

DOI: <https://doi.org/10.46296/ig.v7i13.0159>

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

### EVALUATION OF A WETLAND SYSTEM WITH GUADUA CANE FOR WASTEWATER TREATMENT

Mármol-Acosta Xavier Emmanuel <sup>1</sup>; Jacho-Gámez Margarita Isabel <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad de Guayaquil. Guayaquil, Ecuador.

Correo: xavier.marmola@ug.edu.ec. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9738-2276>

<sup>2</sup> Investigador Independiente. Guayaquil, Ecuador.

Correo: margaritajacho@gmail.com. ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-9637-753X>

#### 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 clave:** 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 TUISMA 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

#### Información del manuscrito:

**Fecha de recepción:** 18 de octubre de 2023.

**Fecha de aceptación:** 19 de diciembre de 2023.

**Fecha de publicación:** 10 de enero de 2024.



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.

**Keywords:** Angustifolia, Wetland, Wastewater, Piilot Plant, Microbiological, Purification.

## 1. Introducción

En el mundo contemporáneo, el tratamiento adecuado de las aguas residuales se ha convertido en una preocupación ambiental crucial debido a los crecientes desafíos asociados con la contaminación del agua y la preservación de los recursos hídricos. Las aguas residuales, definidas como aquellas cuyas características han sido alteradas por diversas actividades humanas, representan un desafío importante para la salud pública y la sostenibilidad ambiental. Como señalan Espigares y Pérez (1985), estas aguas pierden las condiciones mínimas para ser aprovechadas como fuentes de abastecimiento de agua sin un tratamiento adecuado.

Dentro de la clasificación de las aguas residuales, se destacan tres tipos principales: domésticas, industriales y urbanas. Las aguas residuales domésticas, provenientes de actividades residenciales y comerciales, contienen una variedad

de contaminantes orgánicos e inorgánicos, como se menciona en el estudio de Lorenzo, Ocaña y Fernández (2009). Por otro lado, las aguas residuales industriales, originadas en procesos industriales, presentan una diversidad de contaminantes que varían según el tipo de actividad industrial, como describe el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (2015). Finalmente, las aguas residuales urbanas resultan de la mezcla de las anteriores con aguas pluviales, presentando desafíos adicionales para su tratamiento, como indica Senagua (2018).

Las características de las aguas residuales, tanto físicas como químicas y microbiológicas, son elementos fundamentales a considerar en su tratamiento. Estos parámetros proporcionan información crucial sobre la naturaleza y el grado de contaminación del agua residual, como se detalla en diversas fuentes bibliográficas (Espigares & Pérez,

1985; Jermaine, 2008; Morales & Arujol, 2004; Ríos, Agudelo, & Gutiérrez, 2017).

El tratamiento de las aguas residuales es esencial para evitar los efectos negativos en los cuerpos de agua receptores, como la disminución del contenido de oxígeno, el aporte descontrolado de nutrientes y los riesgos para la salud pública. En este contexto, se han desarrollado diversos procesos de tratamiento que buscan eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. Estos procesos incluyen etapas de pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario, como se describe en diferentes investigaciones (Secretariado Alianza para el Agua, 2008; Delgadillo, Camacho, & Pérez, 2010).

Además de los métodos convencionales de tratamiento, en las últimas décadas han surgido tecnologías alternativas, como los humedales artificiales, que ofrecen una solución innovadora y sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Estos sistemas, basados en procesos naturales de depuración, se han convertido en

una opción cada vez más viable para la recuperación y reutilización del agua residual, como se discute en estudios recientes (Martelo & Lara, 2012; Morales, López, Vera, & Vidal, 2013).

En este contexto, este artículo se propone explorar el papel de los humedales artificiales de flujo horizontal en el tratamiento de aguas residuales, centrándose en su diseño, funcionamiento, ventajas y desventajas. Para ello, se analizará la literatura existente sobre el tema y se presentarán ejemplos concretos de aplicaciones exitosas de estos sistemas en diversas regiones.

## **2. Materiales y métodos**

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.

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 Rodríguez, 1998).

Según Jiménez-Domínguez (2000) los métodos cualitativos parten del supuesto básico de que el mundo social está construido de significados y símbolos. De ahí que la intersubjetividad sea una pieza clave de la investigación cualitativa y punto de partida para captar reflexivamente los significados sociales. La realidad social así vista está hecha de significados compartidos de manera intersubjetiva. El objetivo y lo objetivo es el sentido intersubjetivo que se atribuye a una acción. La investigación cualitativa puede ser vista como el intento de obtener una comprensión profunda de los significados y definiciones de la situación tal como nos la presentan las personas, más que la producción de una medida cuantitativa de sus características o conducta

El problema de acuerdo a algunos autores es que hay diversas visiones que se han considerado como tipos de investigación cualitativa (Tesch, 1990, ubica 26 clases) y las bases epistemológicas son variadas. Sin

embargo, de acuerdo a Mertens (2005) el constructivismo es probablemente el paradigma que ha tenido mayor influencia en el enfoque cualitativo, aunque algunos no estén de acuerdo. (Citado por Hernández, Fernández & Baptista, 2006).

### 3. Resultados y discusión

Se realizaron análisis de muestras tomadas en una caja de registro, el efluente de un tanque homogeneizador y el efluente de una planta piloto Wetland, con el fin de evaluar el comportamiento del sistema Wetland con caña Guadua de la Familia Angustifolia. Se monitorearon varios parámetros, incluyendo DBO, coliformes fecales, pH, sólidos totales, disueltos y suspendidos, entre otros. Los resultados se compararon con las normas de calidad ambiental y de descarga de efluentes para cuerpos de agua dulce y marina, y se observó que el pH de las muestras analizadas estaba dentro de los límites permitidos según estas normas (García, 2016).

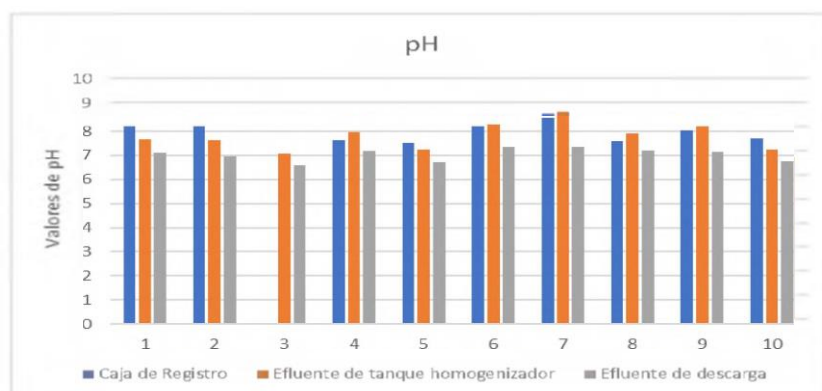
**Tabla 1.** Valores de pH

| 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                 |

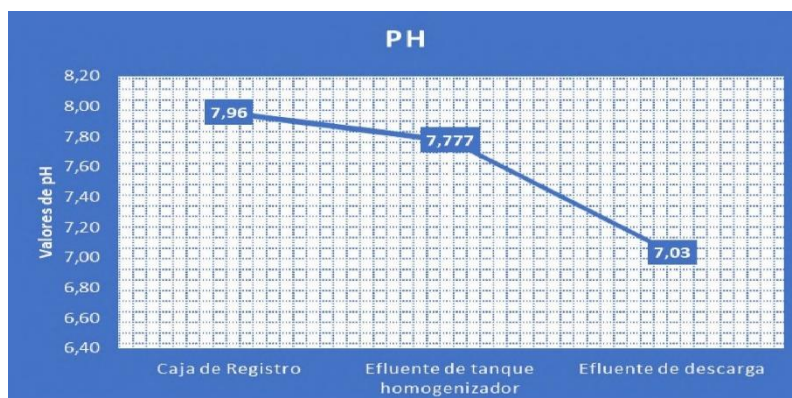
El pH que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 7,53 a 8,22, el pH efluente del tanque homogeneizador está entre 7,07 a 8,63 y el pH

efluente de la planta wetland está entre 6,59 a 7,34; en los tres puntos de monitoreo se mantiene en un pH neutro.

**Figura 1.** Valores de pH a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.



**Figura 2.** Valores promedios de las muestras de Caja de Registro, Tanque Homogeneizador y efluente de Planta piloto Wetland



Como se observa en la figura 2, 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 8) y entre valores de 6 - 9 en cuerpos de agua marina (tabla 9). La planta piloto Wetland estabiliza los valores de pH a valores cercanos a 7.

#### • Conductividad

La conductividad, medida con unidades de micro Siemens/cm (pS/cm), es la capacidad que suelen tener los líquidos de conducir o transmitir calor (Lenntech European Head Office, 2020).

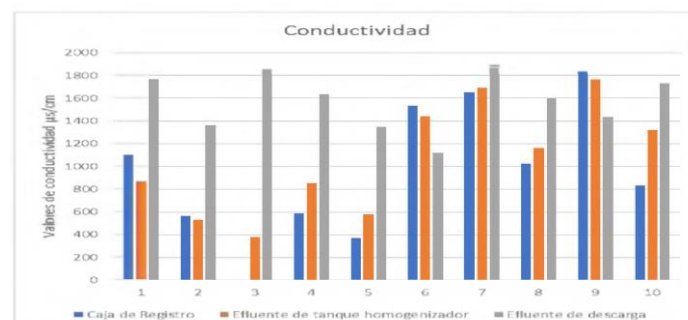
**Tabla 2.** Valores de la conductividad

| Muestra   | Fecha           | Caja de Registro | Efluente de tanque homogeneizador | 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                 |
| <b>10</b> | <b>6/2/2020</b> | <b>832</b>       | <b>1320</b>                       | <b>1732</b>          |

El nivel de conductividad que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 370 a 1836 ps/cm, la conductividad en el efluente del tanque

homogeneizador está entre 383 a 1763 ps/cm y la conductividad en el efluente de la planta wetland está entre 1122 a 1895 ps/cm.

**Figura 3.** Valores de conductividad a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto.



**Figura 4.** Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de Conductividad



Como se observa en la figura 4, el valor promedio de conductividad en el afluente de la caja de registro es de 1056,22 ps/cm; el efluente del tanque homogeneizador es de 1059,60 ps/cm y el efluente de la planta piloto wetland es de 1574,60 ps/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).

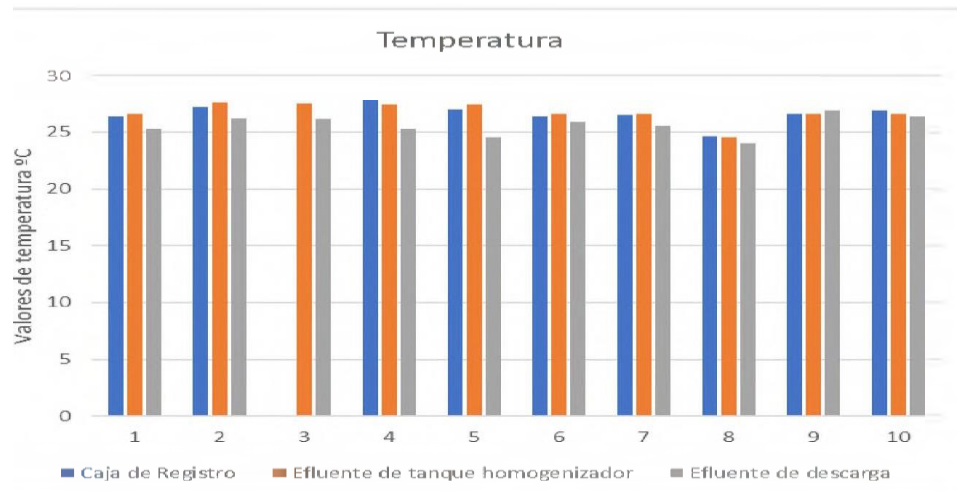
**Tabla 3.** Valores de Temperatura

| 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                 |

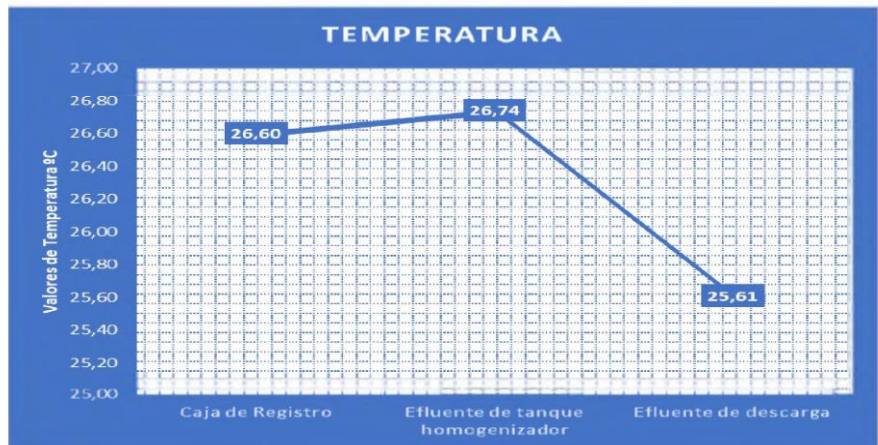
La temperatura con la que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 24,6 a 27,8 °C, la temperatura en el efluente del tanque homogeneizador

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.

**Figura 5.** Valores de temperatura a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetla.



**Figura 6.** Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de temperatura



Como se observa en la figura 6, 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 8) y de igual manera en cuerpos de agua marina (tabla 9).

• **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 mieras. El agua se evapora y el residuo se lleva hasta 180°C. El resultado se reporta en mg

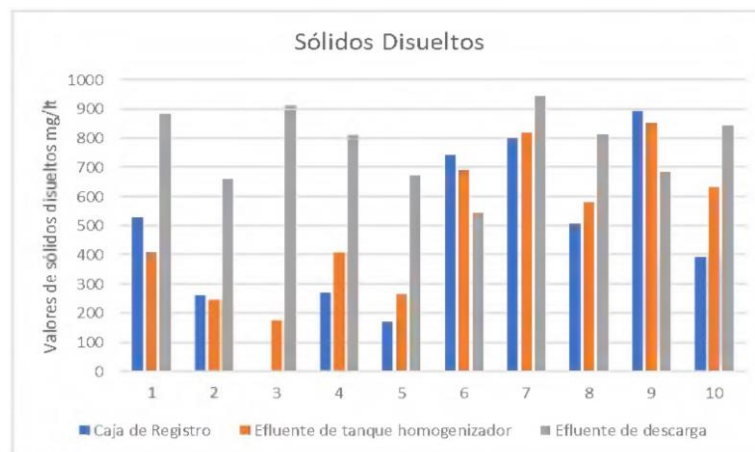
**Tabla 4.** Valores de Sólidos Disueltos

| 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                  |

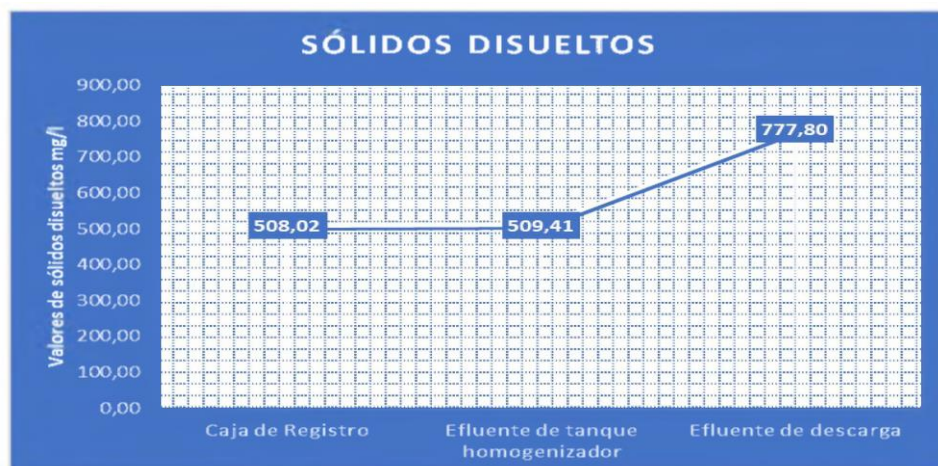
La cantidad de sólidos disueltos que ingresa a la planta piloto Wetland están entre 172,2 a 893 mg/l, los sólidos disueltos en el efluente del

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.

**Figura 7.** Valores de Sólidos Disueltos a lo largo del proceso de muestreo en el sistema Wetland.



**Figura 8.** 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.

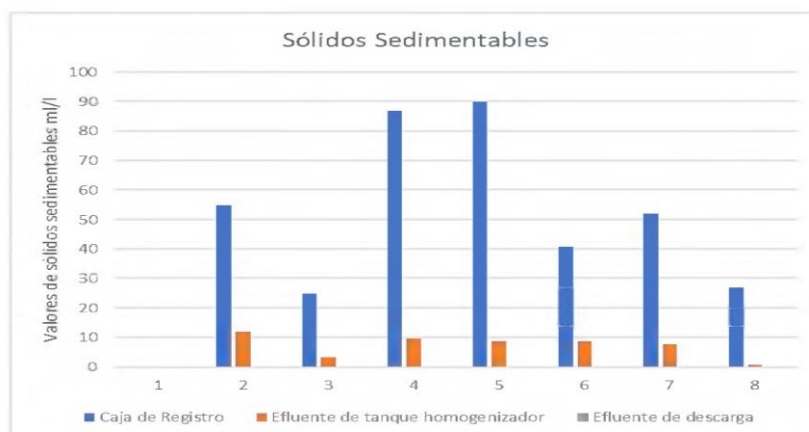
**Tabla 5.** Valor por medición directa de Sólidos sedimentables

| 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.

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



**Figura 10.** Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de sólidos sedimentables



Como se observa en la figura 10, 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 8) y no hay límite permisible en este parámetro para cuerpos de agua

marina (tabla 9). 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)

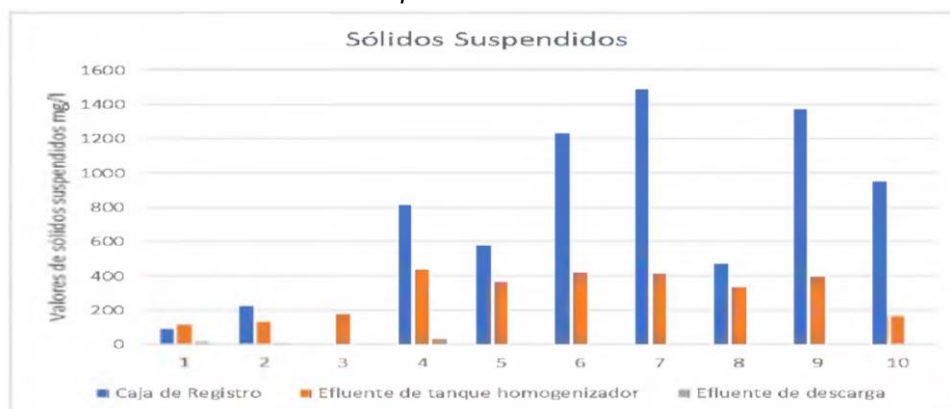
**Tabla 6.** Valores de Sólidos Suspendidos

| 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.

**Figura 11.** Valores de Sólidos Suspendidos a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland.



**Figura 12.** Comportamiento promedio del Sistema Wetland con respecto al parámetro de solidos suspendidos



Como se observa en la Figura 12, 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 8) y de igual manera en cuerpos de agua marina (tabla 9). 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**

suspendida, disuelta, o asentada en un líquido

Los sólidos Totales se definen como la materia sólida la cual está

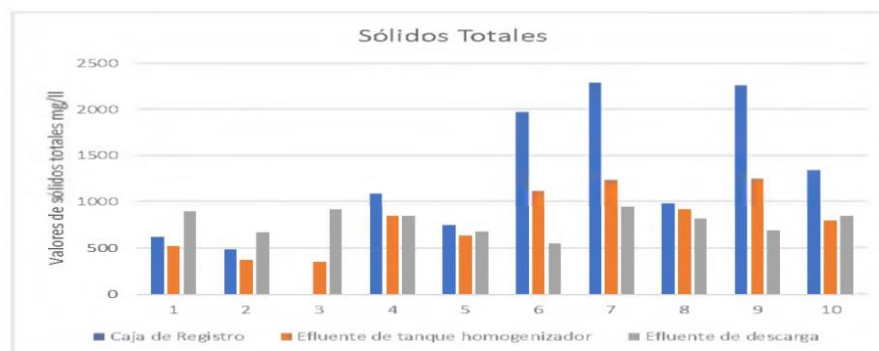
**Tabla 7.** Valores de la suma algebraica entre sólidos Suspendidos y Disueltos

| 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                  |

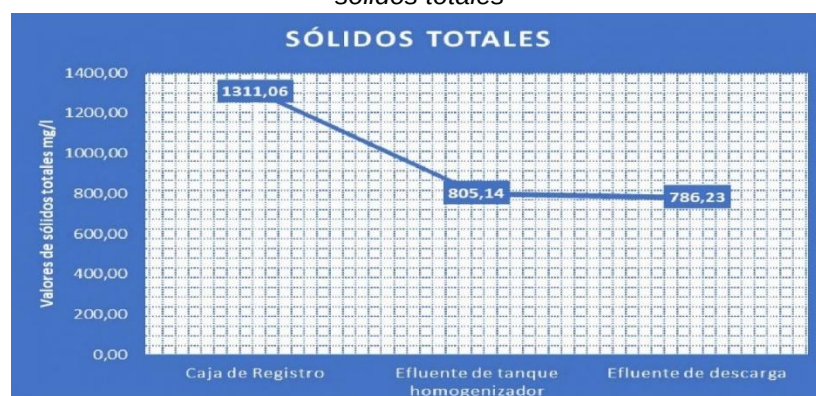
Los sólidos totales que ingresan a la planta piloto Wetland están entre 486 a 2289,5 mg/l en el efluente del tanque homogeneizador está entre

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.

**Figura 13.** Valores de Sólidos Totales a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland



**Figura 14.** Comportamiento promedio de la Planta Piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos totales



Como se observa en la figura 14, 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 8) y no hay límite permisible en este parámetro para cuerpos de agua marina (tabla 9).

• Oxígeno Disuelto

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

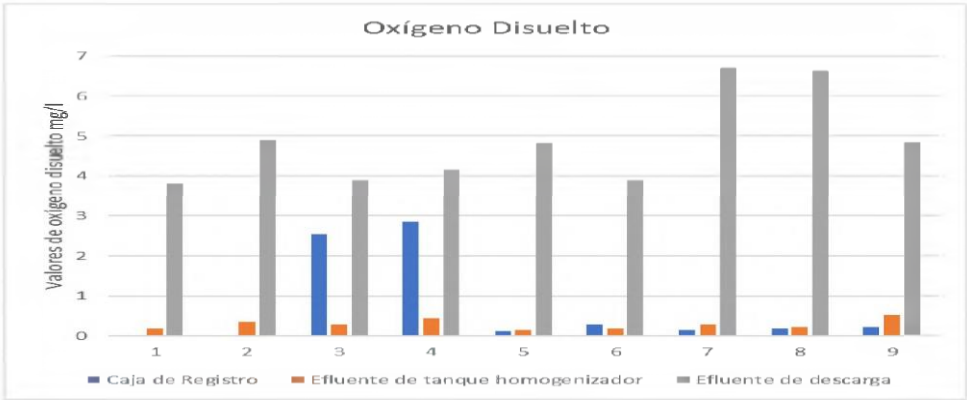
Tabla 8. Valores del Oxígeno Disuelto (mg/l)

| Muestra | Fecha      | Caja de Registro | Efluente de tanque homogeneizador | 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                 |

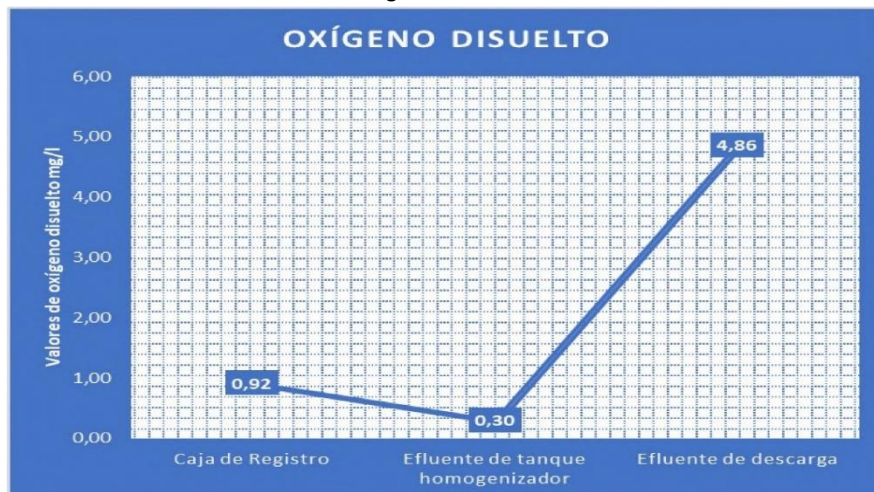
El oxígeno disuelto del afluente a la planta piloto Wetland está entre 0,13 a 8,29 mg/l, el oxígeno disuelto del efluente del tanque homogeneizador

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.

Figura 15. Valores de Oxígeno Disuelto a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland



**Figura 16.** Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Oxígeno Disuelto



Como se observa en la figura 16, 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 8) y en cuerpos de agua marina

(tabla 9) no indica un limitante para este parámetro. La planta piloto wetland mejora el nivel de oxígeno disuelto en el efluente.

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DB05)**

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)

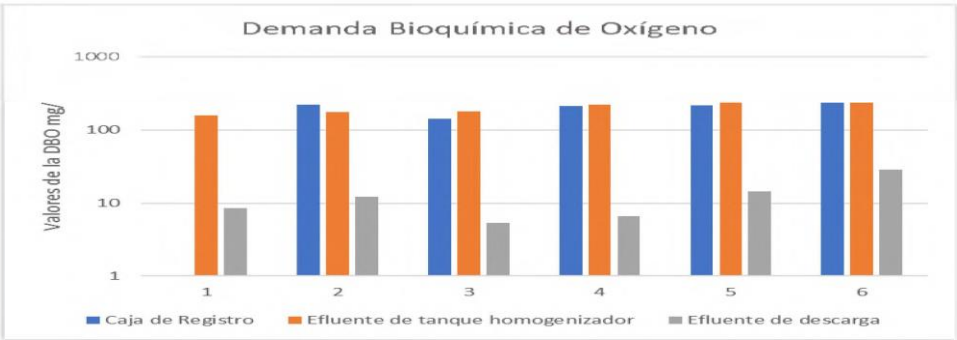
**Tabla 9.** Valores de DBO

| Muestra | Fecha      | Caja de Registro | Efluente de tanque homogenizador | Efluente de descarga |
|---------|------------|------------------|----------------------------------|----------------------|
| 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                |

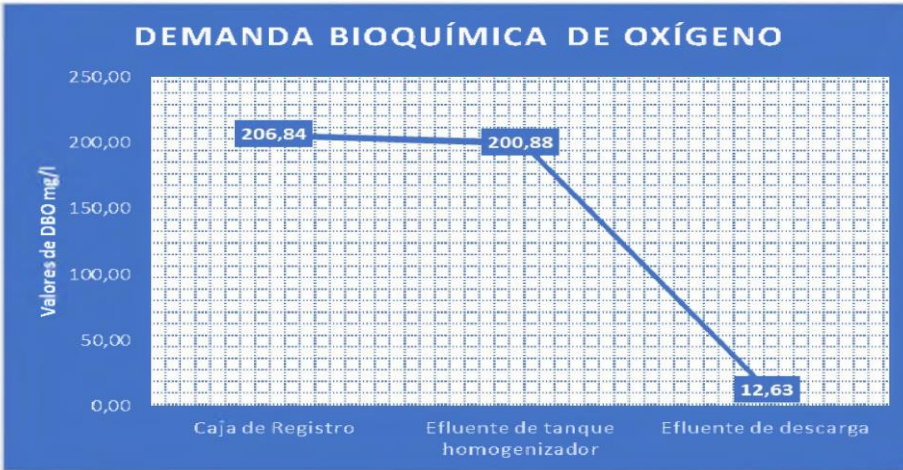
La DBOs que ingresa a la planta piloto Wetland está entre 143,25 a 237,05 mg/l, en el efluente del tanque homogeneizador está entre

158,78 a 236,15 mg/l y la DBOs efluente de la Planta Wetland está entre 5,35 a 28,63 mg/l.

**Figura 17.** Valores de Sólidos Totales a lo largo del proceso de muestreo en la planta piloto Wetland



**Figura 18.** Comportamiento promedio de la Planta Piloto Wetland con respecto al parámetro de sólidos totales



Como se observa en la figura 18, el valor promedio de DBOs 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 DBOs debe llegar a valores de máximo 100mg/l para

cuerpos de agua dulce (tabla 8) y de igual manera en cuerpos de agua marina (tabla 9). 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.

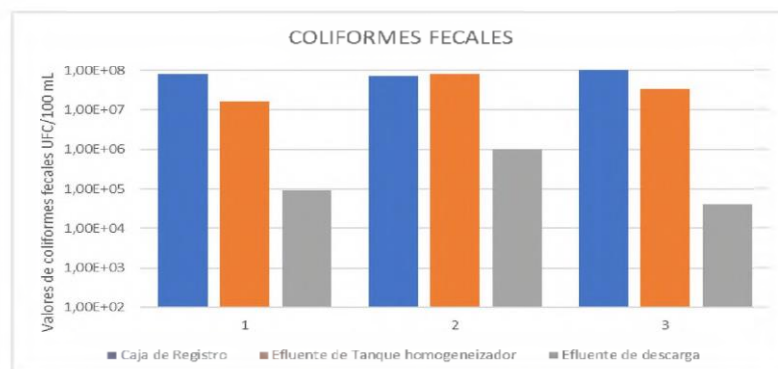
**Tabla 9.** Valores por medición por Técnica de Filtración de Membrana - m-FC Medio para Coliformes Fecales

| 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             |

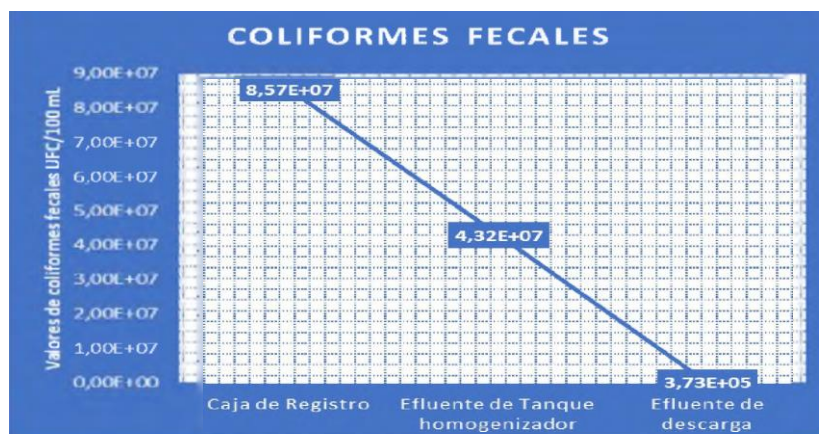
La cantidad de coliformes fecales que ingresan a la planta piloto Wetland está entre 8,20x10<sup>7</sup> a 1,02x10<sup>8</sup> UFC/100 ml valores aproximados a un valor tipo de agua residual doméstica, el efluente del

tanque homogeneizador está entre 1,60x10<sup>7</sup> a 8,00x10<sup>7</sup> UFC/100 ml y en el efluente de la planta wetland está entre 4,04x10<sup>4</sup> a 9,86x10<sup>5</sup> UFC/100 ml.

**Figura 19.** Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de Conformes Fecales



**Figura 20.** Comportamiento promedio de la planta piloto Wetland con respecto al parámetro de *Conformes Fecales*



#### 4. 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 e 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 ps/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.

## Bibliografía

- Obtenido de  
<https://culturadentifica.eom/2019/11/28/que-es-el-ph/>
- 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:
- Castillo, M., & Acevedo, R. (2013). Manual de Métodos Analíticos para la Determinación de Parámetros Fisicoquímicos Básicos en Aguas.
- 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.
- 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 y Pérez (1985). Aspectos sanitarios del estudio de las aguas Granada: Servicios de publicaciones de Granada
- García, D. (10 de Diciembre de 2016). Cultura científica.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, P. (2006). Metodología de la Investigación. México: Mc Graw Hill.
- <http://186.46.160.229/bitstream/123456789/5126/1/IQ2012-0001-0025.pdf>
- INEC. (2010). Censo Poblacional Ecuador. Guayaquil: Servicios de Publicaciones INEC.
- Jermaine, C. (2008). Scalable approximate query Processing with the DBO engine. California: ACM Transactions on Database Systems.
- Jiménez-Domínguez, B. (2000). Investigación cualitativa y psicología social crítica. Contra la lógica binaria y la ilusión de la pureza. Investigación cualitativa en Salud. Recuperado el 17 de octubre del 2007 de: <http://www.cge.udg.mx/revistaudg/rug17/3investigacion.html>
- 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.
- Mertens, D. (2005). *Research and evaluation in Education and Psychology: Integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed methods*. Thousand Oaks: Sage.
- 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., López, D., Vera, I., & Vidal, G. (2013). Humedales contruidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en agua servida. *Theoria*, 41. Obtenido de Humedales contruidos con plantas ornamentales para el tratamiento de materia orgánica y nutrientes contenidos en aguas servidas.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2015). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. Lima: Servicio de publicaciones del ministerio del ambiente Perú. Recuperado el 30 de 11 de 2019
- Ríos, S., Agudelo, R., & Gutiérrez, L. (2017). Patógenos e Indicadores Microbiológicos da qualidade da água pro consumo humano. *Revista Facultad Nacional de Salud Pública*, 30.
- Secretariado Alianza para el agua. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales Urbanas*. London: Cyclus print.