando se hablan de las características físicas del agua residual se refiere a aquellas que pueden ser detectadas por medio de los sentidos como la vista, el tacto, el olor; las cuales tienen incidencia en las condiciones estéticas del agua (Espigares & Perez, 1985).

Los parámetros físicos según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente "TULSMA"; Anexo1, Libro VI, Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes referente a los recursos hídricos; se muestra la temperatura, sólidos totales, color, olor, en donde se muestran los valores de limitaciones a las descargas a cuerpos de agua dulce. (Art. 5.2.4.6)

- **Color:** Ocasionalmente esta característica física del agua suele estar ligada a la turbiedad, se debe a diversos componentes de la materia mineral y vegetal en descomposición el cual se denomina color verdadero, también si existe material arcilloso o arenas se denomina color aparente.
- **Temperatura:** La temperatura de las aguas residuales es mayor a la de las aguas no contaminadas, esta característica afecta la velocidad de las reacciones químicas y suele amplificar olores.
- **Olor:** El olor es producido por los gases que genera la descomposición de la materia orgánica, desechos industriales y sales de diferentes orígenes.
- **Sólidos:** Los sólidos que suelen estar presentes en el agua residual se pueden clasificar según su tamaño en sólidos suspendidos y sólidos filtrables.

- **Sólidos Suspendidos:** De tamaño superior a 1  $\mu\text{m}$  de diámetro. Se pueden eliminar por procesos físicos. Estos tipos de sólidos dan lugar al desarrollo de los depósitos de fango y de las condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
- **Sólidos Filtrables:** Los sólidos filtrables están compuestos de sólidos coloidales y disueltos. La fracción coloidal consiste en partículas con un diámetro aproximado que oscila entre  $10^{-3}$  y 1 micra; los sólidos disueltos se componen de moléculas orgánicas, moléculas inorgánicas y iones que se encuentran disueltos en el agua.



**Ilustración 3 Composición de los Sólidos en el Agua Residual**

**Fuente: (Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua , 2014)**

### ➤ Características químicas del agua residual

Las características químicas del agua residual dependen de los desechos que tienen; dentro de estas características podemos distinguir la materia orgánica, la materia inorgánica.

- **Materia Orgánica**

La materia orgánica llega a constituir por lo menos una tercera parte de los elementos que componen las aguas residuales; un 75% de los sólidos suspendidos y un 40% de los sólidos filtrables llegan a ser de naturaleza orgánica, las cuales provienen de los reinos animal, vegetal y de las

actividades humanas que están relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos, los principales grupos de sustancias orgánicas que están presentes en el agua residual son:

- Proteínas entre 40 – 60 % su existencia en el agua residual puede ser el origen de olores desagradables debido a los procesos de descomposición.
- Hidratos de Carbono entre 25 – 50 % los cuales están ampliamente distribuidos por la naturaleza, incluyendo azúcares, almidones, entre otros.
- Grasas y aceites con un 10 %, son sustancias de naturaleza lipídica, que, al estar presentes en el agua, van a permanecer en la superficie generando la aparición de natas y espumas, en pequeñas cantidades ocupan grandes superficies debido a la tensión superficial de las mismas.

Estos compuestos orgánicos son formados generalmente por una combinación de carbono, hidrógeno y oxígeno, en algunos casos, nitrógeno. Además, otros elementos importantes que pueden estar presentes son el azufre, el fósforo y el hierro. Entre los parámetros a analizar de la materia orgánica esta la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y el oxígeno disuelto.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La Demanda Bioquímica de Oxígeno es la que representa la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos para la degradación de la materia orgánica biodegradable existente en el agua residual. La prueba que se realiza para medir la DBO se la analiza a los 5 días a 20°C (Jermaine, 2008).

- **Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)**

La DBO se llega a determinar al medir el oxígeno consumido por los microorganismos presentes en la muestra durante un periodo de 5 días a

una temperatura de 20°C (Chong-Qui, 2017), es importante medir la DBO ya que permite:

- Conocer la cantidad aproximada de oxígeno necesario para lograr estabilizar biológicamente la materia orgánica presente en la muestra.
  - Medir la eficiencia de remoción de materia orgánica en los procesos de tratamiento.
- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La Demanda Química de Oxígeno se refiere a la cantidad de oxígeno que se requiere para la oxidación de la materia orgánica por medio de los reactivos químicos oxidantes como el dicromato potásico que es empleado en las aguas residuales. Este parámetro no puede ser menor que la DBO ya que siempre es mayor la cantidad de sustancias oxidables por vía química que por vía biológica (Morales & Arujol, 2004).

- **Oxígeno Disuelto (OD)**

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los organismos aerobios, así como para otras formas de vida, evitando el desarrollo de procesos anaerobios que provocan malos olores en las plantas. Sin embargo, el oxígeno es solo ligeramente soluble en agua y debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto van a ser más críticos en épocas estivales. El mecanismo mediante el cual la planta saca del agua residual el contaminante consiste en que las plantas acuáticas enraizadas, que tienden a constituir a los Wetland, tienen la propiedad de introducir grandes conjuntos de oxígeno a sus raíces. El aire que no es aprovechado por la especie llega a ser absorbido en su mayor parte por los microorganismos, como es el caso de las bacterias y hongos, que se asocian directamente a la raíz y son los delegados de metabolizar los contaminantes que entran al Wetland (Novotny and Olem, 1994). Citado por (Celis, Junod, & Sandoval, 2005).

- **Materia Inorgánica**

La materia inorgánica son los compuestos de tipo mineral que generalmente no son volátiles, combustibles y biodegradables; normalmente llegan a conformar reacciones rápidas, estos compuestos suelen aumentar con el contacto del agua por diferentes tipos de factores como geológicos, o por la misma agua residual ya sea tratada o no (Aguamarket y Cia. Ltda, 2017).

- **Nitrógeno**

Este elemento llega a ser necesario para el desarrollo de los microorganismos, si el agua residual no llega a contener suficientes niveles de nitrógeno suelen ocurrir problemas debido a la deficiencia de ciertos nutrientes en el proceso de tratamiento secundario, se encuentra en diferentes formas:

- Nitrógeno Orgánico
- Amonio
- Nitrito
- Nitrato

En ciertos casos cuando el agua residual es fresca este elemento se lo puede encontrar en forma de urea o también como compuestos proteínicos, culminando en forma amoniacal debido a la descomposición bacteriana. Este parámetro es la suma del nitrógeno orgánico, amonio, nitrito y nitrato, en las aguas residuales de origen domestico suele estar en un valor de 20 – 50 mg/l.

- **Alcalinidad**

La alcalinidad de las aguas residuales se presente debido a la existencia de compuestos como los hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos; el grado de alcalinidad tiende a ser originario de sustancias de usos domésticos. Se expresa en partes por millón(ppm) o en mg/l de carbonatos (Carvajal, 2018).

- **Potencial de Hidrogeno (pH)**

El pH se lo define como un sistema que indica el grado de acidez o basicidad de una solución en una escala entre 0 a 14. El pH se lo puede analizar de diferentes maneras, una de ellas es mediante tirillas indicadoras, que se absorben en la muestra y según la escala de color que salga se lo compara con el patrón de coloración impreso; otra alternativa es mediante un pH metro digital (Goyenola, 2007).

- **Características Microbiológicas**

Los parámetros microbiológicos son aquellos que determinan la presencia de patógenos y llega a permitir comparar sus reacciones a cambios de pH, temperatura o la aplicación de medio físicos o químicos de desinfección, con la ventaja de ser fácilmente cultivables; suelen requerir la identificación y cuantificación de microorganismos por índices de diversidad ajustados a ciertos intervalos que califican la calidad del agua. Los indicadores microbiológicos de contaminación en el agua suelen ser bacterias de la flora saprofita intestinal en los que se suelen encontrar bacteroides fragilis, mesófilas, coliformes totales y fecales (Ríos, Agudelo, & Gutierrez, 2017).

- **Coliformes Totales**

Al referirse a coliformes totales se denotan las enterobacteriáceas lactosa-positivas, las cuales constituyen a un grupo de bacterias que se llegan a definir más por las pruebas que son usadas para aislamiento, se caracterizan por su capacidad para poder fermentar la lactosa con producción de ácido y gas, en un periodo estimado de 48 horas con una temperatura estable de incubación comprendida entre 30 – 37 °C. En esencia son bacilos gramnegativos, aerobios y anaerobios facultativos, en el grupo de coliforme llegan a formar parte algunos géneros:

- Escherichia
- Enterobacter
- Klebsiella

- Citrobacter

Estos se encuentran principalmente en los intestinos del ser humano y de los animales, pero además también se los puede encontrar en menor proporción en el agua, suelos, plantas inclusive en desechos orgánicos como la cascara de los huevos. Dentro de los coliformes totales existe un subgrupo el cual se lo denomina como coliformes fecales (Laboratorio de Tecnología Educativa, 2018).

- **Coliformes Fecales**

Los coliformes fecales son aquellos grupos de bacterias los cuales comparten algunas características bioquímicas y además tienen un valor en la contaminación del agua, en si son los grupos de organismos coliformes los cuales tienen la capacidad de fermentar la lactosa a 44 – 45 °C; estos agentes contaminantes cuyo origen es casi siempre fecal, pero en ciertos casos suelen ser provenientes de la materia vegetal. Los coliformes fecales en las aguas residuales se las puede encontrar casi exclusivamente en las heces ya que forman parte de la flora intestinal, los seres humanos expulsan un número importante de coliformes fecales diariamente por estas razones una de las principales funciones de las plantas de tratamiento de aguas residuales es lograr evitar la propagación de infecciones que se puedan generar por los coliformes (Grupo AGQ Labs, 2019).

### **2.3. Tratamiento de Aguas Residuales**

La recolección de aguas residuales por los sistemas de alcantarillado al ser descargado de manera directa en los cauces como ríos, mares entre otros tiende a presentar una serie de efectos negativos en los cuerpos de agua además de que suelen propagar enfermedades a los seres vivos, es por esa y más razones que las aguas residuales deben ser tratadas; entre los efectos negativos se pueden denotar:

- Agotamiento del contenido de oxígeno en los cuerpos de agua
- Aporte descontrolado de nutrientes
- Daños a la salud pública
- Presencia de fangos

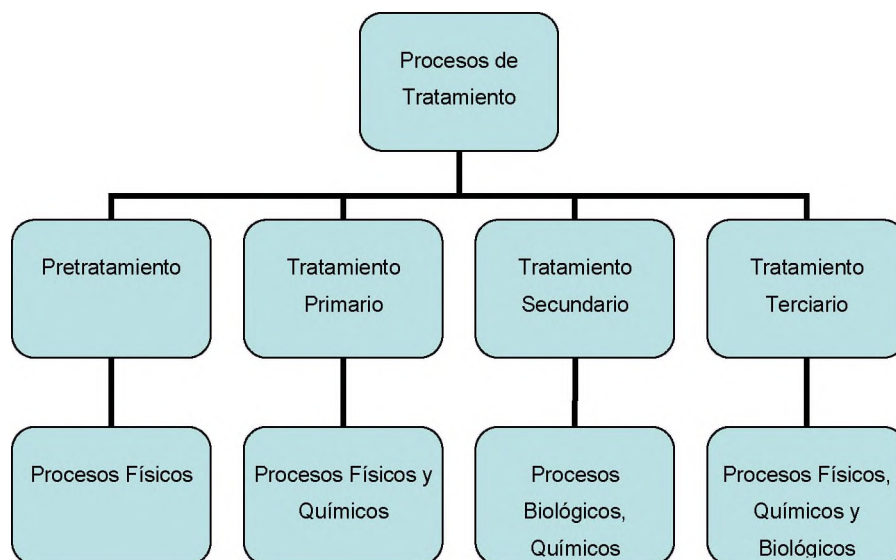


Las plantas de aguas residuales realizan un proceso de depuración de cualquier tipo de contaminación bacteriológica y química dentro del agua para así devolverla al medio ambiente en condiciones apropiadas sin generar impactos negativos en el ecosistema, para esto las aguas residuales deben ser:

- Recolectadas y conducidas por un sistema de tuberías denominado red de alcantarillado hasta la planta de tratamiento.
- Tratadas, proceso de depuración de las aguas residuales.
- Evacuadas, el agua residual ya tratada es descargada a un cuerpo de agua cercano.

### 2.3.1. Procesos de tratamiento

El denominado proceso de tratamiento de las aguas residuales debe constar de un grupo de operaciones ya sean físicas, químicas o biológicas, las cuales buscan eliminar la mayor cantidad posible de agentes contaminantes en el agua antes de ser descargada a un cuerpo de agua cercano, de esta manera los efluentes tratados llegan a cumplir con los límites permitidos por la norma TULSMA para poder ser asimilados de manera natural por los cauces receptores (Secretariado Alianza para el Agua , 2008). En los procesos de tratamiento de aguas residuales se encuentran:



**Ilustración 4 Esquema de los diferentes procesos de tratamiento**

**Fuente:** Esquemización de los diferentes procesos de tratamiento material tomado de los apuntes de la Cátedra de Alcantarillado, 2018

**Elaborado por:** Autores

- **Pretratamiento**

En esta etapa se mide y regula el caudal de agua que ingresa a la planta de tratamiento y se extrae una gran cantidad de objetos gruesos, arenas y grasas, en si en este proceso se denota la depuración física.

Un correcto diseño y además mantenimiento de la etapa de pretratamiento son uno de los aspectos de gran importancia, ya que en caso de existir alguna deficiencia este llega a repercutir de manera negativa en toda la planta ya que puede originar obstrucción en las tuberías de conducción del sistema, válvulas, bombas y además el desgaste de los equipos que la conforman; las estructuras encargadas de esto son las rejillas, tamices, trituradores, desgrasadores y desarenadores.

- **Tratamiento Primario**

En el tratamiento primario se enfocan en el proceso de depuración de manera física o fisicoquímica la cual incluya la sedimentación de los sólidos en suspensión en un 50%, la Demanda bioquímica de oxígeno (DBO) se vea reducida especialmente la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales en un valor aproximado de un 20% antes de su siguiente proceso.

En si se centra en la eliminación de los sólidos en suspensión mediante un proceso de sedimentación por gravedad o con ayuda de coagulantes y floculantes, entre los tratamientos primarios más conocidos esta la decantación primaria.

- **Tratamiento Secundario**

Este proceso de tratamiento se caracteriza por la depuración de manera biológica que llega a eliminar la materia orgánica mediante un proceso de oxidación de naturaleza biológica seguido de sedimentación secundaria, es un proceso natural en el que participan microorganismos como bacterias que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en las aguas residuales.

Para este tratamiento se usan filtros de arena intermitentes, filtros anaerobios, estanques de fangos activos, lagunas de estabilización u oxidación, entre otros. Entre los más utilizados de estos está el de los lodos o fangos activados ya que una fracción se llega a purgar como lodos en exceso, mientras que la otra parte se va recirculando en un reactor biológico el cual logra mantener una adecuada concentración determinada de microorganismos.

- **Tratamiento Terciario**

Este proceso es más minucioso ya que permite obtener los efluentes en mejor calidad para poder ser descargados se lleva a cabo por medio de tratamientos fisicoquímicos y decantación o filtración se busca eliminar contaminantes específicos en las aguas residuales como los fosfatos o nitratos que provienen del uso de detergentes domésticos e industriales. En la eliminación de los nitrógenos se suele operar de manera secuencial, bajo condiciones oxicas y anoxicas los cuales resultan en la liberación a la atmosfera en forma de gases; por otro lado, los fósforos se llegan a combinar con ciertos reactores los cuales operan en condiciones anaerobias, de tal manera que el fosforo quede almacenado en los microorganismos que después se los llegan a extraer.

## **2.4. Sistema Wetland**

Hoy en día existen otras tecnologías aplicadas para el tratamiento de las aguas residuales tales como:

- Humedales artificiales de flujo vertical, horizontal, etc.

Los cuales operan con alimentaciones intermitentes, lo que permite la oxigenación del sustrato filtrante en los momentos de reposo, al volver a ser ocupados los poros por el aire conforme desciende el nivel del agua en el sustrato. Son sistemas que se utilizan para la depuración de aguas residuales que consiste en el desarrollo de múltiples interacciones como físicas, químicas y biológicas donde el agua residual afluyente es depurada de manera lenta y progresiva. El tratamiento de aguas residuales para su

depuración se lo realiza mediante sistemas que comprenden tres fases principales: recogida, tratamiento y evacuación al lugar de restitución.

Estos sistemas higienizan el agua por medio de la remoción del material orgánico como la DBO, oxidación del amonio, reducción de los nitratos y eliminando del fósforo. Los mecanismos llegan a ser complejos y tienden a involucrar la oxidación bacteriana, filtración, sedimentación y precipitación química (Delgadillo, Camacho, & Pérez, 2010).

- **Clasificación de los humedales artificiales**

Los humedales artificiales o también conocidos como sistema Wetland pueden llegar a ser clasificados según el tipo de macrófitas con las que se llega a emplear para su funcionamiento, entre las cuales están presentes las Macrófitas fijas al sustrato (enraizadas) o las macrófitas flotantes libres.

Se clasifican en:

- Sistemas de tratamiento apoyados en macrófitas de hojas flotantes: Los órganos reproductores suelen ser flotantes o aéreos. El Jacinto de Agua, la Lechuga de Agua, la Salvinia y la Lenteja de Agua son las especies que más se utilizan para este tipo de sistemas. (Martelo & Lara, 2012)
- Sistemas de tratamiento constituidos con macrófitas sumergidas: los cuales disciernen algunos helechos, una gran variedad de musgos y carófitas. Los órganos reproductores son aéreos, flotantes o sumergidos. Como es el caso de las macroalgas (Delgadillo, Camacho, & Pérez, 2010).
- Sistemas de tratamiento que se fundamentan en el uso de macrófitas enraizadas emergentes, estas pueden ser de dos tipos dependiendo de la circulación del agua a manejar: 1) los Wetland de flujo superficial, donde el agua llega circular entre los tallos de las macrófitas y 2) Wetland de flujo subsuperficial, el agua circula por debajo de la superficie del estrato del Wetland. Las especies mas utilizadas suelen ser: Ciperáceas (Junco de laguna), Gramíneas (Hierba del maná, carrizo), Iridáceas (Lirio Amarillo, espaldaña fina),

Juncáceas (Juncos) entre las más importantes. (Celis, Junod, & Sandoval, 2005)

Esta investigación se va a centrar en los humedales artificiales subsuperficiales de flujo horizontal.

- **Ventajas y desventajas de los humedales artificiales**

Los humedales artificiales como cualquier tipo de sistema de depuración de aguas residuales llegan a presentar su grupo de ventajas como desventajas las cuales pueden ayudar a saber si es correcto utilizarlos.

- **Ventajas**

- Sencillo manejo operacional, ya que solo incluye actividades como la evacuación de residuos en el proceso de pretratamiento como vegetación seca.
- Mínimo consumo de energía, debido a que las aguas residuales se trasladan por gravedad.
- Baja percepción de los olores del agua residual que ingresa
- Perfecta integración ambiental.

- **Desventajas**

- Se necesita de una superficie importante de terreno para poder implementar el sistema, lo cual llega a afectar directamente en los costos de construcción.
- Para su correcta operación deben transcurrir un tiempo prudente (meses) para que se adapte.
- Grandes pérdidas de agua debido a la evapotranspiración lo cual suele llegar a incrementar la salinidad de los efluentes depurados.
- Posibles apariciones de plagas como mosquitos entre otros debido a que el sistema es de flujo libre.

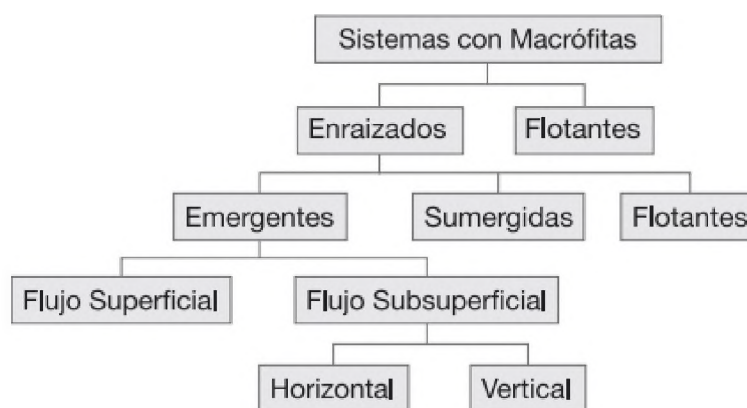


Ilustración 5 Esquema de clasificación de los sistemas de depuración con macrófitas.

Fuente: Rabat, 2019

### Tipos de plantas utilizados para el sistema Wetland

Tabla 1: Caracterización de plantas enraizadas comunes y ornamentales utilizadas en humedales

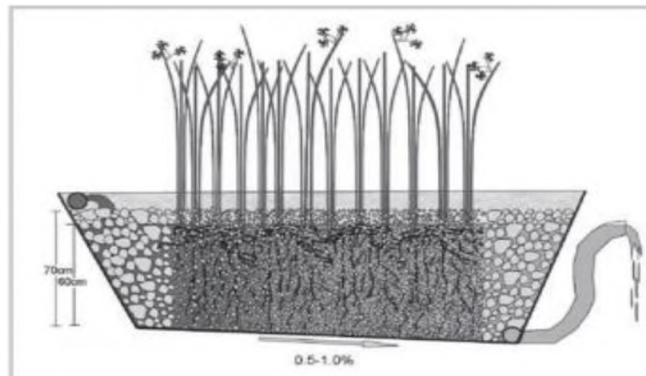
<i>Planta Ornamental</i>		<i>Características</i>			
Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Método de Propagación	Tasa de Propagación (m/año)	Altura Máxima (m)
<b>Comunes</b>					
Poaceae	Phragmites spp.	Carrizo	Rizoma	Rápida	5
Typhaceae	Typha spp.	Espadaña	Rizoma	Muy Rápida (> 30)	3
Cyperaceae	Schoenoplectus spp.	Junco	Rizoma	Moderada (0,15)	3
<b>Ornamentales</b>					
Araceae	Zantedeschia aethiopica	Cala	Rizoma	Lenta	1,5
Canaceae	Canna spp.	Achira	Rizoma	Rápida	3
Iridaceae	Iris spp.	Lirio	Rizoma	Lenta (0,06)	1,2
Cyperaceae	Cyperus spp.	Papiro	Rizoma	Rápida	1,8

Fuente: (Morales, López, Vera, & Vidal, 2013)

- **Humedales subsuperficiales de flujo horizontal.**

El diseño de los humedales subsuperficiales de flujo horizontal consisten en que este colocada una cama ya sea de tierra o arena y grava, con plantas macrófitas acuáticas, toda la cama llega a ser recubierta por una membrana impermeable para lograr evitar filtraciones en el suelo.

El agua es introducida de forma permanente. Es aplicada en la parte superior y en un extremo, siendo recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual que ingresa se va tratando a medida que fluye lateralmente pasando por el medio poroso (flujo pistón). La profundidad de estos lechos suele variar entre 0,30 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5 % a 1 %.



**Ilustración 6 Esquematación de sistema Wetland Flujo Horizontal.**

**Fuente: (Rabat, 2019)**

El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación que está generalmente formada por grava de mayor tamaño la cual esta colocada en los extremos es decir inicio y fin.

El sistema de recogida consiste en un tubo de drenaje, rodeado con grava de igual tamaño que se utiliza al inicio. El diámetro de la grava de ingreso y salida oscila entre 50 mm a 100 mm. La zona de plantación está constituida por una grava fina que es de un solo diámetro y varia entre 3 mm a 32 mm (Delgadillo, Camacho, & Pérez, 2010).

Es esencial que el agua residual que se incorpora al sistema para su depuración se conserve en un nivel inferior a la superficie normalmente entre

5-10 cm, lo cual se logra regulando el nivel del dispositivo de salida en función a este requisito (Herrera, 2018).

## **2.5. Caña Guadua Angustifolia**

La Guadua es gramínea pertenece a la Angiospermas o plantas con flores, consideradas plantas complejas, además de ser una de las familias más antiguas e importantes del reino vegetal, muy abundante en especies, caracterizada mayormente por su gran longitud y diámetro.

En la Guadua las raíces están especializadas en la obtención de agua y nutrientes dejando las funciones de reserva nutricional y soporte en un altísimo porcentaje de rizoma. Los rizomas y las hojas que están en descomposición realizan en el suelo símiles de esponjas, de esta manera evitan que el agua fluya de forma rápida, ayudando a la regulación de caudales y la protección del suelo a la erosión (Herrera, 2018).

Según Herrera (2018) da a conocer que desde la parte central del rizoma se puede obtener un aproximado del 40% de las raíces, de las cuales el 60% de las mismas brotan de las ramificaciones del rizoma. Desde donde se encuentran las raíces brotan raicillas laterales que son de un diámetro mucho menor. Estas raicillas tienen pelos absorbentes que ayudan a facilitar la absorción de agua y minerales por las plantas, estas raicillas son comúnmente conocidas por el nombre de raicillas alimentadoras que se encuentran en los primeros 30 cm del suelo.

Se pudo obtener mediante estudios que la guadua angustifolia ha sido una planta que además de ornamental y constructiva ha reaccionado de forma favorecedora como medio para ser utilizado en los humedales siendo así que además de ayudar con el tratamiento de aguas residuales produce biomasa de valor económico, según estudios se ha demostrado que la especie de Guadua Angustifolia presenta mayor remoción en los parámetros fisicoquímicos como DQO, DBO<sub>5</sub>, nitrógeno amoniacal y fosfato (Quinde, 2017).



**Tabla 2 Cuadro comparativo de remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos utilizando plantas utilizadas acuáticas en sistemas Wetland**

Autor	Especies utilizadas para Sistemas de Humedales	DBO (%)	Sólidos Suspendidos (%)
(Martelo & Lara, 2012)	Lemna Gibba	95,7	92
	Pistia Stratiotes	91,9	80,6
	Eichhornia Crassipes	95,1	92
	Hydrocotyle Umbellata	88,7	74,3
(Quinde, 2017)	Guadua Angustifolia Kunth	93,21	-
(Herrera, 2018)	Guadua Angustifolia (Bambú)	90,72	80,77
(Glas, 2000)	Lemnacea	-	48,03

*Fuente: Autores*

La cantidad de biomasa que genera las plantas utilizadas para el tratamiento de aguas residuales son:

**Tabla 3 Cuadro comparativo de biomasa**

Autor	Especies utilizadas para Sistemas de Humedales	Generación de biomasa (gr/m <sup>2</sup> . día)
(Santacruz, 2018)	Lenteja de Agua	88.47
(Canales, 2010)	Lenteja de Agua	33.04
(Quinde, 2017)	Guadua angustifolia (Bambú)	8.33
(Glas, 2000)	Lenteja de Agua	92

*Fuente: Autores*

## Capítulo 3

### 3. Descripción de sistema de tratamiento de aguas residuales – Wetland con caña guadua

En este capítulo se va a describir la ubicación, montaje y operación de la planta piloto Wetland con caña Guadua Angustifolia como un sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil.

La planta piloto Wetland está conformada por: caja de registro, Tanque homogeneizador y planta Wetland. El sistema Wetland es caracterizado como de flujo horizontal subsuperficial, el esquema del proceso es, en esencia, similar al de un tratamiento convencional, constando en primera fase con el pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y, en ciertas ocasiones, tratamiento terciario.

Se busca crear un nuevo sistema de tratamiento de aguas servidas de tal manera que sea amigable con el medio ambiente ayudando a incrementar la flora y fauna en nuestro país, el uso de la caña Guadua de la familia Angustifolia como la materia prima para la depuración físico-biológica del agua, especie que abunda en la región costera del Ecuador teniendo varios usos como material de construcción o como medio de purificación de agua de ríos para que sea apta para el consumo humano. Las dimensiones del sistema como los caudales son regulados para obtener la máxima eficiencia de este. Debido a su flujo subsuperficial se logrará disminuir los efectos que puedan causar el mal olor que las aguas residuales llegan a emanar.

#### 3.1. Ubicación

La planta piloto se encuentra en la Universidad Católica Santiago de Guayaquil en la parte posterior del Bar-restaurante Colon, en la facultad de Ingeniería, como se muestra en la imagen geo-referenciada con vista satelital.

## Coordenadas Geográficas

Latitud: 2°10'51.21"S

Longitud: 79°54'17.93"O



**Ilustración 7 Ubicación Geo-referenciada de Planta Piloto Wetland**

### 3.2. Montaje de la planta piloto Wetland

La planta piloto Wetland está conformada por: caja de registro, Tanque homogeneizador y planta Wetland.

#### Caja de registro

La caja de registro está ubicada en la parte posterior del Bar-restaurante Colon, esta caja recolecta las descargas del bar propiamente y además de los baños ubicados en la facultad de Ingeniería, carrera de Ingeniería en Sistemas. La descarga del bar contiene grasas y aceites, desechos orgánicos, en ciertos casos de productos de limpieza como detergentes, entre otros y la descarga de los baños contiene principalmente desechos orgánicos, por lo que se considera un agua residual doméstica. De esta caja de registro se captó el agua residual afluyente a la planta piloto Wetland.

El funcionamiento de la planta fue discontinuo, desde las 09:00 hasta las 19:00 horas, para la succión del agua residual se utilizó una bomba de 1Hp. y una tubería de 1 pulgada, que en el punto de captación tenía una rejilla

para evitar el ingreso de sólidos gruesos como plásticos entre otros y afectar la correcta funcionalidad de la bomba, esta tubería con una longitud de 6 m con la horizontal y 2 m vertical se conecta al tanque homogeneizador.

En la tubería de la caja de registro se colocó también una válvula antirretorno horizontal la cual funcionó para restringir la salida del agua, para los análisis se consideró que existe ya un proceso de pretratamiento en la captación del agua debido a que la rejilla generaba un proceso de retención de sólidos gruesos, como parte de un proceso físico.

### **Tanque homogeneizador**

Pretratamiento tanque homogeneizador Se utilizó un sistema de almacenamiento para las aguas servidas con un tanque de PVC de 300 litros, el cual está ubicado en la parte superior del canal de madera con una torre de acero de 2 m de alto la cual permitirá que el agua residual ingrese al canal y vaya por gravedad hasta el punto de descarga, además de que proporcionara una carga más homogénea, ayudará a la eliminación de los gases que se puedan generar en el tiempo de retención del agua residual la cual llegara por la línea de captación de la planta; debido a los diversos factores desconocidos que se puedan presentar en el proceso de investigación no se utilizaran los 300 litros del tanque por el contrario se va a ser efectivo el 95% del volumen de agua que almacena es decir 285 litros para tener un borde libre en caso que se deba abrir el tanque otra prevención debido a que se pueden presentar escenarios como sismos que podrían llegar a desestabilizar al torre en la que estará apoyado el tanque haciendo que el agua residual salga de manera descontrolada generando así inconvenientes a las personas que laboran por los alrededores donde está ubicada la planta piloto.

En el tanque también se colocó una malla de 10 mm de separación que va a retener sólidos es decir también tendrá como función el pretratamiento físico del agua residual esto se tomó como medida preventiva ya que en el tanque de almacenamiento se va a controlar la salida del agua con una válvula esférica de PVC de 500 mm esta nos permitirá tener un control completo sobre el caudal que va a ingresar en nuestra planta piloto el único problema

es que debido a la abertura que tendrá esta válvula puede que llegue a ser obstruida por los sedimentos que tendrá la muestra, la malla nos ayudara a disminuir esos sólidos que hayan podido pasar por las rejillas colocadas en la tubería de succión, de esta manera aseguramos el correcto y eficiente funcionamiento del punto de descarga de la planta Wetland.

### **Planta Wetland**

Para el dimensionamiento de la planta Wetland se recolectó información de varios autores, entre ellos Izembart & Le Boudec, (2005), en estos se realizan comentarios de algunos sistemas Wetland puestos en práctica en diferentes comunidades alrededor del mundo, en este compendio de literatura la longitud mínima para los Wetland es de 4 m, la profundidad de los estratos filtrantes es de 30 cm y las pendientes suelen variar de 1.5% a 3%; además para poder definir el ancho de la planta wetland se consultó a un especialista agrícola, el Ingeniero Agrónomo Eduardo Paredes, quien sugirió un ancho mínimo de 1 metro por las características de la caña guadua *Angustifolia*, para asegurar el adecuado desarrollo de la raíz. De todo este análisis e información recopilada se dimensionó la planta Wetland con unas dimensiones de 4m de largo, 1.20 m de ancho y 0.35 cm de alto de estrato filtrante.

La planta Wetland se la construyó en un canal de madera con las medidas ya indicadas, el cual se impermeabilizó con un plástico negro de construcción y encima de este un linóleo los cuales cubren la parte interna del canal para así evitar filtraciones y deterioro del canal, en el punto de descarga se colocó una malla de acero, para ayudar que no se obstruya el punto de salida ya sea por sedimentos o por el material filtro.

La planta piloto en lo que se refiere a la composición tiene una camilla de 0.03mx4mx1.2m de piedra chispa, además en el inicio y en el final de canal se encuentra una capa de piedra  $\frac{3}{4}$  de 0.35mx0.32mx1.20m en medio del canal se encuentre una capa de arena fina de 4mx0.32mx1.20m estos materiales granulares tienen como función principal ser filtros en si van a cumplir un tratamiento primario y secundario es decir físicos, dentro de todo esto se colocaran las cañas Guaduas de la familia *Angustifolia* las cuales cumplirán un tratamiento físico biológico.

El efluente una vez que entre al canal se va a encontrar con una cámara filtrante de piedra  $\frac{3}{4}$  con unas dimensiones de 1.2mx0.32mx0.5m las cuales estarán al inicio y al final del canal además para asegurar la circulación del agua y evitar obstrucción en los filtros debido a los sedimentos que llegan a ingresar por el agua residual se colocó una cama de piedra chispa a lo largo de todo el canal 4mx0.02mx1.2m esto asegurara que el agua este siendo distribuida por todo el canal y a su vez en contacto con las cañas Guaduas en medio de esta estar ubicada una capa de arena fina también como parte del material filtrante, el canal tendrá una pendiente del 2% esto permitirá que el flujo descienda por gravedad hasta el punto de la descarga en el cual se coloca una rejilla de acero para evitar que la piedra  $\frac{3}{4}$  obstruya la salida del agua, una vez pasado por esto el agua será conducida por unas tuberías de PVC de 1 pulgada hasta la caja de registro el punto más cercano de descarga. Debemos denotar que en este proceso de descarga se está utilizando un proceso de tratamiento Físico biológico, físico por el uso de los materiales granulares como filtros y biológicos por las cañas Guadua que estarán depurando el agua residual.

## Capítulo 4

### 4. Metodología

Una vez realizado el montaje de la planta piloto Wetland se realizó un periodo de adaptación de la caña guadua *Angustifolia* durante el mes de diciembre del 2019 en el cual se monitoreaba la planta con agua potable para que así esta tenga un desarrollo exitoso y de esta manera pueda trabajar al momento de que ingresen las aguas residuales para su depuración.

#### 4.1. Muestras

Para poder realizar la evaluación de la eficiencia de remoción y además del comportamiento del sistema Wetland para el tratamiento de aguas residuales, se procedió a realizar toma de muestras las cuales se esquematizaron en tres puntos:

- Caja de Registro
- Efluente de tanque homogeneizador
- Efluente de Planta Wetland

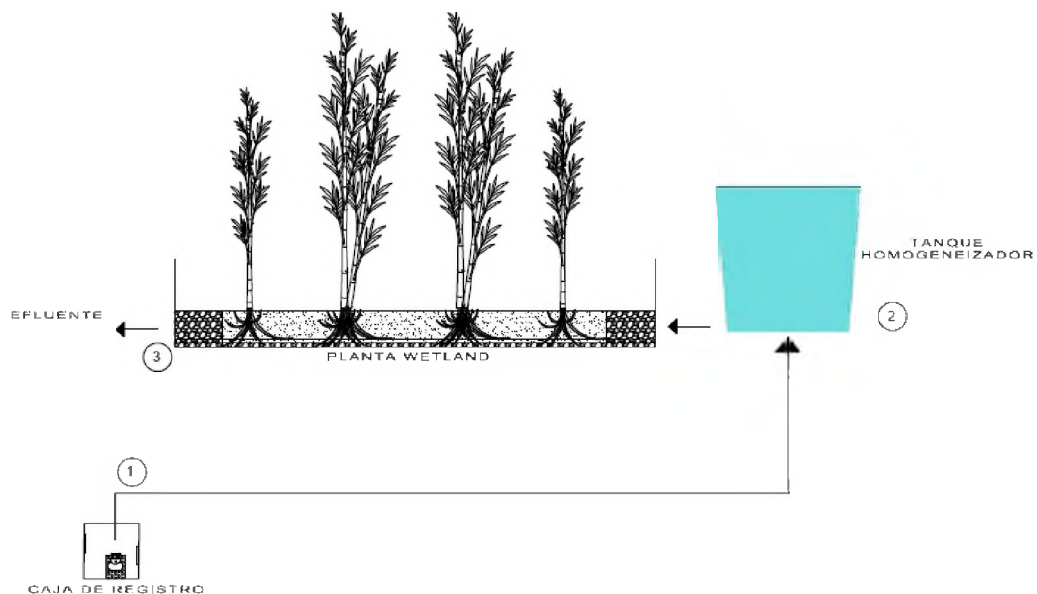


Ilustración 8 Esquematización de Planta Piloto Wetland

Se escogieron esos puntos debió a que en el caso de la caja de registro es el punto matriz para poder tener una idea del tipo de agua residual que va a ingresar a la planta piloto Wetland con que parámetros está ingresando, por otro lado el tanque se lo designo debido a que en el punto de captación estaba colocado un sistema de rejillas las cuales cumplían la función de impedir el ingreso de sólidos de tamaño significativo que puedan afectar el correcto funcionamiento de la bomba por ende este estaba cumpliendo un proceso de pretratamiento es decir que iba a existir un porcentaje de remoción el cual es importante conocerlo para el análisis de los resultados otra razón es que al llegar el agua al tanque de homogenización de PVC está cumpliendo otro proceso de tratamiento el anaerobio debido a que el agua al estar por un periodo de tiempo almacenada en el cual microorganismos van a descomponer material biodegradable en ausencia de oxígeno es decir que el agua que va a ingresar va a tener otros parámetros es por ello que para el análisis de las muestras y su interpretación es importante conocer estos valores y finalmente el punto de descarga de la planta piloto es el punto en el cual se va a poder observar que ha pasado con el agua residual que está entrando en la planta piloto que ha logrado remover que parámetros mejoraron o a su vez se vieron alterados de manera negativa es en este punto que se va a poder medir la eficiencia del sistema Wetland.

Para el análisis de las muestras se especificó realizarlo cada día, teniendo en cuenta las condiciones climáticas debido a la presencia de lluvias ciertos días no se realizaron pruebas ya que la planta piloto iba a ser influenciada por este factor el agua residual iba a tener porcentajes de aguas lluvias por ende esos días no se tomaban pruebas y lo que se realizaba era igual llenar el tanque para que este distribuya agua residual a todo el canal para así poder eliminar en lo que más sea posible la presencia de las aguas lluvias. Las muestras se las tomaban a las 9:00 Am se escogió esta hora ya que en este punto se observó que la presencia de estudiantes que utilizaban las instalaciones sanitarias era representativa y además llegaban a proporcionar agua residual a el tanque.



**Tabla 4 Fechas en las cuales se realizaron las actividades de toma de muestras**

<b>Muestra</b>	<b>Fecha</b>
1	13/1/2020
2	15/1/2020
3	18/1/2020
4	21/1/2020
5	24/1/2020
6	25/1/2020
7	30/1/2020
8	31/1/2020
9	3/1/2020
10	6/2/2020

Las muestras se las van a identificar por medio de números enteros en los cuales se les colocará la fecha respectiva en la que fueron tomadas como un ID en cada cuadro de resultados de la base de datos se va a mostrar para cada característica a analizar con los tres puntos en los que se tomaron las muestras.

En total a lo largo del proceso de investigación y control de la planta piloto Wetland se llegaron a tomar un total de 10 muestras en las que se midieron los parámetros de:

- Demanda bioquímica de oxígeno
- Coliformes fecales
- Sólidos suspendidos
- Sólidos disueltos
- Sólidos sedimentables
- Potencial de hidrogeno
- Conductividad
- Oxígeno Disuelto

#### **4.2. Materiales y equipos utilizados para el análisis de muestras**

Para poder realizar los análisis de las muestras se utilizaron:

- Implementos de seguridad: botas con punta de acero, guantes de plástico y mascarilla.

- Agua destilada y alcohol antiséptico.
- Cinta de papel para poder etiquetar las muestras.
- Envases de plástico para recolectar las muestras recolectadas.
- Equipo multiparámetro HQ40d con 3 sondas (PHC301, LDO y CDC401) el cual evalúa directamente el pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura, y a su vez la sonda de conductividad también mide sólidos totales disueltos. Todas las sondas miden temperatura.

### 4.3. Ensayos realizados para el análisis de muestras

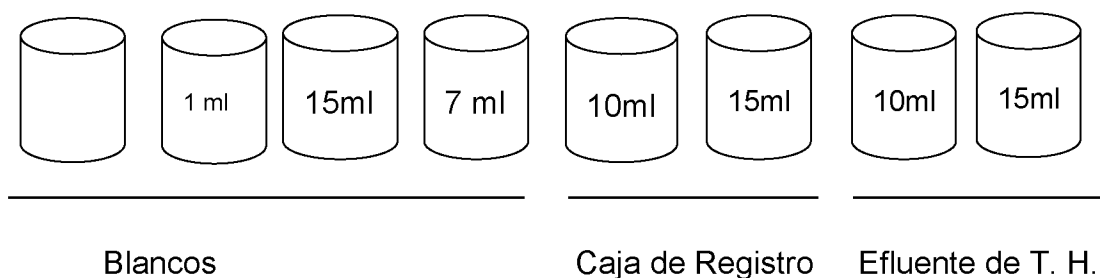
#### ➤ DBO

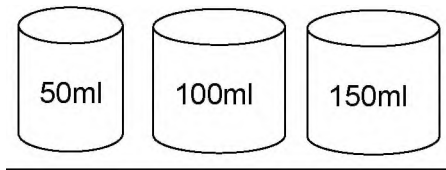
La trascendencia de medir la DBO reside en que el análisis de la evolución de la DBO recopila información de que tan biodegradable sea la muestra analizada (Gil Rodriguez, 1998).

- **Materiales y equipo para realizar el ensayo de DBO<sub>5</sub>:**
  - 11 botellas winkler color ámbar de 300 ml cada una. (Para 3 muestras: Caja de registro, Tanque homogeneizador y efluente de salida.
  - 3000 ml de agua destilada a 20°C
  - Probeta de 1000 ml
  - Equipo multiparámetro HQ40d con sonda LBOD10101 (sensor de oxígeno disuelto luminiscente (LDO) con sistema agitador integrado)
  - Incubadora marca POL-EKO tipo ST 4+
  - Balanza analítica de tres cifras decimales.
  - Pipetas graduadas de 10 ml y fiola de 100ml
  - Sachet de nutrientes para pruebas de DBO
- **Procedimiento:**

El procedimiento por seguir para poder realizar los ensayos de DBO es:

1. Se prepara una solución de ácido glutámico y glucosa, esta solución está conformada por 0.025 g de ácido glutámico y 0.025 g de glucosa los cuales pasaron por un proceso de secado durante una hora a 105 °C, estos pesos sirven para 100 ml de solución una vez que se terminó el proceso de mezclado se los diluye con agua destilada; la solución dura 15 días.
2. Se esterilizan las botellas winkler color ámbar con una capacidad de 300 ml.
3. Los sachet de nutrientes sirven cada uno para 300 ml de solución, la configuración que se utilizo es de 11 botellas color ámbar.
4. Cuatro botellas representaron los blancos, dentro del primer frasco contiene una solución de agua destilada con sachet de nutrientes que junto a los demás blancos nos ayudarán a tener un control del oxígeno disuelto para observar que los valores se mantengan durante el periodo de todas las pruebas, en los demás blancos se colocaron solo la muestra de lo que es denominado semilla en este caso la caja de registro, la cantidad de muestra en ml serán 1 ml para el blanco #2, 15 ml para el blanco #3 y para el blanco #4 serán 6 ml de solución de ácido glutámico y glucosa más 1 ml de la muestra semilla.
5. Una vez configurados los blancos se proceden a definir y colocar las demás muestras en los botellas restantes, el Standard Methods Ed. No. 19, 1995 define que los parámetros para medir DBO, en el punto de muestra de la caja de registro y efluente de tanque homogeneizador se usaron 2 botellas en cada caso, se colocaron 10 ml y 15 ml por cada muestra, para el caso del efluente de la planta piloto se usaron tres botellas con 50 ml, 100 y 150ml de muestra, esto se debe a que el efluente ha sido depurada y se necesita de mayor volumen de muestra para poder ser medidos.





Efluente de P. Piloto.

6. Como se mencionó anteriormente cada sachet de nutrientes es útil para 300 ml de solución, en la distribución del volumen de la muestra el último frasco contiene 150 ml, este frasco va a ser descartado de la cuenta para los sachet de nutrientes ya que al contener una cantidad alta de muestra se estaría desperdiciando un sachet. Se utilizarán 10 sachet de nutrientes.
7. Los 10 sachet de nutrientes van a ser diluidos en 3000 ml de agua destilada a 20 °C, los 3000 ml se los obtuvieron al multiplicar el número de botellas color ámbar con 300 ml de este resultado se restará la cantidad total de ml de todas las muestras.
8. Se procede a verter la solución de agua destilada con los sachet de nutrientes en las 11 botellas hasta el borde.
9. Se procede a usar el multiparámetro HQ40d, se coloca el sensor LBOD10101 en cada frasco, enciende el sensor durante 10 segundos dentro de cada botella y presionamos iniciar para que nos de las lecturas de oxígeno disuelto en cada frasco.
10. Una vez medido el oxígeno disuelto, los 11 botellas se los coloraron en la incubadora de DBO y se las retirará al quinto día para hallar  $DBO_5$  manteniendo su temperatura a 20°C.
11. Una vez retiradas las muestras se vuelve a analizar por medio del equipo multiparámetro HQ40d el oxígeno disuelto. Y finalmente se calcula el DBO por medio de una fórmula.

$$DBO_5, \frac{mg}{l} = \frac{D_1 - D_2}{P}$$

Se usa esta fórmula cuando la dilución del agua no está con la semilla en donde;

D1= Oxígeno disuelto de la muestra inmediatamente diluido después de la preparación, mg/l

D2= Oxígeno disuelto de la muestra después de 5 días en la incubadora a 20 °C, mg/l

P= fracción volumétrica decimal de la muestra usada

$$P = \frac{\text{Volumen de la muestra de agua residual (ml)}}{\text{Volumen del frasco para DBO (ml)}}$$

➤ **pH, Conductividad, Sólidos Totales disueltos.**

• **Materiales y equipo para realizar el ensayo:**

- Pipeta para agua destilada
- Papel toalla
- Equipo multiparámetro HQ40d con sonda pH301 y sonda CDC401

• **Procedimiento**

1. Enjuagar los electrodos con agua destilada. Agitarlos para eliminar el agua y secarlos con papel absorbente.
2. Colocar la muestra en un vaso de precipitación en cantidad suficiente (Aproximadamente 150 ml) de tal forma que los electrodos queden sumergidos en la muestra.
3. Verificar que la temperatura de la muestra esté alrededor de 25 °C.
4. Colocar el agitador magnético en la muestra para de esa manera asegurar la homogeneidad de la muestra.

5. Colocar los electrodos en la muestra, esperar su estabilización y realizar la lectura.

Hay que especificar que la sonda CDC401 nos dará como resultado el dato de Conductividad y de Sólidos Totales disueltos mientras que la sonda pH301 nos dará el pH y la temperatura en grados centígrados de la muestra.

➤ **Sólidos Suspendidos Totales**

• **Materiales y Equipo para realizar el ensayo:**

- Cápsulas de porcelana debidamente enumeradas
- Probeta de 50 ml
- Filtros de fibra de vidrio (tiene dos caras una rugosa y otra lisa)
- Balanza Analítica
- Horno
- Bomba de vacío

• **Procedimiento**

- Las muestras deben estar entre 20 a 25°C aproximadamente.
- Se procede a pesar cada papel filtro de fibra de vidrio, uno para cada muestra.
- Se agita la muestra para asegurar su homogenización en una probeta de 100 ml.
- Después cada filtro se los coloca en la máquina de filtración Millipore con la cara lisa por debajo y se vierten los 100 ml de muestra.
- Una vez filtradas las muestras en la máquina, se sacan los filtros de fibra de vidrio con una pinza, se los coloca en las cápsulas respectivas llevándolas posteriormente al horno de 103°C - 105°C horno durante 1 hora.

- Después de ese tiempo se sacan las cápsulas y se las procede a pesar una vez ambientadas y nuevamente se las ingresa en el horno durante una hora, y así sucesivamente hasta que el peso dé casi constante en todas las muestras.

La fórmula que se usa para el cálculo de los Sólidos Suspendidos Totales es la que se presenta a continuación:

$$SST \left( \frac{\text{mg de sólidos totales}}{L} \right) = \frac{(A - B) * 1000000}{\text{Volumen de muestra, ml}}$$

En donde:

A= Peso final del papel filtro en gramos.

B= Peso inicial del papel filtro en gramos.

#### ➤ **Coliformes Fecales**

- **Materiales y equipo para realizar el ensayo:**

- Agua destilada.
- Probeta de 1000 ml
- Agua Peptonada Bufferada Difco (500g)
- Envases de vidrio CORNING N° 1372
- Vaso de precipitación con escala triangular de 1000 ml.
- Fibras Millipore para filtración.
- Pipetas de 10 ml
- Incubadora
- Balanza Analítica
- Horno con termómetro.
- Olla de presión para esterilizar los envases.
- Reactivos colorantes para tinción de Gram
- Cajas Petri con agar para métodos estándar.

- **Procedimiento**

1. Se tienen previamente las muestras a analizar ambientadas de 20 °C - 25°C aproximadamente.

2. Se pesa 25.5 gramos de agua peptonada y se lo diluye con agua destilada en un vaso pequeño de precipitación hasta que no queden grumos en la mezcla.
3. Se extiende la dilución preparada a 1000 ml con agua destilada y se procede a verter esta dilución en cada envase N° 1372 hasta el tope de la marca indicada.
4. Estos envases llenos de la dilución se los ingresa en la olla de presión y se los esteriliza hasta que salga vapor y así sucesivamente con todos los envases.
5. Previamente esterilizadas las pipetas se procede a designar las respectivas diluciones por cada muestra. En este caso para la caja de registro con dilución de  $10^6$ , efluente de tanque homogeneizador con dilución de  $10^6$ , efluente de planta piloto con dilución de  $10^3$ .
6. Se enciende el equipo de filtración y el mechero para la esterilización de los demás utensilios necesarios, después se marca cada caja Petri con la fecha de la muestra a analizar.
7. Una vez esterilizadas las diluciones de agua peptonada se las saca de la olla de presión y se las deja al ambiente para que ocurra un choque térmico y se eliminen agentes patógenos.
8. Con las diluciones ambientadas se procede a verter 10 ml de cada muestra (previamente agitadas) en análisis y se espera de la primera mezcla hecha de dilución y muestra 5 minutos. Después se continúa diluyendo la mezcla anterior con la dilución posterior hasta que se cumpla lo indicado anteriormente con cada respectiva muestra es decir si es con dilución de  $10^6$ , pues la mezcla debe diluirse los 10 ml en 6 botellas de dilución esterilizadas y así sucesivamente con los demás puntos de análisis.
9. Después se filtran las 3 diluciones en el millipore y se la coloca en las cajas Petri con el reactivo de coloración.



10. Las cajas Petri se las coloca en la incubadora, se las va a voltear dos veces cada una a 30 min y luego se las deja 24 horas hasta obtener los resultados para poder realizar el conteo de cada uno de los puntos que aparezcan. Esos puntos representan las unidades formadoras de colonias.

## Capítulo 5

### 5. Análisis e interpretación de resultados

#### 5.1. Análisis de muestras

Las muestras se tomaron en:

- Caja de Registro
- Efluente de tanque homogeneizador
- Efluente de Planta Piloto Wetland

Los parámetros monitoreados fueron: DBO, coliformes fecales, pH, sólidos totales, disueltos, suspendidos, sedimentables, conductividad, temperatura y oxígeno disuelto. Con los resultados se realizó el análisis estadístico y gráfico para poder observar claramente el comportamiento del sistema Wetland con caña Guadua de la Familia Angustifolia.

En los gráficos en el eje X las muestras van a ser identificadas por números, los cuales representan la fecha en las que fueron tomadas y por el lado del eje Y van a estar los valores que se obtuvieron en las pruebas.

Se comparó los resultados con la norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua, libro VI Anexo 1, tabla 12 "Límites de descargas permisibles para cuerpos de agua dulce" y tabla 13 "Límites de descargas permisibles para cuerpos de agua marina", se escogieron estas tablas debido a que en la ciudad de Guayaquil como en muchas ciudades del país, los efluentes de las plantas de tratamiento son descargados a un cuerpo de agua dulce o marina.

#### ➤ **Potencial de Hidrógeno (pH)**

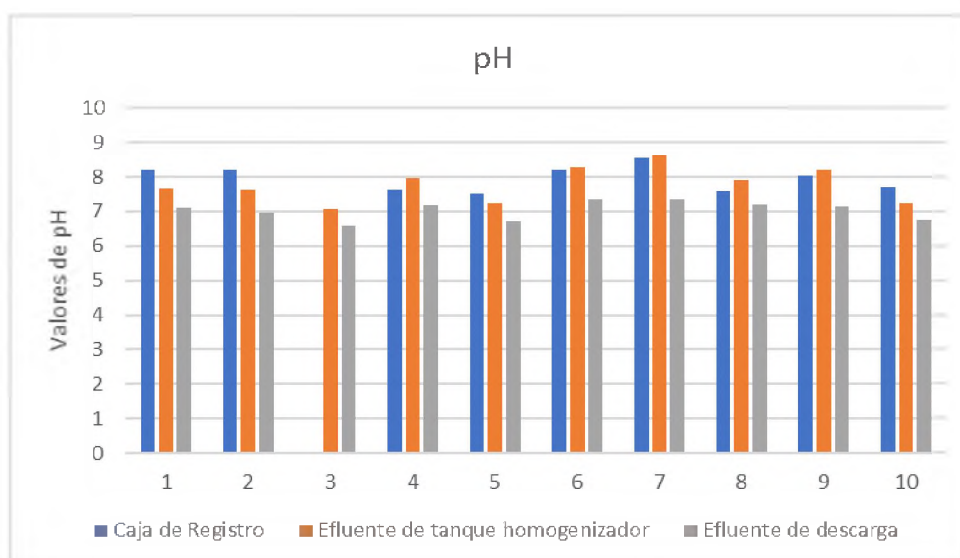
El potencial de hidrógeno (pH) es un parámetro químico que permite contrastar el grado de acidez de una sustancia o muestra líquida (García, 2016), este parámetro nos permite verificar en qué punto se encuentra la

muestra ya sea acida o alcalina. En la tabla 3 se presentan los valores de pH analizados:

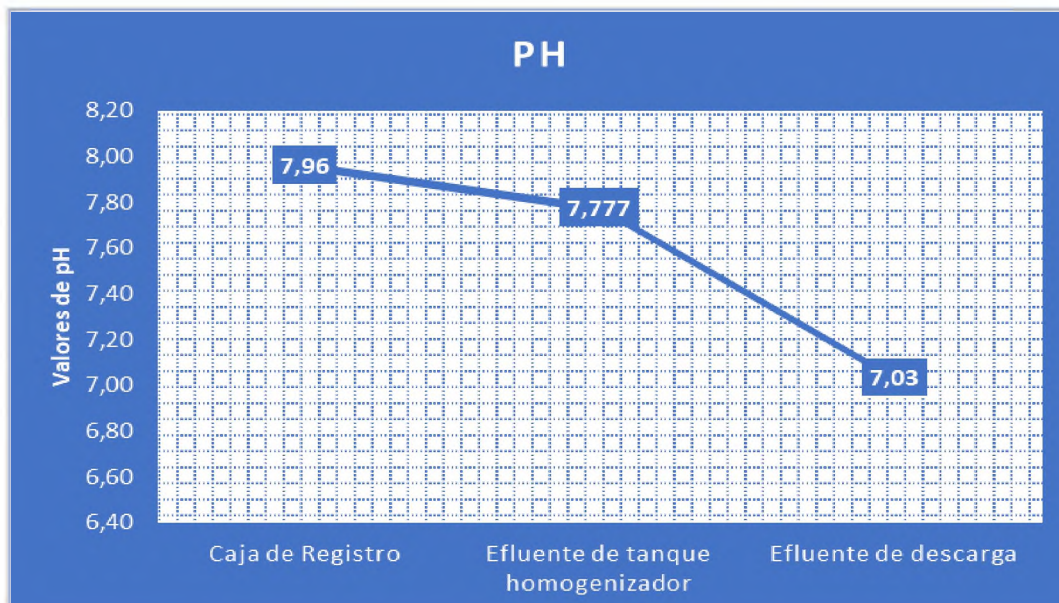
**Tabla 5 Valores de pH**

Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	13/1/2020	8,22	7,65	7,09
2	15/1/2020	8,22	7,61	6,97
3	18/1/2020	No se realizo	7,07	6,59
4	21/1/2020	7,62	7,95	7,17
5	24/1/2020	7,53	7,23	6,73
6	25/1/2020	8,22	8,27	7,34
7	30/1/2020	8,55	8,63	7,34
8	31/1/2020	7,59	7,91	7,2
9	3/1/2020	8,03	8,21	7,13
10	6/2/2020	7,68	7,24	6,77

El pH que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 7,53 a 8,22, el pH efluente del tanque homogeneizador está entre 7,07 a 8,63 y el pH efluente de la planta wetland está entre 6,59 a 7,34; en los tres puntos de monitoreo se mantiene en un pH neutro.



**Ilustración 9 Valores de pH a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.**



**Ilustración 10 Valores promedio de las muestras de Caja de Registro, Tanque Homogeneizador y efluente de Planta piloto Wetland.**

Como se observa en la ilustración 10, el valor promedio de pH en el afluente de la caja de registro es de 7,96; el efluente del tanque homogeneizador es de 7,77 y el efluente de la planta piloto wetland es de 7,03.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que el pH debe estar entre valores de 5 – 9 para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y entre valores de 6 – 9 en cuerpos de agua marina (tabla 13). La planta piloto Wetland estabiliza los valores de pH a valores cercanos a 7.

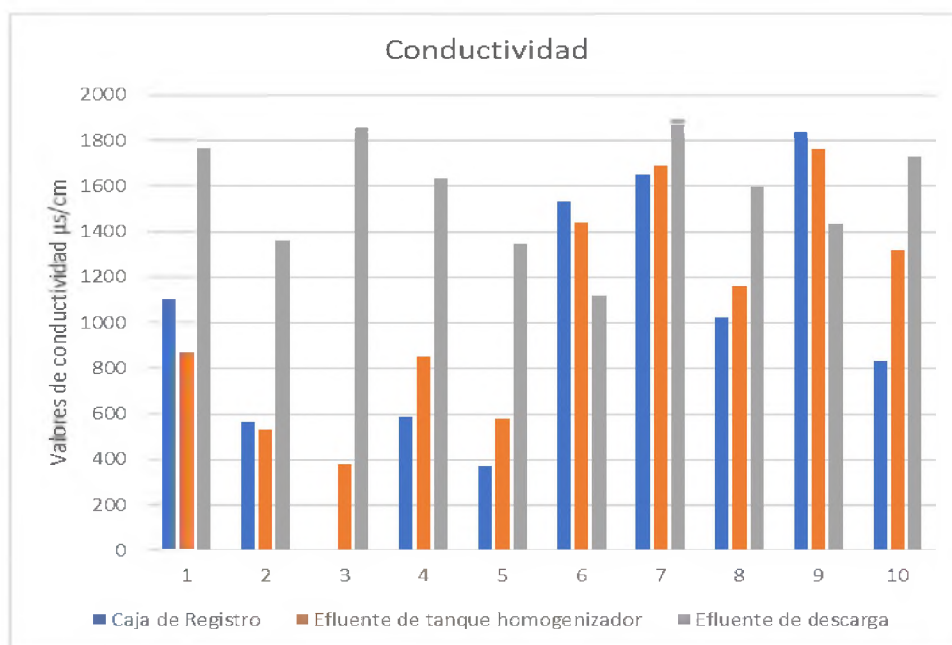
#### ➤ **Conductividad**

La conductividad, medida con unidades de micro Siemens/cm ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ), es la capacidad que suelen tener los líquidos de conducir o transmitir calor (Lenntech European Head Office, 2020).

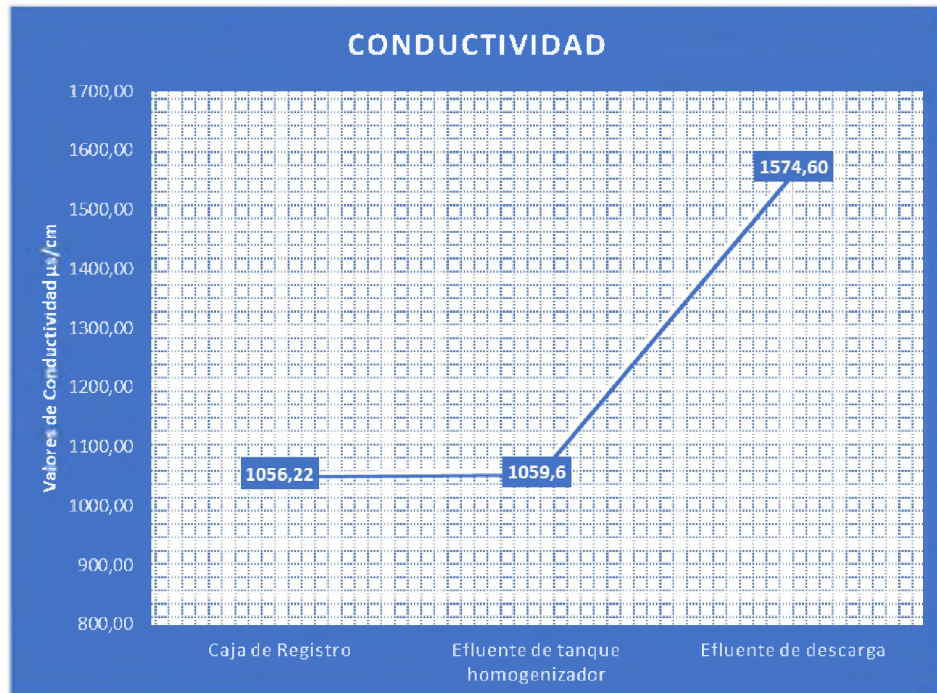
**Tabla 6 Valores de la conductividad**

Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	13/1/2020	1103	869	1770
2	15/1/2020	565	535	1359
3	18/1/2020	No se realizo	383	1858
4	21/1/2020	589	853	1632
5	24/1/2020	370	578	1348
6	25/1/2020	1532	1440	1122
7	30/1/2020	1654	1691	1895
8	31/1/2020	1025	1164	1597
9	3/1/2020	1836	1763	1433
10	6/2/2020	832	1320	1732

El nivel de conductividad que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 370 a 1836  $\mu\text{s}/\text{cm}$ , la conductividad en el efluente del tanque homogeneizador está entre 383 a 1763  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y la conductividad en el efluente de la planta wetland está entre 1122 a 1895  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .



**Ilustración 11 Valores de conductividad a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland**



**Ilustración 12 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de Conductividad**

Como se observa en la ilustración 12, el valor promedio de conductividad en el afluente de la caja de registro es de 1056,22 µs/cm; el efluente del tanque homogeneizador es de 1059,60 µs/cm y el efluente de la planta piloto wetland es de 1574,60 µs/cm. Se puede denotar como aumenta la conductividad en cada etapa de la planta piloto del sistema wetland.

Entre las razones por las cuales ocurre este efecto se pueden denotar que:

- La conductividad tiende a aumentar debido al material granular el cual está sirviendo como filtro en la planta piloto Wetland por lo que podría estar descargando iones en el agua en proceso de depuración.
- Los procesos biológicos de depuración que otorgan los agentes vegetales es decir la Guadua se hace presente la evaporación en el agua y esto también influye en el aumento de la conductividad

Estos serían los dos factores principales los cuales están influenciando en el aumento de este parámetro.



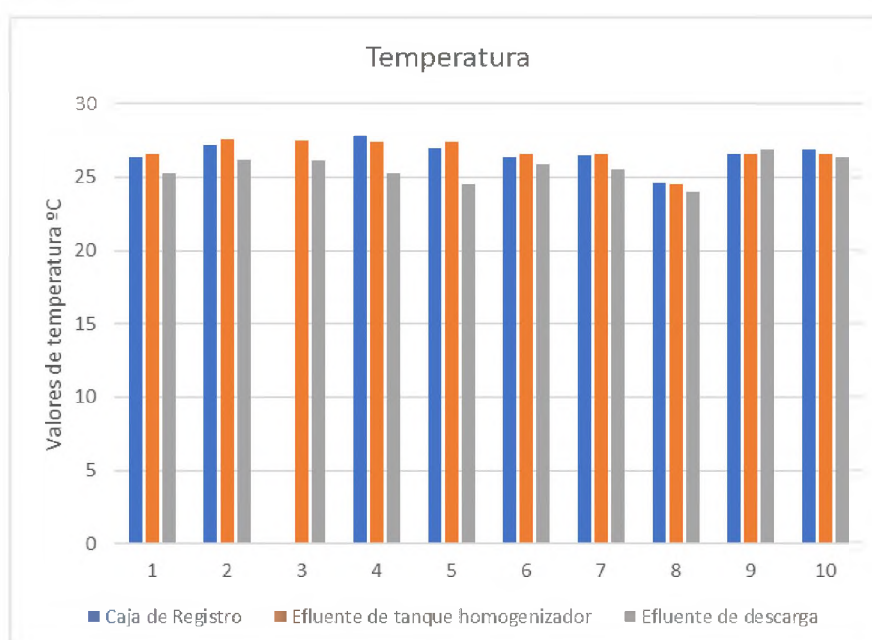
### ➤ Temperatura

La temperatura es un parámetro físico el cual llega a afectar las mediciones de otros parámetros como el caso del pH, alcalinidad o conductividad, las altas temperaturas, como resultado la de descargas de agua caliente, llegan a tener un impacto ecológico representativo por esta razón la medición de la temperatura en el cuerpo receptor, esto tiende a resultar útil para poder evaluar que efectos inciden sobre éste (Severiche, Castillo, & Acevedo, 2013).

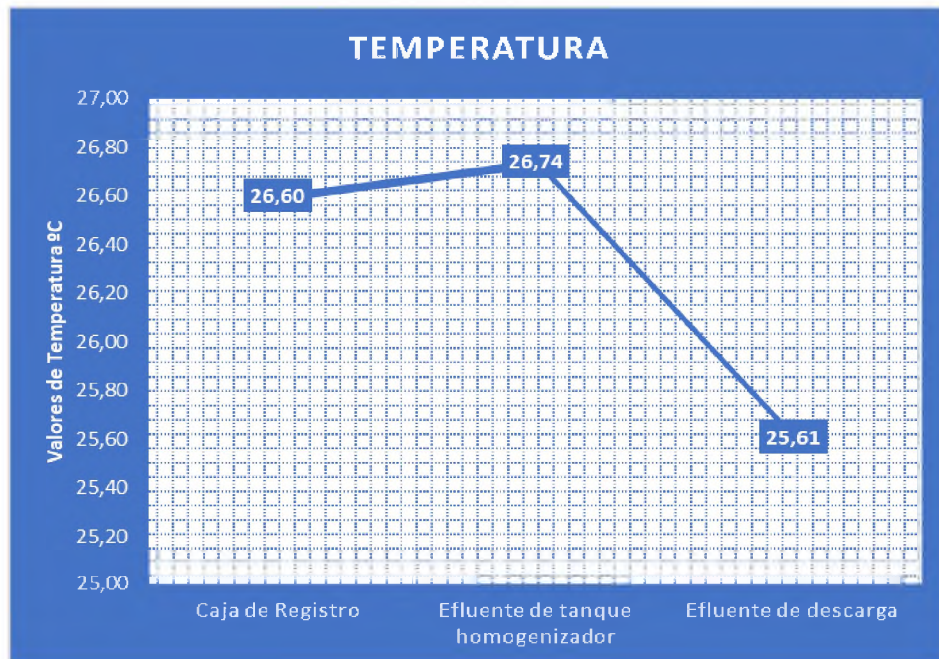
**Tabla 7 Valores de Temperatura**

Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	13/01/2020	26,4	26,6	25,3
2	15/01/2020	27,2	27,6	26,2
3	18/01/2020	No se realizo	27,5	26,1
4	21/01/2020	27,8	27,4	25,3
5	24/01/2020	27	27,4	24,5
6	25/01/2020	26,4	26,6	25,9
7	30/01/2020	26,5	26,6	25,5
8	31/01/2020	24,6	24,5	24
9	03/01/2020	26,6	26,6	26,9

La temperatura con la que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 24,6 a 27,8 °C, la temperatura en el efluente del tanque homogeneizador está entre 24,5 a 27,6 °C y la temperatura en el efluente de la planta wetland está entre 24 a 26,9 °C.



**Ilustración 13 Valores de temperatura a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland**



**Ilustración 14 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de temperatura**

Como se observa en la ilustración 14, el valor promedio de temperatura en la caja de registro es de 26,60 °C; el efluente del tanque homogeneizador es de 26,74°C y el efluente de la planta piloto wetland es de 25,61°C.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que la temperatura debe ser menor a 35 °C para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y de igual manera en cuerpos de agua marina (tabla 13).

#### ➤ **Sólidos disueltos**

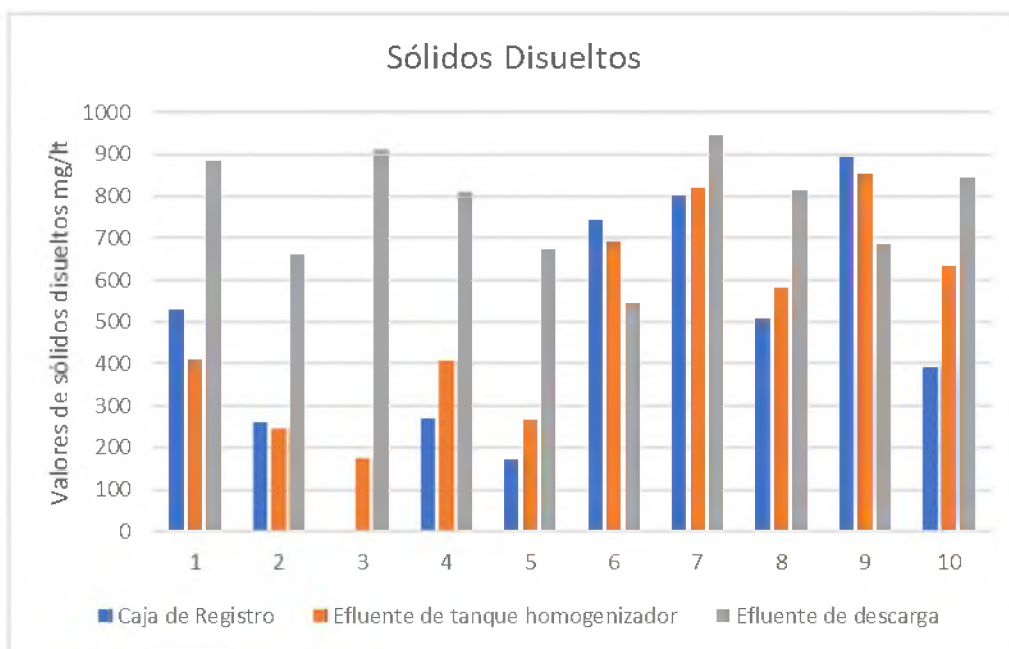
Los sólidos disueltos son el número de miligramos del residuo que queda después de evaporar una muestra de agua previamente filtrada a través de un filtro de fibra de vidrio con abertura de 1,5 micras. El agua se evapora y el residuo se lleva hasta 180°C. El resultado se reporta en mg/l.



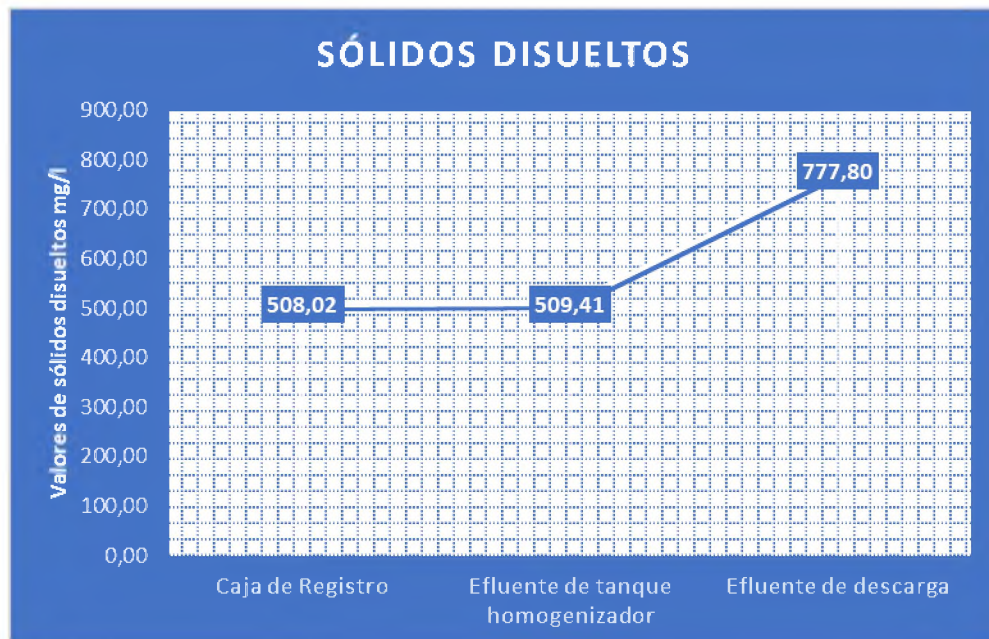
**Tabla 8 Valores de Sólidos Disueltos**

Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	13/01/2020	530	412	884
2	15/01/2020	262	246	660
3	18/01/2020	No se realizo	176,1	913
4	21/01/2020	270	408	812
5	24/01/2020	172,2	268	674
6	25/01/2020	743	693	545
7	30/01/2020	802	819	944
8	31/01/2020	508	582	815
9	03/01/2020	893	855	687
10	06/02/2020	392	635	844

La cantidad de sólidos disueltos que ingresa a la planta piloto Wetland están entre 172,2 a 893 mg/l, los sólidos disueltos en el efluente del tanque homogeneizador están entre 176,1 a 855 mg/l y los sólidos disueltos en el efluente de la planta wetland están entre 545 a 944 mg/l.



**Ilustración 15 Valores de Sólidos Disueltos a lo largo del proceso de muestreo en el sistema Wetland**



**Ilustración 16 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos disueltos**

En el sistema de tratamiento no se está logrando un efecto de remoción en los sólidos disueltos por el contrario el sistema está aportando en un promedio del 66% aunque de acuerdo con la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor no existe la regulación para el parámetro de sólidos disueltos.

➤ **Sólidos Sedimentables**

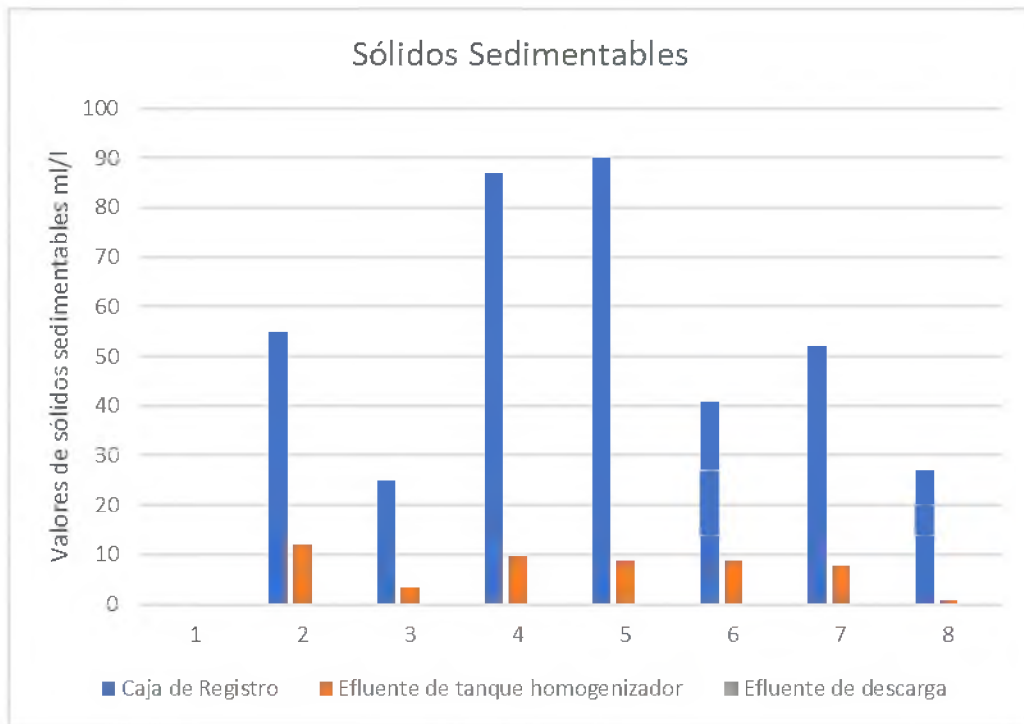
Es la cantidad de material que sedimenta de una muestra en un período de tiempo.

**Tabla 9 Valor por medición directa de Sólidos sedimentables**

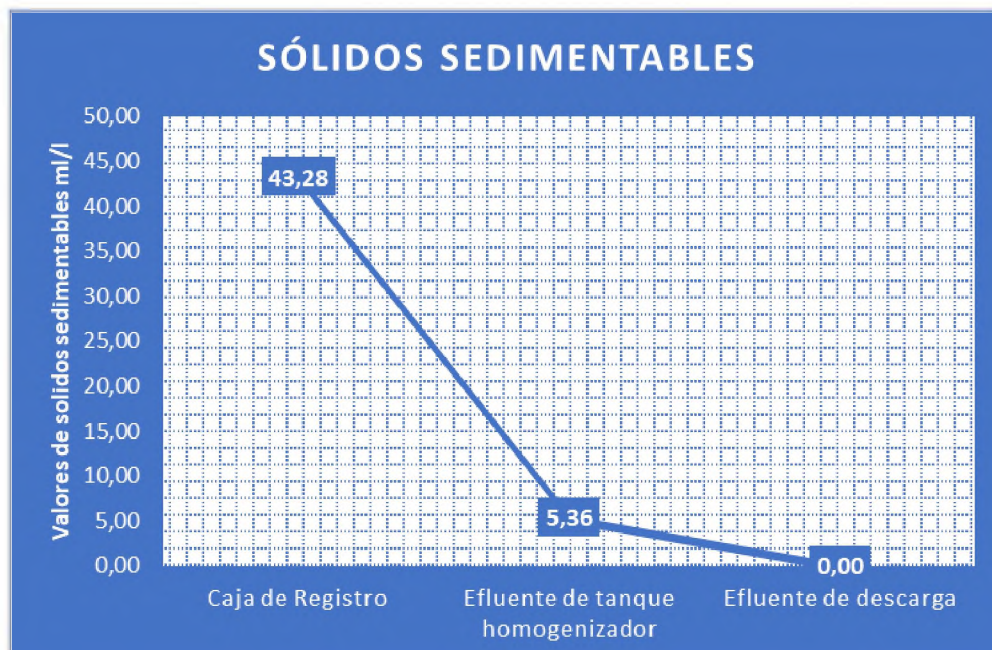
Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	18/1/2020	No se realizo	0,1	0
2	21/1/2020	55	12	0
3	24/1/2020	25	3,5	0
4	25/1/2020	87	9,6	0
5	30/1/2020	90	9	0
6	31/1/2020	41	9	0
7	3/1/2020	52	8	0
8	6/2/2020	27	1	0

Los sólidos sedimentables que ingresan a la planta piloto Wetland están entre 1,5 a 90 ml/l, en el efluente del tanque homogeneizador está entre 0,1

a 9,6 ml/l y no hay sólidos sedimentables en el efluente de la planta wetland es decir 0 ml/l.



**Ilustración 17 Valores de Sólidos Sedimentables a lo largo del proceso de muestreo en el sistema Wetland**



**Ilustración 18 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de sólidos sedimentables**

Como se observa en la ilustración 18, el valor promedio de sólidos sedimentables de la caja de registro es de 43,28 ml/l; el efluente del tanque homogeneizador es de 5,36 ml/l y el efluente de la planta piloto wetland es de 0 ml/l.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que los sólidos sedimentables deben llegar máximo a 1ml/l para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y no hay límite permisible en este parámetro para cuerpos de agua marina (tabla 13). Se ha obtenido como resultado en la planta piloto Wetland en el periodo de investigación, la eficiencia de remoción de un 100% en este parámetro.

#### ➤ Sólidos Suspendidos

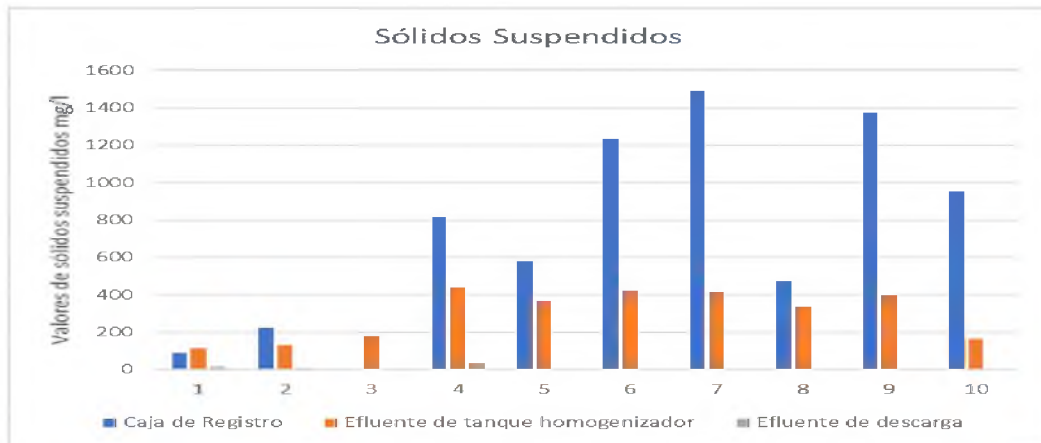
Es el incremento de peso que experimenta un filtro de fibra de vidrio (previamente tarado) tras la filtración al vacío, de una muestra que posteriormente es secada a peso constante a 103-105°C. El aumento de peso del filtro representa los sólidos totales en suspensión. (Castillo & Acevedo, 2013)

**Tabla 10 Valores de Sólidos Suspendidos**

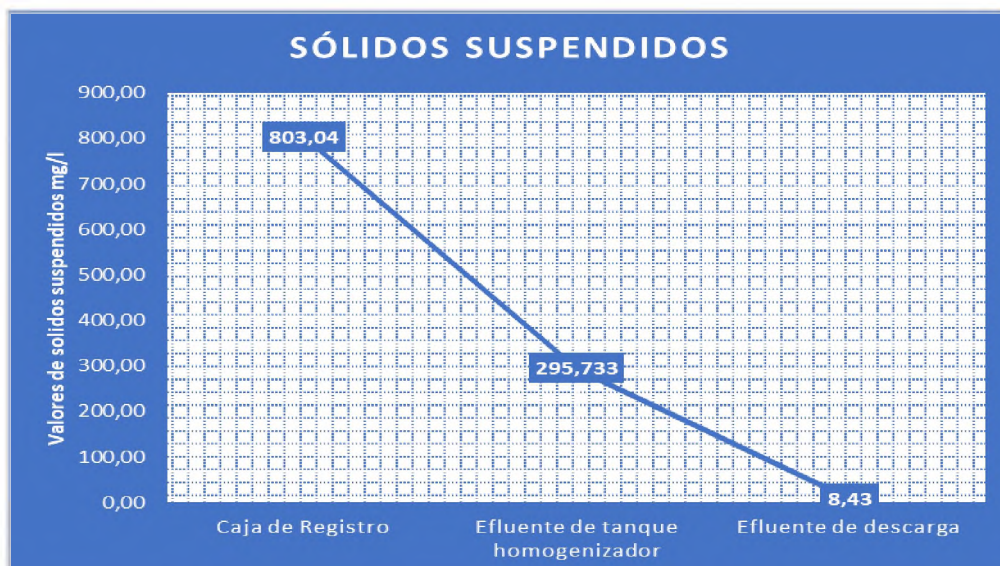
Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogeneizador	Efluente de descarga
1	13/01/2020	90,9	112,72	14
2	15/01/2020	224	129,03	9
3	18/01/2020	No se realizo	175,51	5
4	21/01/2020	815,38	438,88	33,33
5	24/01/2020	577,27	368,42	2
6	25/01/2020	1233,33	422,72	2
7	30/01/2020	1487,5	415,78	5
8	31/01/2020	476	335	5
9	03/01/2020	1370	395,45	4
10	06/02/2020	952,94	163,82	5

Los sólidos suspendidos que ingresan a la planta piloto Wetland están entre 224 a 1487,5 mg/l, en el efluente del tanque homogeneizador está entre 112,72 a 438,88 mg/l y los sólidos suspendidos en el efluente de la planta wetland están entre 2 a 33,33 mg/l.





**Ilustración 19 Valores de Sólidos Suspendedos a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland**



**Ilustración 20 Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de solidos suspendidos**

Como se observa en la ilustración 20, el valor promedio de sólidos suspendidos en el afluente de la caja de registro es de 803,04 mg/l; en el efluente del tanque homogeneizador es de 295,73 mg/l y en el efluente de la planta piloto Wetland es de 8,43 mg/l.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que los sólidos suspendidos deben estar hasta valores de 100mg/l para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y de igual manera en cuerpos de agua

marina (tabla 13). La planta piloto Wetland estabiliza los valores de pH a valores cercanos a 7.

En lo que se refiere a la de remoción de sólidos suspendidos se obtuvo una eficiencia del 98,95%.

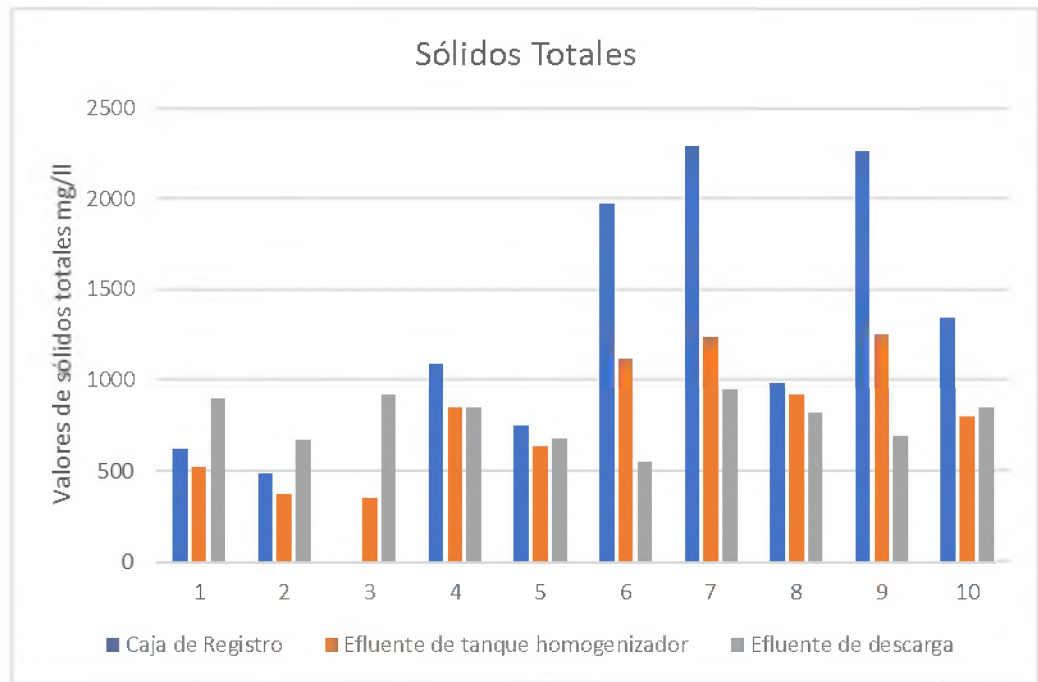
➤ **Sólidos Totales**

Los sólidos Totales se definen como la materia sólida la cual está suspendida, disuelta, o asentada en un líquido.

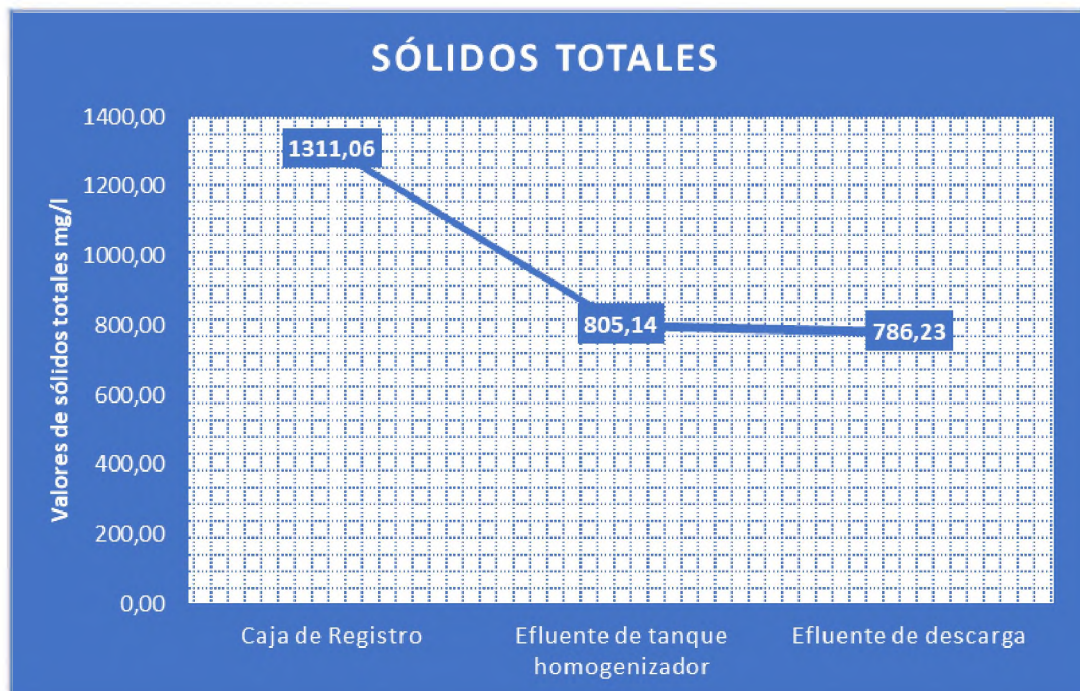
**Tabla 11 Valores de la suma algebraica entre sólidos Suspendidos y Disueltos**

Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	13/01/2020	620,9	524,72	898
2	15/01/2020	486	375,03	669
3	18/01/2020	No se realizo	351,61	918
4	21/01/2020	1085,38	846,88	845,33
5	24/01/2020	749,47	636,42	676
6	25/01/2020	1976,33	1115,72	547
7	30/01/2020	2289,5	1234,78	949
8	31/01/2020	984	917	820
9	03/01/2020	2263	1250,45	691
10	06/02/2020	1344,94	798,82	849

Los sólidos totales que ingresan a la planta piloto Wetland están entre 486 a 2289,5 mg/l en el efluente del tanque homogeneizador está entre 351,61 a 1250,45 mg/l y los sólidos totales en el efluente de la planta wetland están entre 547 a 949 mg/l.



**Ilustración 21 Valores de Sólidos Totales a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland**



**Ilustración 22 Comportamiento promedio de la Planta Piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos totales**

Como se observa en la ilustración 22, el valor promedio de los sólidos totales en el afluente de la caja de registro es de 1311,06 mg/l; en el efluente del

tanque homogeneizador es de 805,14 mg/l y el efluente de la planta piloto wetland es de 786,23mg/l.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que los sólidos totales no deben superar valores de 1600 mg/l para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y no hay límite permisible en este parámetro para cuerpos de agua marina (tabla 13).

### ➤ Oxígeno Disuelto

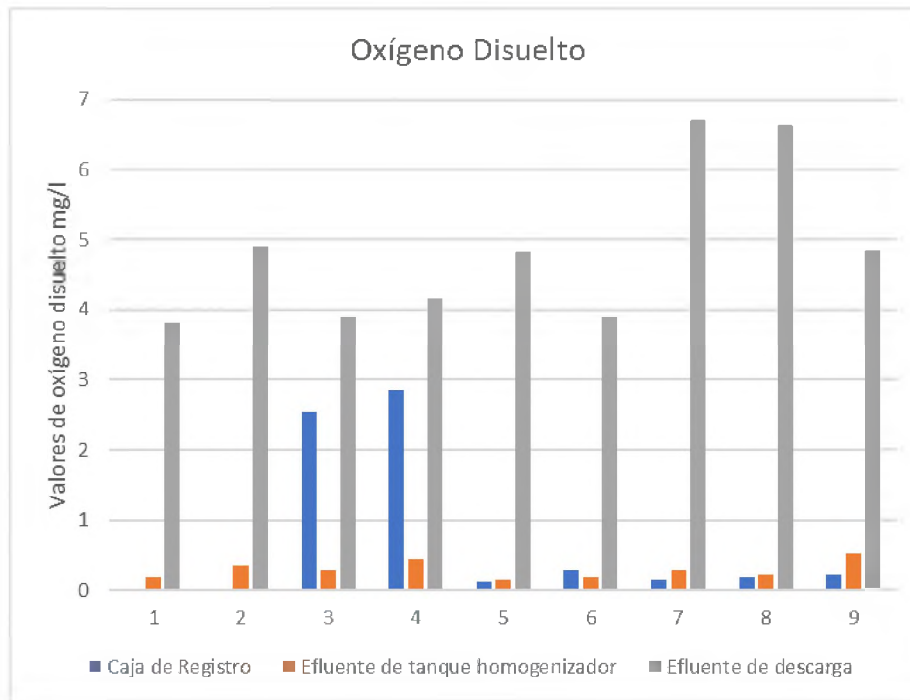
El oxígeno disuelto es la cantidad de oxígeno gaseoso que esta disuelto en el agua.

**Tabla 12 Valores del Oxígeno Disuelto (mg/l)**

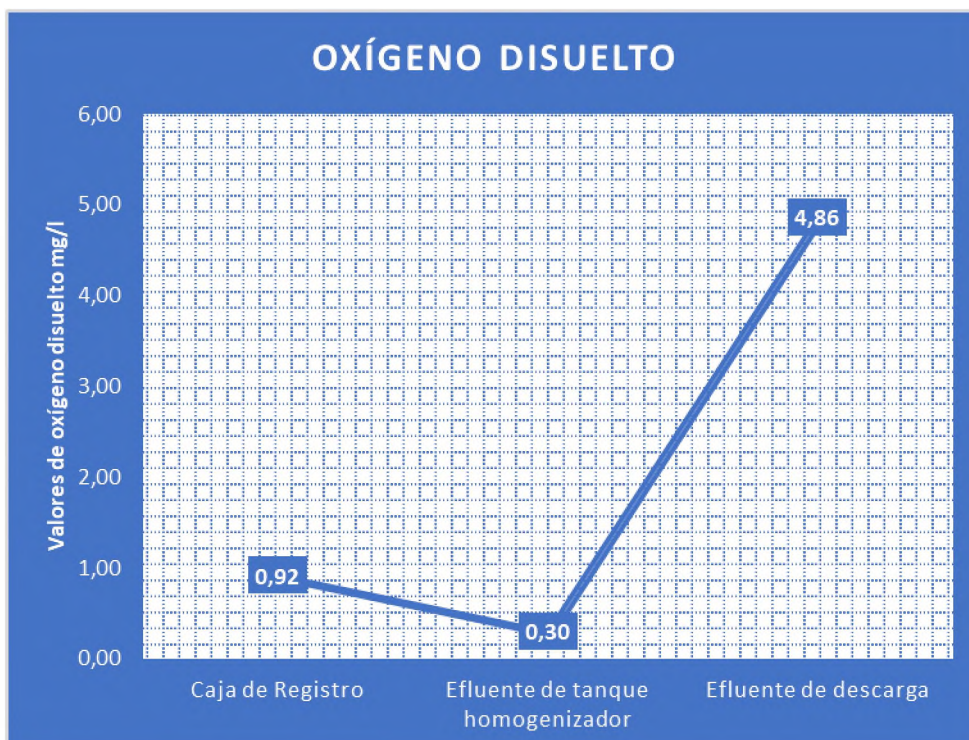
Muestra	Fecha	Caja de Registro	Efluente de tanque homogenizador	Efluente de descarga
1	15/01/2020	No se realizo	0,19	3,81
2	18/01/2020	No se realizo	0,36	4,9
3	21/01/2020	2,54	0,3	3,9
4	24/01/2020	2,86	0,44	4,17
5	25/01/2020	0,13	0,15	4,84
6	30/01/2020	0,3	0,2	3,9
7	31/01/2020	0,16	0,3	6,71
8	03/01/2020	0,2	0,22	6,65
9	06/02/2020	0,22	0,53	4,85

El oxígeno disuelto del afluente a la planta piloto Wetland está entre 0,13 a 8,29 mg/l, el oxígeno disuelto del efluente del tanque homogeneizador está entre 0,19 a 8,39 mg/l y el oxígeno disuelto efluente de la planta wetland está entre 3,81 a 8,29 mg/l.





**Ilustración 23 Valores de Oxígeno Disuelto a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.**



**Ilustración 24 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Oxígeno Disuelto**

Como se observa en la ilustración 24, el valor promedio de oxígeno disuelto en el afluente de la caja de registro es de 0,92 mg/l; el efluente del tanque homogeneizador es de 0,30 mg/l; según la literatura valores inferiores a 2mg/l es fatal para mantener la vida en la mayor parte de especies a diferencia del efluente de la planta piloto wetland que es de 4,86 mg/l, para estos valores la literatura indica que hay oxígeno suficiente para la mayor parte de especies. (Colegios Oficiales de Biólogos de Madrid y Castilla La Mancha, 2015)

La normativa de calidad ambiental y de descarga de efluentes para ser descargada directamente a un cuerpo receptor de agua dulce (tabla 12) y en cuerpos de agua marina (tabla 13) no indica un limitante para este parámetro. La planta piloto wetland mejora el nivel de oxígeno disuelto en el efluente.

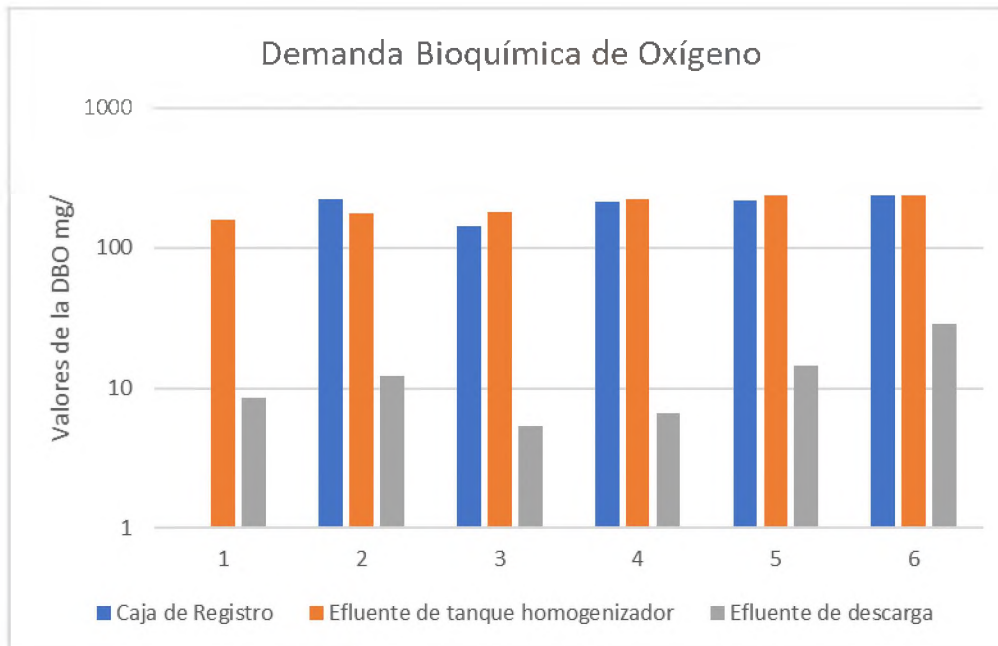
#### ➤ **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)**

Es un parámetro biológico que mide la cantidad de oxígeno disuelto que es requerido por los microorganismos para poder realizar la oxidación aerobia de la materia orgánica biodegradable que esta presente en el agua. (Avendaño, Balderramo, & Bardellini, 2010)

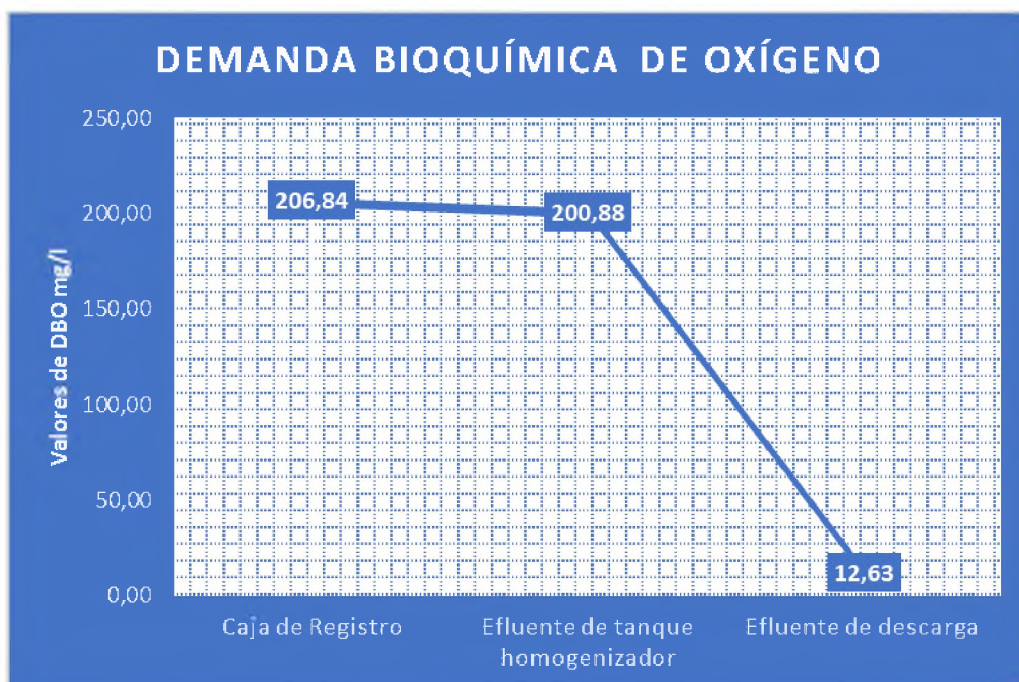
**Tabla 13 Valores de DBO**

<b>Muestra</b>	<b>Fecha</b>	<b>Caja de Registro</b>	<b>Efluente de tanque homogeneizador</b>	<b>Efluente de descarga</b>
1	18/01/2020	No se realizo	158,78	8,45
2	21/01/2020	223,65	176,75	12,15
3	24/01/2020	143,25	177,50	5,35
4	25/01/2020	212,90	221,25	6,58
5	31/01/2020	217,35	234,85	14,60
6	03/01/2020	237,05	236,15	28,63

La DBO<sub>5</sub> que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 143,25 a 237,05 mg/l, en el efluente del tanque homogeneizador está entre 158,78 a 236,15 mg/l y la DBO<sub>5</sub> efluente de la Planta Wetland está entre 5,35 a 28,63 mg/l.



**Ilustración 25** Valores de la Demanda bioquímica de Oxígeno a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland



**Ilustración 26** Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de Demanda Bioquímica de Oxígeno

Como se observa en la ilustración 26, el valor promedio de DBO<sub>5</sub> en la caja de registro es de 206,84 mg/l valor muy cercano al valor promedio que reporta Interagua del agua residual doméstica en la ciudad de Guayaquil; el efluente del tanque homogeneizador es de 200,88 mg/l y el efluente de la planta piloto wetland es de 12,63 mg/l.

El efluente de la planta piloto wetland cumple la normativa ambiental para ser descargada directamente a un cuerpo receptor, esta normativa indica que la DBO<sub>5</sub> debe llegar a valores de máximo 100mg/l para cuerpos de agua dulce (tabla 12) y de igual manera en cuerpos de agua marina (tabla 13). La planta piloto Wetland tiene una remoción de la DBO de 93,89% obteniendo una eficiencia alta.

### ➤ Coliformes Fecales

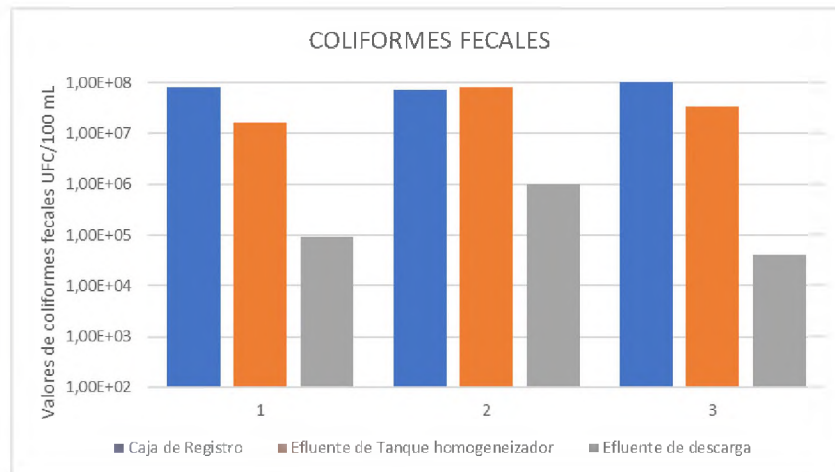
Los coliformes fecales son bacterias encontradas en el intestino de seres humanos y animales de sangre caliente.

**Tabla 14 Valores por medición por Técnica de Filtración de Membrana - m-FC Medio para Coliformes Fecales**

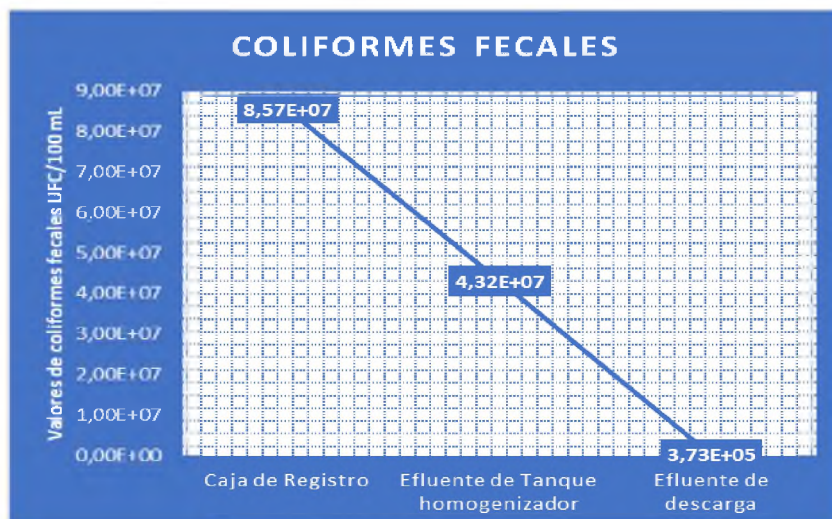
	Caja de Registro	Efluente de Tanque homogeneizador	Efluente de descarga
28/1/2020	8,20E+07	1,60E+07	9,20E+04
31/1/2020	7,30E+07	8,00E+07	9,86E+05
7/2/2020	1,02E+08	3,37E+07	4,04E+04

La cantidad de coliformes fecales que ingresan a la planta piloto Wetland está entre  $8,20 \times 10^7$  a  $1,02 \times 10^8$  UFC/100 ml valores aproximados a un valor tipo de agua residual doméstica, el efluente del tanque homogeneizador está entre  $1,60 \times 10^7$  a  $8,00 \times 10^7$  UFC/100 ml y en el efluente de la planta wetland está entre  $4,04 \times 10^4$  a  $9,86 \times 10^5$  UFC/100 ml.





**Ilustración 27 Valores de Coliformes Fecales a lo largo del proceso de muestreo la planta piloto Wetland.**



**Ilustración 28 Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Coliformes Fecales**

Como se puede observar en la ilustración 28 se obtuvieron los resultados del comportamiento promedio de coliformes fecales donde la eficiencia de remoción es de un 99.56%, aunque no ha logrado ser apta para ser descargada a un cuerpo de agua dulce ni marino las cuales indican que debe tener una remoción del 99,9% Se ha logrado una buena remoción durante todo su proceso por medio del sistema Wetland.

**Tabla 15 Comparación de efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Wetland con la Normativa Ambiental (Anexo: tabla 12 y tabla 13)**

Parámetros	Unidades	EFLUENTE PLANTA PILOTO	NORMA PARA CUERPOS DE AGUA DULCE	NORMA PARA CUERPOS DE AGUA MARINA	OBSERVACIONES
DBO	mg/l	12,63	100	100	Cumple
Sólidos Suspendidos	mg/l	8,43	100	100	Cumple
Sólidos Sedimentables	ml/l	0	< 1	-	Cumple
Sólidos Totales	mg/l	786,23	Hasta 1600	-	Cumple
Sólidos Disueltos	mg/l	777,8	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg/l	5,2	-	-	-
Coliformes Fecales	% de remoción	99,56	Remoción $\geq$ al 99,9 %	Remoción $\geq$ al 99,9 %	No Cumple
Temperatura	°C	25,61	< 35	< 35	Cumple
pH	-	7,03	5 a 9	6 a 9	Cumple
Conductividad	$\mu$ s/cm	1574,6	-	-	-

## **5.2. Análisis de eficiencia en los aspectos técnicos, operacionales y económicos de la PTAR**

Para llegar a una eficiencia adecuada hay que tener en cuenta aspectos técnicos, operaciones y económicos. Una planta de tratamiento de aguas residuales como bien es conocido se debe tener una adecuada operación en procesos individuales de origen físico, químico y biológico o a su vez la combinación de los mismos, que al trabajar de manera conjunta buscan estabilizar parámetros del agua residual para que esta pueda ser vertida a un cuerpo de agua cercano sin afectar tanto la vida humana como la vida acuática, en si el medio ambiente; en la actualidad existen diversos criterios para la selección de una PTAR entre estos suele predominar los sistemas modernos sistematizados que llegan a representar un valor económico considerable otros criterios buscan un modelo convencional para el tratamiento de agua residual el cual en su esencia utiliza de procesos de depuración de manera biológica.

### **5.2.1. Aspectos técnicos**

Los aspectos técnicos son aquellos que representan la determinación del tamaño óptimo de la planta, su localización óptima incluso legal (Baca, 2010).

La verificación de los aspectos técnicos del humedal artificial a partir de datos conocidos como es el caso del caudal que iba a ingresar a la planta

piloto Wetland, el cual iba a ser controlado por una válvula de compuerta, para ello se realizaron varias mediciones de caudal con agua residual en el cual se buscaba tener la mínima abertura para que las partículas de agua tengan mayor tiempo de retención en la planta piloto Wetland para asegurar que sean depuradas de manera eficiente.

**Tabla 16 Mediciones de Caudales de efluente de tanque homogeneizador**

	m3	T(sg)	Q(m3/sg)
<b>Q1</b>	0,00125	43	0,0000291
<b>Q2</b>	0,00125	42	0,0000298
<b>Q3</b>	0,00125	44	0,0000284
<b>Q4</b>	0,00125	43	0,0000291
<b>Qprom</b>	0,00125	43	0,0000291

El caudal de entrada a la planta piloto es el promedio de todas las mediciones realizadas dándonos 0.0000291 m<sup>3</sup>/sg, ya obtenido el caudal se procedió a realizar el dimensionamiento del Wetland para ello se utilizaron las siguientes fórmulas obtenidas de la investigación de Jure, (2018):

$$V_h = T_h \frac{Q}{n}$$

V<sub>h</sub> es el volumen en m<sup>3</sup> del humedal artificial

T<sub>h</sub> es el tiempo hidráulico de retención

Q es el caudal en m<sup>3</sup>/día

n es el número de unidades

El número de unidades se refieren a la cantidad de humedales artificiales que trabajaran en paralelo en nuestro caso este valor será 1 ya que solo se trabajara con un humedal artificial, se establece el tiempo de retención aproximado de 15 minutos esto se da a que el caudal que ingresa no es tan alto, dándonos un volumen del humedal artificial de 1.81 m<sup>3</sup> comparandolo con la planta Wetland el cual tiene un volumen de 1.44 m<sup>3</sup>.

Para los humedales artificiales de esta índole la pendiente toma un valor del 2%, con esto para las dimensiones del canal se pasa a la parte de la literatura revisada y las opiniones profesionales además de la localización, la

cual se puede ver en el anexo fotográfico nuestra planta piloto debido a todas estas razones el ancho de la planta piloto será de 1.20 m y la longitud de 4 m con esto y los estratos serán de 30 cm valor que al compararlo en el libro Calvo, (1999) nos presenta que eso es lo mínimo que puede tener un humedal artificial para su correcta operación.

Según el INEC, (2010) en las zonas rurales el promedio de habitantes ocupado en una vivienda es de 4.5, el caudal que ingresa a la planta piloto Wetland representa lo que podrían estar descargando 10 viviendas multifamiliares en una población rural que no siempre cuentan con sistema de alcantarillado, ni un sistema de tratamiento de aguas servidas. Esto se lo realizaría como una alternativa de tratamiento para dichos sectores que poseen bajos recursos.

En la parte legal de la planta piloto se utilizarán las regulaciones del Ministerio del Medio Ambiente, (2015).

### 5.2.2. Aspectos Operacionales

Los aspectos operacionales se centran en los procesos que se van a realizar en la planta piloto, además de los controles en puntos como la biomasa, caudales de salida y tiempos de retenciones reales.

Los procesos que se presentan en la planta piloto son de pretratamiento y tratamiento físico Biológico, por las rejillas que están en el afluente de la caja de registro y la malla que está presente en el tanque homogeneizador. Los caudales de salida de la planta piloto son:

**Tabla 17 Mediciones de Caudales de efluente de Planta Piloto Wetland**

	m3	T(sg)	Q(m3/sg)
<b>Q1</b>	0,001	420,36	0,0000024
<b>Q2</b>	0,001	426,3	0,0000023
<b>Q3</b>	0,001	390,12	0,0000026
<b>Q4</b>	0,001	438,36	0,0000023
<b>Qprom</b>	0,001	418,785	0,0000024



En los aspectos técnicos en base a investigaciones de otros autores se mostraba que el tiempo de retención hidráulica para la escala de estos sistemas era de 8 min, pero en la planta piloto fue de 15 min.

Para obtener la producción de biomasa de caña guadua, se contabilizó la cantidad de biomasa generada en 2 meses en la planta piloto instalada en la UCSG se escoge este periodo a pesar de que este tipo de plantas los resultados del desarrollo de biomasa se los logran ver después de 4 meses es decir más tiempo de operación en estos dos meses seleccionados está el tiempo de adaptación de la especie vegetal y el tiempo de operación con agua residual.

Se recolecto una de las ramas que se habían desarrollado de caña guadua en la planta piloto se recogió en esa superficie una cantidad de 408.29 gramos de caña guadua la cual media 2.60 m. A partir de este dato se proyecta la producción de caña guadua dando 1470.21 gr/m<sup>2</sup> durante los 2 meses con una producción de biomasa de 24.5 gr/m<sup>2</sup> por día.

La biomasa es uno de los principales problemas que se dan en los humedales artificiales ya que normalmente es desperdicio como es el caso de la lenteja de agua como muestra la investigación de Santacruz, (2018) o también como es el caso de la planta de tratamiento de aguas servidas Pantano Seco en la ciudad de Guayaquil donde no posee un control de la producción de biomasa de los lechugines pero en el caso de la Guadua puede dar mejores alternativas ya que en Ecuador es utilizada como material de construcción es decir se podría con el exceso de ellas cortarlas y venderlas logrando generar un ingreso propio de la planta de tratamiento.

### **5.2.3. Aspectos económicos**

La planta de tratamiento de aguas residuales se la construye teniendo en cuenta un bajo costo de inversión, esto está sujeto a aquel que tengo un menor costo de operación y mantenimiento ya que la obtención de recursos económicos es un recurso limitante cuando se trata de la operación y mantenimiento, por lo que muchas plantas de tratamiento terminan siendo desiertas por este rubro importante aunque su infraestructura se proyecte

con una vida útil de 20 años o más, influye en su mayoría la administración de la misma.

Las plantas de tratamiento de aguas residuales necesitan de un recurso constante, una planeación económica que tenga en cuenta desde su construcción los costos de operación y mantenimiento, así como también la existencia de repuestos o refacciones de equipos y la disponibilidad de apoyo técnico para dar mantenimiento preventivo o correctivo a sus equipos. (Noyola, Morgan-Sagastume, & Güereca, 2013)

Las plantas de tratamientos con sistema Wetland demuestran tener un menor costo de inversión para su construcción y operación presentando bajos costos de energías nulos ya que el efluente se va a conducir por gravedad, no se requiere de la implementación de equipos sistematizados para que funcione, el uso de implementos químicos como se suelen presentar en otros sistemas de tratamiento para este caso no es requerido debido a que las plantas acuáticas enraizadas se encargan de la depuración de las mismas y por el lado de costos de mantenimiento estos son bajos no se necesita de personal altamente capacitado o especializado para los Wetland de tal manera que los costos disminuyen de manera significativa, por lo que los costos de mantenimiento deben ser más que todos constantes y sin un mayor consumo energético ni operacional, sin embargo, la necesidad de un área extensa de terreno para ser ejecutado depende del tipo de planta acuática o enraizada que se vaya a utilizar para el tratamiento del agua residual.

## Capítulo 6

### 6. Conclusiones y recomendaciones

#### 6.1. Conclusiones

El cuidado del medio ambiente es una de las principales razones por las cuales se realiza el tratamiento de aguas residuales las cuales están compuestas por desechos orgánicos eh inorgánicos variados.

El sistema propuesto en la investigación proporciona una alternativa amigable con el medio ambiente, ya que al ser un sistema en el que se dan procesos biológicos y flujo por gravedad, el consumo de energía de la planta piloto Wetland fue bien bajo, además que no generó vectores contaminantes ni malos olores a la intemperie, no se requiere emplear productos químicos que aporten a los procesos de depuración ni personal especializado. Además la caña guadua generada como biomasa en la planta piloto Wetland podría tener múltiples usos contrario a lo que se da con otras plantas acuáticas.

La planta piloto wetland se instaló y operó durante 2 meses, tiempo en el cual se realizaron los monitoreos de calidad de agua residual, mediciones de caudal, determinación del tiempo de retención y cuantificación de biomasa.

Los sólidos suspendidos en la planta piloto wetland obtuvieron una eficiencia de remoción de 98,95%, con una descarga en el efluente de 8,43 mg/l, que con respecto a la norma de calidad de agua que indica un límite de 100mg/l. Con relación a la remoción de materia orgánica en términos de DBO se obtuvo una eficiencia del 93,89%, con valores en el efluente de la planta piloto wetland en promedio de 12,63 mg/l, valor que está muy por debajo de la normativa ambiental que indica que para descargas de efluentes de plantas de tratamiento sea en agua dulce o agua marina el límite máximo permisible es de 100 mg/l.

Respecto al parámetro de oxígeno disuelto la planta piloto wetland eleva el oxígeno de 0,92 mg/l en promedio en la caja de registro a 4,86 mg/l en el

efluente, por lo que genera una mayor probabilidad de que exista vida acuática.

En la planta piloto se monitorearon parámetros como: pH con un valor promedio en el efluente de 7,03 valor que indica un pH neutro, el límite máximo permisible debe estar entre 5 a 9 y para agua marina debe estar entre 6 a 9. Para el parámetro de conductividad se obtuvo un promedio de 1574,60  $\mu\text{s/cm}$  en el efluente. La temperatura del efluente de la planta piloto fue de 25,61 °C, y la norma de calidad de agua que indica un límite de 35°C para cuerpos de agua dulce y agua marina.

En relación con los sólidos sedimentables se obtuvo un valor promedio en el efluente de 0 ml/l, demostrando que la planta piloto wetland tiene una eficiencia de remoción del 100%, además de cumplir satisfactoriamente con la normativa ambiental que indica que para descargas de efluentes de plantas de tratamiento en agua dulce debe ser menor a 1ml/l, para agua marina no indica un limitante para este parámetro. Los sólidos disueltos tienen un valor promedio en el efluente de la planta piloto wetland de 777,40 mg/l, valor que indica un incremento en la planta piloto Wetland sin embargo en la normativa no existe un limitante para este parámetro.

De acuerdo con los resultados del parámetro de coliformes fecales en el efluente de la planta piloto wetland existe una eficiencia de remoción del 99,56% pero no ha logrado ser apta para ser descargada a un cuerpo de agua dulce ni marino las cuales indican que debe tener una remoción del 99,9%.

La generación de biomasa fue de 24.5 gr/m<sup>2</sup> por día, comparada con otras plantas acuáticas que se utilizan para el tratamiento de aguas residuales es bajo.

## **6.2. Recomendaciones**

Las plantas de tratamiento convencionales para poder realizar un óptimo proceso de depuración de aguas residuales necesitan un alto costo de inversión, requieren de personal especializado, altos costos de operación y mantenimiento, por insumos químicos, costos de energía; mientras que los Sistemas Wetland son sistemas eficientes a bajo costo y amigables con el ambiente, por lo que se recomienda continuar con la investigación de la caña

guadua *Angustifolia* como planta acuática enraizada para la depuración de aguas residuales.

Estas alternativas de sistemas de tratamiento pueden ser consideradas para poblaciones de pocas habitantes, por su simple manejo y sus excelentes resultados en procesos de depuración.

## Referencias Bibliográficas

Aguamarket y Cia. Ltda. (15 de Noviembre de 2017). *Aguamarket*. Obtenido de

<https://www.aguamarket.com/diccionario/terminos.asp?Id=1187&termino=materia+inorg%E1nica>

Avendaño, S., Balderramo, M., & Bardellini, L. (Marzo de 2010). *Evaluación de la capacidad de remoción de bacterias coliformes fecales y demanda bioquímica de oxígeno antes y después de la descarga del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Portoviejo*. Obtenido de Universidad Técnica de Manabí:

<http://186.46.160.229/bitstream/123456789/5126/1/IQ2012-0001-0025.pdf>

Canales, A. (2010). *Evaluación de la biomasa y manejo de Lemna gibba (Lenteja de agua) en la bahía interior del lago Titicaca, Puno*.

Obtenido de Ecología Aplicada:

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162010000200004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162010000200004)

Carvajal, S. (28 de Enero de 2018). *Intagri*. Obtenido de <https://www.intagri.com/>

Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas* .

Obtenido de Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso:  
<http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm>

Celis, J., Junod, J., & Sandoval, M. (2005). *Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas*. Obtenido de Theoria: <http://biblioteca.cehum.org/handle/123456789/405>

Cenagua. (2018). *Operación y mantenimiento de planta de potabilización de agua*. Cinara: 2a Edición Ministerio de Desarrollo Económico.

Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico del Agua . (2014). *Características de las aguas residuales*. Salamanca: Publicaciones de la "UNIVERSIDAD DE SALAMANCA".

Chong-Qui, Á. (17 de Marzo de 2017). *Análisis de las concentraciones de sedimentos y porcentaje de remoción de DBO y SST en muestras de agua del río Daule utilizando un modelo de tanque sedimentador como pre-tatamiento para el diseño de un sistema de agua potable*. Obtenido de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/7664>

Colegios Oficiales de Biólogos de Madrid y Castilla La Mancha. (14 de 02 de 2015). *Programa Nuestro Medio (AULA VERDE)*. Madrid: Servicios de Publicación COBCM/COBCLM.

Cronk, J., & Fennessy, S. (2016). *Wetland plants: biology and ecology*. Washington D.C: Lewis Publisher.

del C Cortés-Lara, M. (2003). Importancia de los coliformes fecales como indicadores de contaminación en la Franja Litoral de Bahía de Banderas, Jalisco-Nayarit. *Revista Biomédica*, 121-122.

- Delgadillo, O., Camacho, A., & Pérez, L. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por medio de Humedales Artificiales*. Bolivia: Servicio de Publicaciones del centro de agua de la UMSS.
- Espigares, & Perez. (1985). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas*. Granada: Servicio de publicaciones de Granada.
- Garcia, D. (10 de Diciembre de 2016). *Cultura científica*. Obtenido de <https://culturacientifica.com/2019/11/28/que-es-el-ph/>
- Gil Rodriguez, M. (Diciembre de 1998). *Demanda bioquímica de oxígeno de efluentes con productos xenobióticos*. Obtenido de Ingeniería del agua: <https://iwaponline.com/IA/article-pdf/5/4/47/576564/ia19982771.pdf>
- Glas, C. (2000). *Evaluación de factores físicos, químicos y biológicos en el desempeño de lagunas de Duckweed, con y sin pretratamiento anaerobio en el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Santiago de Cali: Servicios de publicaciones de la Universidad del Valle.
- Goyenola, G. (Junio de 2007). *Red de Monitoreo Ambiental Participativo de Sistemas Acuáticos*. Obtenido de [http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso\\_2007/cartillas/tematicas/Determinacion%20del%20pH.pdf](http://imasd.fcien.edu.uy/difusion/educamb/propuestas/red/curso_2007/cartillas/tematicas/Determinacion%20del%20pH.pdf)
- Grupo AGQ Labs. (2019). *Análisis de coliformes fecales*. Valladolid: Servicio de publicaciones Alkemi.



- Herrera, H. (2018). *Repositorio Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierta*. Obtenido de <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3218>
- INEC. (2010). *Censo Poblacional Ecuador*. Guayaquil: Servicios de Publicaciones INEC.
- Izembart, H., & Le Boudec, B. (2005). *Waterscapes : El tratamiento de aguas residuales mediante sistemas vegetales*. Barcelona: Gustavo Gili.
- Jermaine, C. (2008). *Scalable approximate query processing with the DBO engine*. California: ACM Transactions on Database Systems.
- Jure, J. (2018). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en la parroquia La Liberia, Canton Machala*. Machala: Servicios de Publicaciones UTMACH.
- Laboratorio de Tecnología Educativa. (10 de Marzo de 2018). *USAL*. Obtenido de Universidad de Salamanca: <https://fundacion.usal.es/>
- Lorenzo, E., Ocaña, V., & Fernández, L. (2009). Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. *Revista CENIC*, 35-44.
- Martelo, J., & Lara, J. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales: una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia*, 221-243.
- Ministerio del medio ambiente. (2015). *Texto Unificado de Legislación Secundaria de medio ambiente*. Quito: Servicio de Publicaciones del medio ambiente.

- Morales, E., & Arujol, I. (2004). En la remoción de nitrógeno, fósforo y DQO de aguas residuales urbanas de Maracaibo, Venezuela. *Boletín del Centro de Investigaciones Biológicas*, 94-108.
- Morales, G., Lopez, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en agua servida. *Theoria*, 41. Obtenido de Humedales construidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas.
- Noyola, A., Morgan-Sagastume, J., & Güereca, L. (2013). Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Guía de Apoyo para Ciudades pequeñas y medianas*, 42.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Ministerio del Ambiente. Lima: Servicio de publicaciones del ministerio del ambiente Peru. Recuperado el 30 de 11 de 2019
- Quinde, C. (21 de 6 de 2017). *Evaluación del efecto depurador de Guadua angustifolia Kunth de Aguas Residuales de la ciudad de Jaén - Cajamarca*. Obtenido de Universidad Nacional de Cajamarca: <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1708>
- Rabat, J. (2019). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. Alicante: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Alicante.

- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutierrez, L. (2017). Patógenos e Indicadores Microbiológicos da qualidade da água pro consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30.
- Santacruz, L. (2018). *Evaluación del efecto de las plantas acuáticas en el tratamiento de aguas servidas*. Guayaquil: Servicio de publicaciones UCSG.
- Secretariado Alianza para el agua . (2008). *Manual de depuración de aguas residuales Urbanas*. London: Cyclus print.
- Seoanez Calvo, M. (1999). *Aguas residuales: Tratamiento por humedales artificiales, fundamentos científicos, tecnologías, diseño*. Madrid: Mundi-Prensa.
- Severiche, C., Castillo, M., & Acevedo, L. (2013). *Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas*. Cartagena de Indias: Servicio de Publicaciones eudmed.
- Vásquez, L., & Gonzáles, O. (2017). *Modelación hidráulica de humedales artificiales de flujo sub-superficial horizontal*. Habana: Servicio de Pulicaciones de la Universidad Tecnológica de La Habana José Antonio Echeverría.

## Anexos

### Anexo 1: Norma calidad ambiental y de descarga de efluentes al recurso agua, Anexo 1 del libro VI

Tabla 12: Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aldehídos		mg/l	2,0
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Arsénico total	As	mg/l	0,1
Bario	Ba	mg/l	2,0
Boro total	Ba	mg/l	2,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,02
Cianuro total	CN	mg/l	0,10
Cloro Activo	Cl	mg/l	0,50
Cloroformo	Extracto carbón cloroformo ECC	mg/l	0,10
Cloruros	Cl-	mg/l	1000,0
Cobre	Cu	mg/l	1,00
Cobalto	Co	mg/l	0,50
Coliformes Fecales	Nmp/100ml		Remoción > al 99,9%
Color real	Color real	Unidades de color mg/l	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O.5	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250,0
Dicloroetileno	Dicloroetileno	mg/l	1,0
Estaño	Sn	mg/l	5,0

Tabla 13: Límites de descarga a un cuerpo de agua marina

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Hierro total	Fe	mg/l	10,0
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Totales de Petróleo			
Manganeso total	Mn	mg/l	2,0
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,005
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/l	10,0
Nitrógeno Total Kjeldahl	N	mg/l	15,0
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,2
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Selenio	Se	mg/l	0,1
Sólidos Sedimentables		ml/l	1
Sólidos Suspendedos Totales		mg/l	100
Sólidos totales		mg/l	1600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	mg/l	1000
Sulfitos	SO <sub>3</sub>	mg/l	2
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Tetracloruro de carbono	Tetracloruro de carbono	mg/l	1,0
Tricloroetileno	Tricloroetileno	mg/l	1,0
Vanadio		mg/l	5,0
Zinc	Zn	mg/l	5,0

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas		mg/l	0,3
Arsénico total	As	mg/l	0,5
Alkil mercurio		mg/l	<b>No detectable</b>
Aluminio	Al	mg/l	5,0
Bario	Ba	mg/l	5,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,20
Cianuro total	CN-	mg/l	0,20
Cobre	Cu	mg/l	1,00
Cobalto	Co	mg/l	0,50
Coliformes Fecales	Nmp/100ml		Remoción > al 99,9%
Color real	Color real	Unidades de color mg/l	* Inapreciable en dilución: 1/20
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,20
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,50
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O.5	mg/l	100,0
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/l	250,0
Fósforo Total	P	mg/l	10,0
Fluoruros	F	mg/l	5,0
Hidrocarburos	TPH	mg/l	20,0
Totales de Petróleo			
Materia flotante	<b>Visibles</b>		<b>Ausencia</b>
Mercurio total	Hg	mg/l	0,01
Níquel	Ni	mg/l	2,0
Nitrógeno Total	N	mg/l	40,0
Kjedahl			
Plata	Ag	mg/l	0,1
Plomo	Pb	mg/l	0,5
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio	Se	mg/l	0,2

<b>Parámetros</b>	<b>Expresado como</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite máximo permisible</b>
Sólidos Suspendidos Totales		mg/l	100
Sulfuros	S	mg/l	0,5
Organoclorados totales	Concentración de organoclorados totales	mg/l	0,05
Organofosforados totales	Concentración de organofosforados totales	mg/l	0,1
Carbamatos totales	Concentración de carbamatos totales	mg/l	0,3
Temperatura	°C		< 35
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Zinc	Zn	mg/l	10,0

## Anexo 2: Ilustración 26 y 27

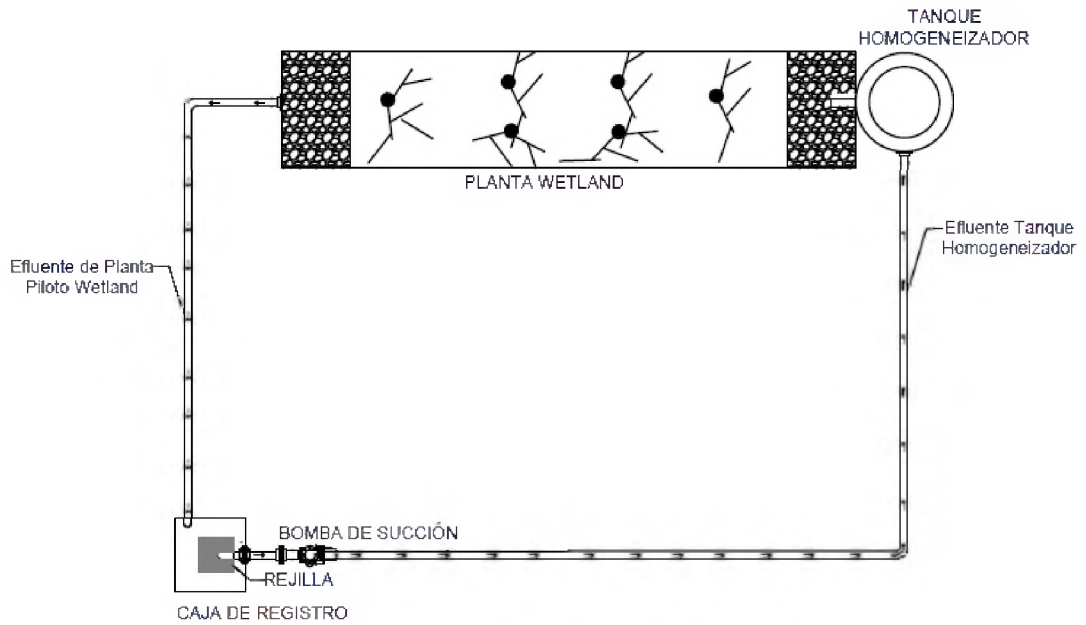


Ilustración 29 Planta Piloto con Caña Guadua. Vista en Planta.

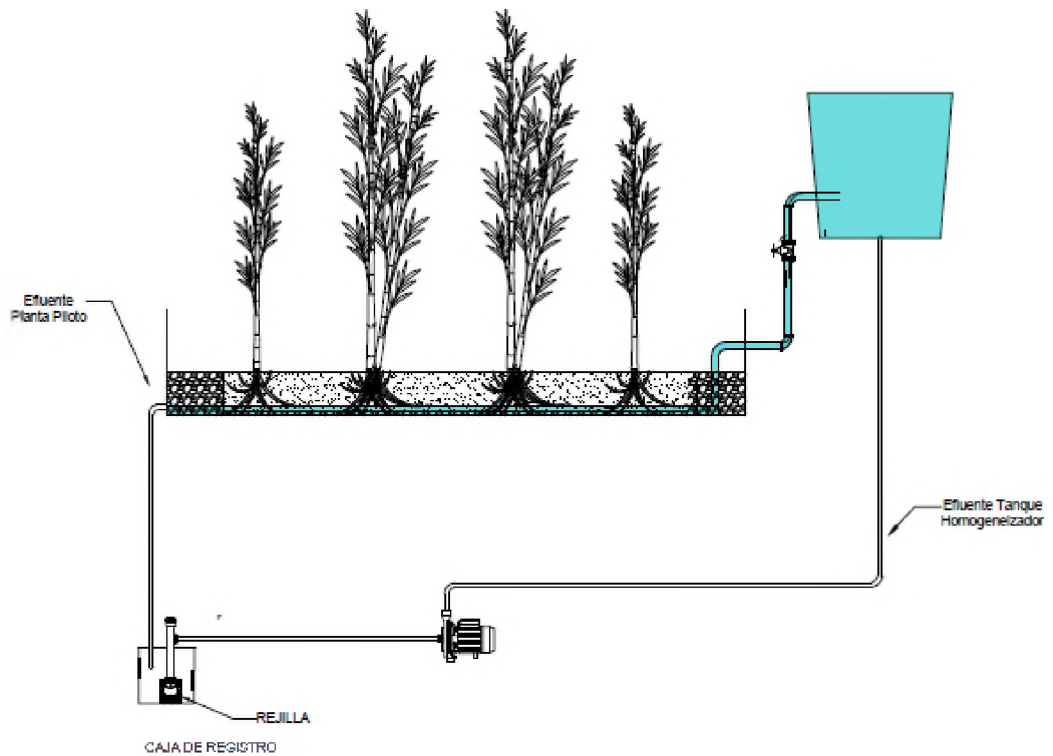


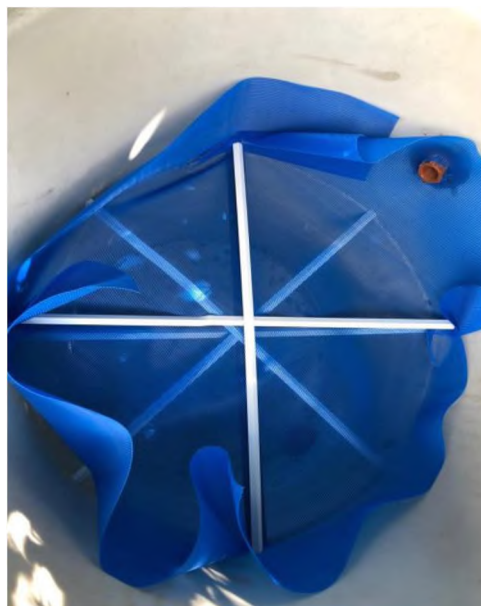
Ilustración 30: Planta Piloto con Caña Guadua. Vista Transversal.



### Anexo 3: Registro fotográfico



Fotografía 1 Torre para el almacenamiento de aguas residuales.



Fotografía 2 Pretratamiento para disminución de sólidos suspendidos.



**Fotografía 3: Torre y tanque homogeneizador para el almacenamiento de aguas residuales.**



**Fotografía 4: Planta Piloto.**



**Fotografía 5: Impermeabilización de Planta Piloto.**



**Fotografía 6: Colocación de Arena en Planta Piloto.**





**Fotografía 7: Colocación de Vinil sobre el impermeabilizante de la Planta Piloto.**



**Fotografía 8: Colocación de los materiales filtrantes en la Planta Piloto.**



**Fotografía 9: Colocación de Caña Guadua.**



**Fotografía 10: Planta Piloto con Tanque homogeneizador.**





**Fotografía 11: Sistema de Bombeo hacia el tanque homogeneizador.**



**Fotografía 12: Obtención de muestra de Efluente de Planta Piloto.**



**Fotografía 13: Obtención de muestras de la Planta Piloto.**



**Fotografía 14: Realización de ensayos de Sólidos Suspensos.**



**Fotografía 15: Peso del Filtro Seco.**



**Fotografía 16: Proceso de obtención de Sólidos Suspendedos.**





Fotografía 17: Obtención de Sólidos Suspensos.



Fotografía 18: Muestra colocada al horno a 105 °C.



**Fotografía 19: Muestra de Caja de Registro.**



**Fotografía 20: Prueba de Sólidos Sedimentables.**



**Fotografía 21: Técnica de muestreo con equipo Hach de los cuales se miden parámetros como pH, temperatura, conductividad, sólidos disueltos.**



**Fotografía 22: Realización de Ensayo de DBO<sub>5</sub>.**





Fotografía 23: Instrumentos de laboratorio usados para la obtención del DBO.



Fotografía 24: Extracción de muestra a colocar en botellas winkler de ensayos de DBO.



**Fotografía 25: Medición del oxígeno inicial del DBO.**



**Fotografía 26: Colocación de medio de cultivo en Cajas Petri.**





**Fotografía 27: Colocación de Filtro para realización de Prueba de Coliformes Fecales.**



**Fotografía 28: Solución con muestra de Caja de Registro, efluente de tanque homogeneizador, y efluente de descarga.**



**Fotografía 29: Resultados de Coliformes fecales después de 24 h.**



## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Nosotros, **Jacho Gámez, Margarita Isabel, con C.C: # 0803606953 y Marmol Acosta, Xavier Emmanuel, con C.C: # 1207882927** autores del trabajo de titulación: **EVALUACIÓN DE UN SISTEMA WETLAND CON CAÑA GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS** previo a la obtención del título de **Ingeniero Civil** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **26 de febrero de 2020**

f. \_\_\_\_\_  
**Jacho Gámez, Margarita Isabel**  
0803606953

f. \_\_\_\_\_  
**Marmol Acosta, Xavier Emmanuel**  
1207882927





## REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA

### FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN

TEMA Y SUBTEMA:	EVALUACIÓN DE UN SISTEMA WETLAND CON CAÑA GUADUA PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS SERVIDAS.		
AUTOR(ES)	Jacho Gámez, Margarita Isabel Marmol Acosta, Xavier Emmanuel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ing. Glas Cevallos, Clara Catalina M.Sc.		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad de Ingeniería		
CARRERA:	Ingeniería Civil		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Civil		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	26 de febrero de 2020	No. PÁGINAS:	114
ÁREAS TEMÁTICAS:	Ingeniería Sanitaria, Ingeniería Civil, Ingeniería Ambiental e Ingeniería Agrónoma		
PALABRAS CLAVES/KEYWORDS:	Angustifolia, Wetland, Aguas residuales, Planta Piloto, Microbiológicos, depuración.		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>La presente investigación tiene como objetivo proporcionar nuevas alternativas para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, que sean amigables con el medio ambiente y presentar una buena eficiencia de depuración del agua residual en parámetros físicos, parámetros biológicos y microbiológicos de tal manera que cumplan con las características de una descarga a un cuerpo de agua dentro de los límites de la norma TULSMA, norma la cual regula los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de agua o sistemas de alcantarillado.</p> <p>Para la aseveración de dicha premisa se realizó el montaje de una planta piloto Wetland con caña Guadua de la familia Angustifolia la cual trata parte de la descarga de aguas residuales de la facultad de Ingeniería de la Universidad Católica Santiago de Guayaquil, el sistema Wetland está compuesto por tres partes esenciales captación, conducción y regulación finalizando con la descarga de la planta piloto; para la regulación del agua servida se utilizó un tanque homogeneizador de 300 litros; de la misma manera los análisis de muestra para poder comprobar la efectividad de depuración del sistema.</p> <p>Para una mejor demostración de los resultados se realizaron gráficos y tablas comparativas para poder denotar la eficiencia de remoción en cada parámetro verificando que estos se encuentran debajo de los que la norma TULSMA especifica en cada uno de sus enunciados.</p> <p>Para finalizar se mencionan las diferentes ventajas que tendría la implementación de un sistema Wetland como el propuesto en esta investigación para tratar las aguas residuales.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	<b>Teléfono:</b> +593-980797682 +593-980658497	<b>E-mail:</b> <a href="mailto:xaviermaarmol@gmail.com">xaviermaarmol@gmail.com</a> <a href="mailto:margaritajacho@gmail.com">margaritajacho@gmail.com</a>	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	<b>Nombre: Glas Cevallos, Clara Catalina</b> <b>Teléfono: +593-4-2206956</b> <b>E-mail: clara.glas@cu.ucsg.edu.ec</b>		



**Presidencia  
de la República  
del Ecuador**



**Plan Nacional  
de Ciencia, Tecnología,  
Innovación y Saberes**



**SENESCYT**

Secretaría Nacional de Educación Superior,  
Ciencia, Tecnología e Innovación

**SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA**

<b>Nº. DE REGISTRO (en base a datos):</b>	
<b>Nº. DE CLASIFICACIÓN:</b>	
<b>DIRECCIÓN URL (tesis en la web):</b>	