



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERIA  
AMBIENTAL

**TITULO:**

EFICIENCIA DE LA MACROFITA FLOTANTE *Eichhornia crassipes*  
EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA CALIDAD  
DEL AGUA RESIDUAL.

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTOR**

MEJÍA RAMOS SANDY JHENIFER

**ASESOR:**

Dr. MONTEZA ARBULÚ CÉSAR AUGUSTO

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN**

**TRATAMIENTO Y GESTIÓN DE RESIDUOS**

**PERÚ - 2017**

## DEDICATORIA

A Dios, por su infinito amor, por ser mi guía, por nunca soltarme de sus manos benditas, siendo él mi fiel compañero durante este trayecto de mi vida.

A mi padre Edilberto, quien merece toda mi admiración y respeto, por todo el esfuerzo que ha venido haciendo durante estos años. Por ser ese hombre que aunque no haya tenido una imagen paterna y materna, ha sabido formar de manera correcta a los suyos impartiendo valores como respeto y humildad. A mi madre Esther, por ser mi mejor amiga, por tener las palabras necesarias para calmar mis temores y llantos, las mismas que me impulsan a seguir adelante. Por ser la mujer más importante en mi vida, quién varias veces ha tenido que poner el corazón de piedra para irse lejos de sus hijos, por el sólo hecho de que no les falte nada; gracias por tanto mamá, eres mi ejemplo a seguir. Los amo mucho!

A mi hermana Claudia por estar siempre conmigo, escuchándome, animándome en todo y por siempre sacarme una sonrisa cuando lo necesito. A mi hermanito Marlon quien me demuestra el más lindo y sincero amor en cada “te quiero” y en cada sonrisa. Por ustedes lucho por lograr cada una de mis metas con el propósito de que no les falte nada.

Sandy

## **AGRADECIMIENTO**

Gracias mi Dios por darme la fortaleza de seguir adelante durante toda esta etapa de mi vida, por darme la sabiduría necesaria para tomar las mejores decisiones y por nunca dejarme sola en los momentos que te necesité.

A mis amados padres, por el apoyo incondicional para culminar mis estudios universitarios y por las palabras de aliento que siempre me han dado; no saben cuánto valoro cada esfuerzo que han hecho por mí. A mis hermanos que con sus ocurrencias sacan la mejor versión de mí, impulsándome a ser su mejor ejemplo a seguir.

A mi tío Carlos Arnulfo por el apoyo moral, por los ánimos que me ha dado durante todos estos años, por sus sabios consejos que siempre los tengo en cuenta, por creer en mí; por quererme y cuidarme como a una hija, gracias tío.

Agradecer a mis asesores, el Ing. César Augusto Monteza Arbulú y al Dr. José Ponce Ayala, por la motivación y los conocimientos que me han impartido durante la elaboración de mi proyecto.

Así mismo a la Ing. María Graciela Olguin Cuzquen, jefa de la oficina de control de calidad de EPSEL S.A; por permitir llevar acabo la elaboración de mis análisis.

La autora

## DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD

Yo SANDY JHENIFER MEJÍA RAMOS con DNI N° 77572930, a efecto de cumplir con las disposiciones vigentes consideradas en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo, Facultad de INGENIERÍA, Escuela de INGENIERÍA AMBIENTAL, declaro bajo juramento que toda la documentación que acompaño es veraz y auténtica.

Así mismo, declaro también bajo juramento que todos los datos e información que se presenta en la presente tesis son auténticos y veraces.

En tal sentido asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas de la Universidad César Vallejo.

Chiclayo, 12 de diciembre del 2017



---

SANDY JHENIFER MEJÍA RAMOS

## PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

En cumplimiento del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad César Vallejo presento ante ustedes la Tesis titulada “EFICIENCIA DE LA MACROFITA FLOTANTE *Eichhornia crassipes* EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL”, la misma que someto a vuestra consideración y espero que cumpla con los requisitos de aprobación para obtener el título Profesional de Ingeniero Ambiental.

SANDY JHENIFER MEJÍA RAMOS

# ÍNDICE

PÁGINA DEL JURADO .....	ii
DEDICATORIA .....	iii
AGRADECIMIENTO .....	iv
DECLARATORIA DE AUTENTICIDAD .....	v
PRESENTACIÓN .....	vi
ÍNDICE .....	vii
ÍNDICE DE TABLAS .....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xi
RESUMEN.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>14</b>
<b>1.1. Realidad Problemática .....</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Trabajos Previos.....</b>	<b>16</b>
<b>1.3. Teorías relacionadas al tema.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.1 Eficiencia de la macrófita flotante <i>Eichhornia crassipes</i>.....</b>	<b>21</b>
<b>1.3.2 Calidad de agua residual .....</b>	<b>23</b>
<b>1.3.3 MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>26</b>
<b>1.5 Formulación del Problema .....</b>	<b>37</b>
<b>1.6 Justificación del estudio.....</b>	<b>37</b>
<b>1.7 Hipótesis.....</b>	<b>38</b>
<b>1.8 La Objetivos .....</b>	<b>38</b>
<b>1.7.1 Objetivo General .....</b>	<b>38</b>
<b>1.7.2 Objetivos Específicos.....</b>	<b>38</b>
<b>2.2. Variables, Operacionalización.....</b>	<b>39</b>
<b>2.3. Población y muestra .....</b>	<b>41</b>
<b>2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez .....</b>	<b>41</b>
2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos: .....	41
<b>2.4.2. Técnica de campo .....</b>	<b>41</b>
2.4.5. Descripción del sistema de tratamiento.....	44
<b>2.5. Métodos de análisis de datos .....</b>	<b>45</b>
2.5.1. Elaboración de humedales artificiales.....	45
2.5.2 Aplicación del Macrófita Flotante <i>Eichhornia crassipes</i> .....	46

2.5.4 Producción de Biomasa .....	49
<b>2.6. Aspectos éticos .....</b>	<b>49</b>
<b>III. RESULTADOS .....</b>	<b>50</b>
3.1 Análisis antes del tratamiento .....	50
3.2 Resultados de los Parámetros .....	51
<b>IV. DISCUSIÓN.....</b>	<b>62</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>64</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>65</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>70</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Primer Análisis fisicoquímico – 28 de octubre .....	46
Tabla 2: Segundo Análisis fisicoquímico – 02 de noviembre .....	47
Tabla 3: Tercer Análisis fisicoquímico – 07 de noviembre .....	47
Tabla 4: Cuarto Análisis fisicoquímico – 12 de noviembre .....	48
Tabla 5: Quinto Análisis fisicoquímico – 17 de noviembre .....	48
Tabla 6: Análisis fisicoquímicos del agua residual antes del tratamiento .....	50
Tabla 7: Cálculo de la Producción de Biomasa.....	58
Tabla 8: Interpretación de Hipótesis .....	59
Tabla 9: Resultados en relación al Humedal 1 (H1) y Humedal 2 (H2) .....	60
Tabla 10: Estadísticos de grupo .....	60
Tabla 11: Prueba de Muestras Independientes .....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Medidas del humedal artificial.....	45
Figura 2: Cantidades de biomasa de <i>Eichhornia crassipes</i> en H1 y H2.....	46
Figura 3: Comportamiento del pH en H1 y H2 .....	51
Figura 4: Comportamiento de Sólidos disueltos totales mg/L en H1 y H2 .....	52
Figura 5: Comportamiento de la DBO5 mg/L en H1 y H2 .....	54
Figura 6: Comportamiento de la DQO (mg/L) en H1 y H2.....	55
Figura 7: Comportamiento de la Temperatura (°C) en H1 y H2 .....	57
Figura 8: Validación de resultados obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo - Chiclayo .....	72
Figura 9: Validación de resultados de los parámetros DBO5 y DQO realizados en el Laboratorio de EPSEL .....	72
Figura 10: Ubicación del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro .....	74
Figura 11: Ubicación de las lagunas facultativas del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro .....	74
Figura 12: Toma de muestras para análisis antes del tratamiento – Lagunas Facultativas del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro. ....	82
Figura 13: Humedal artificial. ....	82
Figura 14: Humedal artificial con 25 L de agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro. ....	83
Figura 15: Pesado de biomasa de la Macrofitas Flotante <i>Eichhornia crassipes</i> en diferentes cantidades.....	83
Figura 16: Humedal Artificial 1 (H1) con 0.153 g y Humedal Artificial 2 (H2) con 0.313 g de la Macrofitas Flotante <i>Eichhornia crassipes</i> . ....	84
Figura 17: Instalación del sistema de aireación e iluminación para la Macrofitas Flotante <i>Eichhornia crassipes</i> .....	84
Figura 18: Multiparámetro. Instrumento para medir los parámetros fisicoquímicos del agua residual.....	85
Figura 19: Análisis fisicoquímicos de muestras tomadas en diferentes fechas a los Humedales Artificiales H1 y H2 .....	85
Figura 20: Muestras finales obtenidas a los 20 días del Humedal 1 y Humedal 2.....	86

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Descripción y ubicación del área de estudio .....	74
Anexo 2: Métodos de análisis para la determinación de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales .....	75
Anexo 3: Límites Máximos Permisibles para aguas residuales .....	81
Anexo 4: Panel Fotográfico .....	82

## RESUMEN

El presente proyecto de investigación se llevó a cabo en el Distrito Manuel Antonio Mesones Muro – Ferreñafe, con el objetivo de determinar la eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* empleando diferentes proporciones para mejorar la calidad del agua residual, con el fin de que los pobladores puedan hacer uso de estas aguas sin ningún peligro.

Para ello se empleó dos humedales artificiales construidos a base de laboratorio, con medidas de: 60 cm de largo, 30 cm de altura y 30 cm de ancho. Dentro del humedal se colocó 25 litros del agua residual traída de las lagunas facultativas del Distrito. En el humedal 1 se empleó 0,153 gr. de *Eichhornia crassipes* y en el humedal 2, se utilizó 0.313 gr. del macrófito. El diseño que se empleó fue No experimental con prueba de hipótesis. Se realizaron análisis al agua residual en 4 fechas distintas, cada 5 días.

Ambos humedales iniciaron con los siguientes valores en cada parámetro: con un pH de 8.75, con 459 mg/L de sólidos disueltos, una DBO5 de 345 mg/L, una DQO de 350 mg/L y una temperatura de 24.30°C. Los resultados finales, obtenidos en el humedal 1 (H1), con 0.284 g. de producción final de biomasa de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, fueron los siguientes: 7.77 de pH, 104 mg/L en sólidos disueltos totales, una remoción del 88.26% de DBO5, una remoción del 85.14% de DQO y por último una temperatura de 21.65°C. En cuanto al humedal 2 (H2), con 0.284 g. de producción final de biomasa de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, se obtuvo los siguientes datos finales: 7.66 de pH, con 55.3 mg/L en sólidos disueltos, una remoción del 97.68% de DBO5, una remoción del 97.42% de DQO y por último una temperatura de 21.58°C.

**Palabras claves:** *Eichhornia crassipes*, calidad de agua residual, humedal

## ABSTRACT

The present research project was carried out in the Manuel Antonio Mesones Muro - Ferreñafe District, with the objective of determining the efficiency of the floating macrophyte *Eichhornia crassipes* using different proportions to improve the quality of wastewater, in order that the inhabitants can make use of these waters without any danger.

To this end, two artificial wetlands built with a laboratory were used, with measures of: 60 cm long, 30 cm high and 30 cm wide. Within the wetland, 25 liters of wastewater brought from the facultative lagoons of the District was placed. In wetland 1 0.153 gr. of *Eichhornia crassipes* and in wetland 2, 0.313 gr. of the macrophyte. The design used was not experimental with hypothesis testing. Residual water analyzes were performed on 4 different dates, every 5 days.

Both wetlands started with the following values in each parameter: with a pH of 8.75, with 459 mg / L of dissolved solids, a BOD5 of 345 mg / L, a COD of 350 mg / L and a temperature of 24.30 ° C. The final results, obtained in the wetland 1 (H1), with 0.284 g. of final biomass production of the floating macrophyte *Eichhornia crassipes*, were the following: 7.77 pH, 104 mg / L in total dissolved solids, a removal of 88.26% of BOD5, a removal of 85.14% of COD and finally a temperature of 21.65 ° C. As for wetland 2 (H2), with 0.284 g. of final biomass production of the floating macrophyte *Eichhornia crassipes*, the following final data were obtained: 7.66 pH, with 55.3 mg / L in dissolved solids, a removal of 97.68% of BOD5, a removal of 97.42% of COD and finally a temperature of 21.58 ° C.

Keywords: *Eichhornia crassipes*, residual water quality, wetland

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso natural de vital importancia para el desarrollo de los seres vivos, sin embargo a medida que la población se ha ido incrementando, el hombre ha hecho un uso irracional de este elemento, generando así el aumento de aguas residuales. Estas aguas al ser vertidas en los ríos, mares lagos o lagunas, sin recibir tratamiento alguno, alteran la calidad de estos cuerpos receptores, debido al alto índice de contaminantes físicos, químicos, orgánicos y biológicos que presentan las aguas residuales no tratadas.

La contaminación que origina estas aguas residuales no solo daña al recurso hídrico sino también afecta al suelo, alterando sus propiedades físicas y químicas.

En el Perú, los municipios y empresas prestadoras de servicios de saneamiento, están encargadas de brindar el tratamiento y disposición final de estas aguas residuales. Sin embargo de las 253 localidades del ámbito de las EPS que existe en nuestro país, solo 164 vierten total o parcialmente sus aguas residuales al alcantarillado, las mismas que son transportadas hacia una PTAR, las 89 restantes no disponen de este tratamiento y vierten sus aguas de manera directa hacia los mares, ríos y drenes. **(ANA, 2016).**

El distrito Manuel Antonio Mesones Muro – Ferreñafe, trata sus aguas residuales a través de lagunas facultativas, sin embargo éstas han venido operando de manera incorrecta, razón por la cual se busca implementar un tratamiento de bajo costo económico para mejorar la calidad de estas aguas.

Para dar solución a esta problemática se hizo uso del macrófito flotante *Eichhornia crassipes*, esta especie es capaz de remover grandes cantidades de materia orgánica y de sustancias contaminantes. La macrófita fue aplicada en un humedal artificial, con el fin de remover los contaminantes y así mejorar la calidad de estas aguas residuales.

## 1.1. Realidad Problemática

Se conoce como aguas residuales, aquellas aguas donde sus características de origen han sido alteradas, afectando así su calidad. Debido a las actividades realizadas por el hombre; necesitando así un previo tratamiento, para después ser reutilizadas o vertidas. En el Perú se cuenta con 50 Entidades Prestadoras de Servicios de Saneamiento, este servicio cubre el 69,65% de la zona urbana; los pobladores que no tienen acceso a este servicio de alcantarillado vierten sus aguas de manera directa a los mares, ríos, lagos y algunas personas la utilizan para riego. **(OEFA, 2014)**.

Las aguas residuales municipales del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, pasan por un sistema de tratamiento; el cual cuenta con 2 lagunas facultativas, sin embargo estas lagunas no cumplen con la función de dar el debido tratamiento a estas aguas residuales para que después sean vertidas, afectando de esta manera a la población y a los cultivos de la zona.

Ante dicha problemática, se ha buscado dar una solución que tenga un bajo costo económico, es por ello que se ha optado el hacer uso de una especie vegetal, *Eichhornia crassipes*. Para mejorar la calidad de estas aguas residuales, removiendo sus contaminantes, antes de que sean directamente vertidas hacia los cuerpos de agua del Distrito.

El macrófito flotante *Eichhornia crassipes*, según estudios realizados posee un alto índice de absorción en su raíz, tallo y hojas, la misma que es capaz de absorber metales pesados y contaminantes de las aguas residuales, puesto que estas plantas la utilizan como parte de su crecimiento, ayudando así a descontaminar el agua.

Dicha especie se aplicará en un humedal artificial, en diferentes cantidades de biomasa, donde cumplirá con su función fitorremediadora, la cual hará que reduzcan los contaminantes del agua, mejorando así su calidad.

Los humedales artificiales son utilizados para tratar aguas residuales haciendo uso de plantas acuáticas, dentro de los humedales artificiales podemos encontrar los de superficie libre y también los de flujo superficial. **(ROMERO, J. 2005).**

## **1.2. Trabajos Previos**

**FIALLOS N, Liliana y RAMIRO, J. 2011** La presente investigación se basó principalmente en mejorar los parámetros físicos y químicos del agua de la estación El Peral, en Ambato Ecuador , pues estas aguas a pesar que pasan por un sistema de tratamiento, no cumplen con las características físicas y biológicas, contaminando así al río que se encuentra en la zona.

Para realizar dicho trabajo se empleó un diseño experimental AxB con dos réplicas, para los factores se hizo uso de dos especies vegetales: lechuguín y carrizo, los cuales fueron puestos en dos estanques por separado y el tiempo de toma de muestras se dieron en: 0, 10, 20, y 30 días.

Los análisis estadísticos en Statgraphics Plus fueron los análisis de varianza y pruebas de Tukey el 5%. En donde se evidenció las diferencias de estadística entre cada uno de los tratamientos con un nivel de 5%.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: Temperatura: 18.50°C a los 0 días, 18°C a los 10 días, 18.30°C en 20 días y 18.20°C en los 30 días. El pH: 7.84 en 0 días; 7.9 en 10 días; 7.70 en 20 días y 7.30 en 30 días. Conductividad en relación a los 0-10-20-30 días: 702 us/cm, 392 us/cm, 374 us/cm y 323 us/cm. En relación a la DQO: en 0-10-20 y 30 días: 162 mg/L, 79 mg/L, 61 mg/L y 52 mg/L. En la DBO5: 56 mg/L, 21.40 mg/L, 15.80 mg/L, 8.40 mg/L.

**POVEDA, Rebeca. 2014.** En el Cantón Ambato-Provincia de Tungurahua, se llevó a cabo el estudio de investigación debido a la presencia de aguas residuales vertidas por parte de las industrias a

los ríos, tomando en cuenta que la población hace uso de éste afluente para su riego agrícola.

Para mejorar la calidad de dicho río se utilizó 5 especies vegetales dentro de ellas la especie *Eichhornia crassipes*, la obtención de estas fueron sometidas a un proceso de selección (SCREENING), para de esa manera escoger la plantas que se encuentren en mejor condición. Después fueron colocadas en recipientes plásticos de PET con 12 litros, las mismas que fueron llenadas con aguas residuales, se tomaron datos durante 6 semanas. Para la selección de las especies se desarrolló un proceso de pre-selección. Para evaluar cada uno de los parámetros que se tomó en cuenta con las diferentes especies, se hizo uso del programa Excel, así como también el paquete informático Statgraphics plus con el 95% de confianza, así mismo para determinar la diferencia de biomasa se utilizó la prueba de TUKEY.

A los 30 días se obtuvieron resultados, tales como: variación del pH del agua en función a la especie *Eichhornia crassipes* en un rango de 7,2 – 8,6; en conductividad de 137 – 170 us/cm, producción de biomasa 0,65 gr/día, un peso seco de 0,67 gr. Resultados del agua residual agrícola: dureza disminuyó de 120 a 77,6 ppm; Nitritos de 10 – 1 ppm; Sólidos totales de 546 – 510 ppm; pH de 8,19 – 7,31, DQO de 24 – 8 ppm; DBO5 de 20 a 0,6 ppm y E. coli Fecal de 6000 – 2000 NMP/ 100 ml.

**ARTERO, Ingrid y QUISQUE, Maira. 2012.** El presente estudio de investigación se llevó a cabo por causa de los graves problemas existentes con el recurso hídrico en el Salvador, en el cual las aguas residuales domésticas son fuentes principales de contaminación. Por esta razón se llevó a cabo la depuración de estas aguas implementando microhumedales artificiales de tipo subsuperficial en las viviendas de las familias de San Salvador.

El tipo de estudio que se realizó fue experimental y transversal, debido a que los análisis se llevaron a cabo en un período de 6

semanas. Se hizo dos tipos de microhumedales artificiales de tipo subsuperficial de 4 estadíos denominados; Microhumedal Artificial 1 y 2 con dos fases cada uno, colocando 6 galones de agua residual y en ella se usó dos plantas acuáticas *Thypha domingensis* y *Eichhornia crassipes*. La muestra que se utilizó fue el agual residual producida por una familia de 5 miembros.

Los resultados que se obtuvieron fueron: en el microhumedal con *Eichhornia crassipes* la temperatura en la fase I se obtuvo una temperatura entre 15 y 30°C, y en la fase II se mantuvo constante entre 15 y 30°C, igual que la primera. En ambas fases se observa que el pH se mantiene constante entre los límites 5.5 y 9.0. En la fase I se obtuvo un Oxígeno Disuelto de 0.9 mg/L (inicial) y 3.2 mg/L (final); una DBO de 1396.7 mg/L inicial y al final un 65 mg/L de DBO, en la fase II se obtuvo un Oxígeno disuelto de 1.0 mg/L al inicio y al final 3.1 mg/L; una DBO de 2310 mg/L al inicio y después del tratamiento un 7 mg/L. En el microhumedal con *Eichhornia crassipes* en la fase I se obtuvo 1.8 mg/L removiendo a < 0.2 mg/L de sólidos sedimentados y en la fase II se removió de 2.5 mg/L a < 0.2 mg/L.

**GARCIA Trujillo, Zarela. 2012.** En el presente estudio de investigación se llevó a cabo estudios enfocados en las aguas residuales de PTAR-CITRAR en Lima, pues a pesar que las aguas residuales cumplen con un tratamiento, el objetivo de aplicar estas especies fue mejorar la calidad de estas aguas, para ello se hizo uso de tres especies de plantas, *Azolla filiculoides*, *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*.

Para la determinación de la eficiencia de estas especies se utilizó la técnica de flujo continuo, compuesta por tres estanques. La primera fase del experimento consistió en aplicar las dos especies de plantas acuáticas, utilizando el efluente de la planta de tratamiento, además se trabajó con un control (sin plantas) para analizar el efecto depurador de las plantas. La segunda fase consistió en un flujo lento. Se hizo uso de un acuario el mismo que hizo la función de un humedal con medidas de 19 cm de profundidad, 39 cm de largo y

19.5 cm de ancho, el mismo que abarcó un volumen de 14.45 L de agua.

Una vez concluido el proceso se obtuvieron los siguientes resultados: se removió 73% de Oxido disuelto, en la DBO fue de 26.5%, el pH se mantuvo entre 7.54 – 10.40, remoción de 86% en un periodo de retención de 2.5 a 5 días, la conductividad en los dos efluentes fueron: 495.42  $\mu\text{s}/\text{cm}$  y 484.23  $\mu\text{s}/\text{cm}$  . En la planta: requerimiento de 1.5 y 2.14 mg/l de fósforo y 9.9 – 14.7 mg/l de Oxígeno disuelto, temperatura de 18.2 a 24.2°C, la producción de biomasa fue de 1,197 gr, la densidad del peso húmedo de 5.77 g/cm<sup>2</sup>/día, un 0,577 Kg/día de carga operacional.

**JARAMILLO Jumbo et al. 2012.** En la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, se realizó una investigación basada en la fitorremediación usando dos especies vegetales, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, estas se usaron en aguas residuales producto de la actividad minera, las cuales son descargadas de manera directa al agua del mar contaminando así gran parte de éste recurso provocando muerte en los animales acuáticos. Para la obtención de especies vegetales se tomaron en cuenta condiciones como: pigmentación, anomalías en cualquiera de sus partes, plantas jóvenes y que posean un buen espesor radicular. Se utilizó 7 especies de *Eichhornia crassipes*. El estudio se realizó en estanques, con una temperatura de 16.2°C y humedad de 6,4%, en base a tres fases: adaptación, nutrición y de intoxicación, durante un periodo de 15 días en 10 litros de aguas.

Para la investigación se llevó a cabo un diseño completamente al azar con un solo factor, tres niveles y una variable de respuesta. Para validar las hipótesis se utilizó el programa Minitab 16, utilizando la función varianza de un solo factor (ANOVA).

Los resultados que se obtuvieron fueron: 7.2 pH, 2.1 – 2.8 mg/l de DBO y 33 mg/l de DQO, conductividad de 269 – 410  $\mu\text{S}$ .

**AKHIR, Mohd et al. 2017.** La siguiente investigación se llevó a cabo debido a la existencia de industrias hoteleras en Malasia, que al ser un país en desarrollo enfrenta un aumento de residuos. Las aguas residuales provenientes de los hoteles instalados en este lugar, generalmente reciben tratamiento de manera imparcial, razón por la cual dentro del estudio se realizó la construcción de un humedal a pequeña escala, haciendo uso de seis macrófitas acuáticas, dentro de ellas el Jacinto de agua. Este estudio se llevó a cabo en The Frangipani Resort & Spa, haciendo uso de estas aguas, incluyendo las aguas de baños, lavanderías, cocinas y otras.

El estudio fue realizado en dos conjuntos, uno de ellos fue ejecutado a mediados de enero y a mediados de septiembre. Se hicieron tres réplicas en cuanto a las muestras de las aguas residuales y fueron tomadas en cuatro puntos diferentes. El análisis se llevó a cabo por los métodos de estándar (APHA 199)

Los resultados que se obtuvieron desde enero a septiembre fueron los siguientes: el pH fue de 1.2% en enero ( $6.59 \pm 0.157$ ) y 5.3% en septiembre ( $6.73 \pm 0.141$ ). El aumento, este pH se dio debido a la presencia de algas verdes. Se obtuvo una DBO con un rango de en enero, el conjunto de datos en promedio es del 52.1% ( $15.906 \pm 3.4$ ) en comparación con el 14.5% ( $39.5 \pm 4.28$ ), de datos de septiembre. En cuanto a la DQO se obtuvo una eliminación final de 49.7% ( $60.4 \pm 34.99$ ) en enero y 66.9% ( $53.0 \pm 13.27$ ) en septiembre.

**OCAMPO, P y TIGREROS E. 2013.** Realizó una investigación basada en el tratamiento de las aguas residuales domésticas, las mismas que son vertidas inadecuadamente en el recurso hídrico de Guabas - Colombia, tomando como puntos de muestras algunos de los efluentes del mismo. El proyecto consistió en utilizar plantas acuáticas en las mismas cuencas, para mejorar la calidad del agua, y actuaron como un filtro para disminuir el nivel de contaminación.

Las mediciones para la velocidad y caudal que se realizaron fueron in situ, sin embargo se tomaron muestras para obtener resultados de

los parámetros físicos y químicos: 8.31 de pH, temperatura de 25.9°C, turbiedad de 114 UNT, DBO 6.33 mg O/l, DQO, 30.7 mg O/l y Nitratos 0.754 mg N-NO<sub>3</sub>.

**OLUKANNI, David y KOKUMO, Kola. 2013.** Llevó a cabo un estudio en la ciudad de Ota - Nigeria, tomando en cuenta que en los últimos años su población ha ido aumentando y con ella la presencia de aguas residuales, los mismos que son almacenados en tanques sépticos, el objetivo de esta investigación fue mejorar la calidad de estas aguas residuales, haciendo uso de un humedal artificial debido a su bajo costo económico y así mismo de la especie Jacinto de agua.

Se construyó un humedal artificial de tipo superficie de agua libre en tanques facultativos aeróbicos con una profundidad de 1,2 m. El humedal albergó un volumen de 23.16 m<sup>3</sup> de agua residual.

Los resultados de los parámetros analizados, fueron los siguientes: el pH tuvo una variación de 6.16 – 6.56. Total de Sólidos Disueltos tuvo una remoción de 12,64%, con un rango de 87 – 76mg/L, de inicio y final. Se tuvo una remoción de DQO de 68.17%, con un rango inicial de 330.50 mg/L y final 105.19 mg/L; y por último una DBO con 69.69% de remoción, teniendo un 298.35 mg/L al inicio y 90.43 al final.

### **1.3. Teorías relacionadas al tema**

#### **1.3.1 Eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes***

**(GARCIA, Z. 2012).** La eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* se define como la capacidad depuradora que posee la especie para remover los nutrientes presentes en los diferentes tipos de aguas residuales, donde cada una de sus partes cumplen funciones, el proceso fotosintético que es realizado en la superficie del agua y sus raíces que se expanden hacia la parte de abajo del agua.

Así mismo el autor me da a conocer los indicadores para determinar la eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*. Se realiza a través de un análisis fisiológico, tomando en cuenta los siguientes indicadores:

- **pH.**- Debe oscilar entre 6.86 y 10.42
- **Temperatura.**- Es de gran importancia tomar en cuenta éste parámetro puesto que tiene intervención en los procesos fisiológicos y biológicos en un sistema de tratamiento. Debe ser debidamente controlado, puesto que si existe una alta temperatura llega a darse un descenso en la *Eichhornia crassipes*. (25 a 31°C)
- **Biomasa.**- La producción de la biomasa nos indica la cantidad de la cosecha que se obtiene al final del tratamiento; para obtener este resultado se realiza la diferencia de los pesos: Peso final - Peso inicial.

**(CAMACHO, J y ORDOÑEZ, L. 2008).** Menciona que la eficiencia de la *Eichhornia crassipes* consiste en la descomposición y asimilación de nutrientes, tanto en materia orgánica e inorgánica. Se toman en cuenta ciertas ventajas considerando el efluente a tratar, motivo por el cual se debe hacer un seguimiento continuo para garantizar la eficiencia de la *Eichhornia crassipes*. Dicho autor me nombra los siguientes indicadores:

- **pH.**- Las unidades de pH varía entre 7,87 y 8,15. Se debe tomar en cuenta que el pH no sea alcalino, para que no perjudique el mecanismo de desnitrificación biológica.
- **Biomasa.**- Una vez que se obtiene la cantidad necesaria de la especie, se inicia el proceso de evaluación para la biomasa tomando en cuenta su crecimiento. Para sacar la biomasa se toma en cuenta

la siguiente operación: Biomasa producida = Peso (kg) / Superficie cubierta ( $m^2$ )

- **Temperatura.-** La temperatura es considerada como principal limitante para el desarrollo de la *Eichhornia crassipes*, es por eso que debe estar en un rango de 20 – 30°C, para poder obtener mayor eficiencia.

**(POVEDA, R. 2014)** Define que la eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* se basa principalmente en la disminución de algunos parámetros contaminantes presentes en el agua residual, así mismo menciona que para evaluación de ésta macrófita se debe tomar en cuenta el porcentaje de producción de biomasa. Los indicadores a tomarse en cuenta, según Poveda son:

- **pH.-** Las debidas condiciones ambientales para el debido desarrollo de la especie de macrófita flotante *Eichhornia crassipes* oscila entre 7,2 – 8,6 pH y para conductividad un rango de 137 – 170  $\mu\text{s}/\text{cm}$ .
- **Biomasa.-** El incremento de la biomasa se identifica a través del tiempo, se obtiene un promedio de 0,65 gr/día, en un período de 30 días.
- **Temperatura.-** Esta oscila entre 25 – 30°C, de es importante tomarlo en cuenta puesto que si la macrófita se encuentra en temperaturas muy bajas, la planta tiende a morir, así mismo cuando se expone a temperaturas pasadas del límite.

### 1.3.2 Calidad de agua residual

**(TORRES, E. 1994).** La calidad de agua residual se define a la minimización de efectos negativos presentes en el agua, el mismo que ocasiona grandes variaciones, afectando su composición. La calidad del agua residual tiende a depender del grado de tratamiento necesario que se le da, en el mismo

que se busca regular parámetros, físicos, químicos y microbiológicos.

Bajo las investigaciones hechas por dicho autor, me menciona las siguientes dimensiones físicas y químicas con sus indicadores:

**Parámetros Físicos:**

- Temperatura
- Conductividad eléctrica

**Parámetros Químicos:**

- pH
- DBO5
- DQO
- Sólidos disueltos totales

**(PACHECO, J. et.al. 2004).** La calidad de agua residual se basa en la elaboración de un diagnóstico físico, químico y bacteriológico, puesto que a partir de estos se puede clasificar si el agua es apta para el uso humano. De acuerdo a estos parámetros se define una “buena calidad”, “calidad media” y “mala calidad”.

El autor menciona los siguientes parámetros con sus respectivos indicadores:

**Físicos:**

- Color
- Temperatura
- Conductividad eléctrica

**Químicos:**

- DBO5
- DQO
- pH

**(BORBOLLA, M. et al. 2003).** Menciona que la calidad del agua se basa en conocer las características fisicoquímicas del

agua, y que a través del análisis de cada una de estas características se obtiene un rango, el cual define la calidad. Los parámetros a analizar son los siguientes:

**Parámetros Físicos:**

- Conductividad eléctrica
- Temperatura

**Parámetros Químicos:**

- pH
- DBO5
- DQO
- Sólidos Disueltos Totales

**(CARDONA, J y GARCÍA, L. 2008).** Menciona que la calidad del agua residual se determina por los parámetros químicos, físicos y biológicos, los mismos que establecen si el agua está dentro de los parámetros para su determinado uso.

**Parámetros Fisicoquímicos:**

- **Sólidos totales.-** Residuos que quedan después de una disipación del agua a temperaturas entre 103 a 105°C.
- **DBO.-** Es la materia orgánica presente en el agua y se expresa por la cantidad de oxígeno presente en el agua, para la degradación de la materia orgánica.
- **DQO.-** Es la cantidad de un oxidante químico presente en el agua.
- **pH.-** Es la actividad de ion hidronio H<sup>+</sup>, expresándose en moles por litro.

**(FERNANDÉZ, E. 2006).** La calidad del agua residual tiene relación directa con el uso que se le va a dar. El agua que posee altos niveles de nitratos y otros metales, es considerada

agua de mala calidad, no apta para el consumo humano. La calidad del agua residual depende de su composición, la cual determina qué tipo de tratamiento se deben realizar. El autor menciona los siguientes indicadores:

- **DQO.-** Es el oxígeno que se encarga de consumir la materia orgánica presente en el agua residual.
- **DBO.-** Es cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos aerobios para que eliminen la materia orgánica presente en el agua.

### **1.3.3 MARCO CONCEPTUAL**

#### **1.3.3.1 Jacinto de agua**

Es una planta acuática conocida también como macrófita, el mismo que cumple un importante papel en el ecosistema acuático, protegiendo y brindando alimento a muchos organismos. Esta especie es útil para el ser humano, puesto que la utilizan como materia prima de las industrias y para procesos de biorremediación. **(ARROYAVE, María del Pilar. 2004)**

#### **1. Descripción**

El lirio acuático o Jacinto de agua pertenece a la familia Pontederiaceae, es considerada como una maleza acuática. Esta especie se desarrolla en la interfaz agua-aire a través de sus raíces y hojas. Es considerada también como una hierba de libre flotación, perenne y estolonífera. **(THAM, Ho. 2012)**

##### **a) Hojas**

Esta especie presenta dos tipos de hojas, unas llegan a medir hasta 60 cm. de largo cuando están erguidas y las

otras tienen forma redonda y llegan a medir hasta 30 cm de diámetro. Ambos tipos de hojas son lisas y brillantes. Los tallos de las hojas pueden llegar a medir hasta 50 cm de largo, tienen forma de vejigas bulbosas, esto permite flotar a las plantas en el agua.

**b) Raíz**

Posee una raíz principal con varios laterales, generalmente son largas, las mismas que son capaces de explotar una gran cantidad de nutrientes que se encuentran en las aguas de origen residual.

**2. Habitat**

El Jacinto de agua se reproduce en zonas donde el agua se mueve lentamente, como: humedales y lagos. Crece en zonas ricas en nutrientes, tienden a tolerar un pH ácido, sin embargo para su crecimiento óptimo debe estar en un rango de 6-8. La temperatura para su crecimiento tiene un rango de 1 a 40°C, siendo más recomendables temperaturas promedias de 25 a 27.5°C.

**3. Reproducción**

Posee una reproducción rápida debido a que se reproduce sexual (semillas) y asexualmente (estolones). Siendo más rápida la reproducción asexual debido a la propagación a través de las yemas axilares. Su crecimiento es estimulado por la presencia de escorrentías, pues estas traen consigo gran cantidad de nutrientes. Su crecimiento depende de estos.

**4. Purificación del agua**

El Jacinto de agua posee una gran capacidad para remover contaminantes de las aguas contaminadas, tales como: sólidos disueltos, sólidos suspendidos, metales pesados, entre otros. Son empleados en humedales, en donde sus raíces cumplen con la función de remover los contaminantes.

La macrófita debido a su acelerado crecimiento ha sido considerada también como una plaga, la misma que llega a invadir gran parte del lugar donde se desarrolla. Sin embargo esta planta es capaz de absorber y acumular una gran cantidad de nutrientes, razón por la cual es capaz de remover contaminantes de las aguas residuales. **(ARENAS, Adolfo. et al. 2011)**

#### **5. Como Combustible alternativo y fuente de energía**

El Jacinto de agua cumple con las condiciones necesarias para la producción de bioenergía, debido a que posee un alto contenido de celulosa y su producción es abundante. Sin embargo tiene como desventaja el gran contenido de agua con un porcentaje de 90%. Su biomasa puede ser utilizada para la producción de biogás, el mismo que sirve como energía para las zonas rurales. También puede ser utilizado para producir etanol, debido al alto contenido de agua en sus tejidos. **(KEAWMANEE, Ratchanon. 2015)**

#### **6. Para uso agrícola e insumos de animales**

En algunos países como Indonesia, Filipinas, China y Tailandia, se utiliza el Jacinto de agua como materia prima de alta calidad para aves de corral y algunos animales no rumiantes, todo esto gracias a que esta especie tiene un alto contenido de minerales, vitaminas y proteínas.

Por otro lado, se puede hacer uso del Jacinto de agua como compost o abono verde, para mejorar la calidad de los suelos. Sin embargo no son recomendables los Jacintos de agua que han sido utilizados en aguas residuales con contenido de metales pesados o cualquier sustancia tóxica. **(KEAWMANEE, Ratchanon. 2015)**

### **1.3.3.2 Especie *Eichhornia crassipes***

**(DÁVALOS, Rene y TUNY, Frank. 2011).** Es una especie flotante que posee raíces sumergidas, caracterizada también por carecer de tallo, se lo conoce también como Jacinto de agua, Violeta de agua, buchón, lirio de agua, lechuga de agua. Pertenece a la familia de Pontederiaceae, originaria de la Cuenca del Amazonas en América del Sur.

#### **Características:**

- Posee hojas sumergidas lineares, algo redondeadas y abovadas, las mismas que poseen hinchazones que facilita la flotación de la planta.
- La raíz es negra con extremidades blancas cuando las especies son jóvenes, cuando son adultas poseen un color negro violáceos.
- Requiere de una intensa iluminación, de manera que si es utilizada de manera artificial requiere de una rampa luminosa completa.
- Debe ser cultivada en una temperatura entre 20 – 30°C, la especie no resiste a temperaturas bajas.
- Necesita estar en aguas que posean poca corriente o que estén estancadas y así mismo con una intensa iluminación.
- Es considerada como una de las especies más invasoras en el mundo.

#### **Composición química**

El Jacinto de agua posee un alto contenido de agua la misma que varía entre un 93 y 95%, la composición también tiende a varias dependiendo del medio en donde la planta realice su

crecimiento. Cuando existe nutrientes abundantes la especie tiende a desarrollarse al máximo, adquiriendo un color intenso entre azul-verdoso.

### **Efecto depurador**

A través de experimentos realizados con la especie *Eichhornia crassipes* se ha demostrado que el uso de esta especie es eficiente removiendo una gran cantidad de contaminantes de las aguas residuales, apartando en gran cantidad cargas de Nitrógeno, Fósforo; observando que el tamaño de la planta y su raíz influyen en la remoción de los contaminantes. El crecimiento de la especie varía entre 123 y 487 g/m<sup>2</sup>.d en peso húmedo.

### **Técnicas de estanques de *Eichhornia crassipes* para depurar aguas residuales**

#### **Condiciones para el tratamiento**

- **Clima:** La especie Jacinto de agua tolera temperaturas que varía entre 16 y 30°C, se comprende mejor entre 20 y 26°C.
- **Profundización:** Debe ir de 0.45 m – 1.2 m para que de esta manera el agua posea un mezclado vertical la misma que permita que las raíces de la planta esté en contacto.

#### **Preparación de la planta**

- **Selección:** Para la selección de la planta es recomendable escoger las plantas más pequeñas y que estén iniciando su proceso reproductivo.
- **Desinfección:** Es depositado en tanques depuradores de 10m<sup>3</sup> de capacidad, después se coloca una concentración de cloro de aproximadamente 50 ppm, para de esta manera combatir las bacterias y hongos.

- **Siembra:** Después del proceso de desinfección las plantas se deben colocar en gavetas para de esta manera facilitar el transporte, desechando las plantas que no se encuentran en buen estado.
- **Mantenimiento:** La especie Jacinto de agua, caracterizada por ser una especie que se multiplica de manera rápida es necesario realizar la podación de la especie para que de esta manera no se dañe el cerco o los conductos de obstruyan. En caso de que no se realice el podado las plantas llegan a marchitarse.

### **1.3.3.3 HUMEDALES ARTIFICIALES**

**ARIAS, Carlos y BRIX Hans. 2003.** Señala que el aumento en la generación de aguas residuales ha orillado a buscar alternativas de solución para dar un tratamiento de depuración eficaz y de bajo costo económico, uno de los tratamientos más viables es la ejecución de lagunas, de humedales artificiales y de sistemas de infiltración.

El uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales con el pasar de los años se ha ido incrementando, puesto que se ha probado que poseen un gran efecto en la disminución de materia orgánica, en la asimilación y transformación de nutrientes y así mismo en reducir las sustancias tóxicas de las aguas que son vertidas al ambiente sin tratamiento alguno.

A parte de tener la acción de depurar aguas residuales, los humedales artificiales poseen beneficios ambientales como: el mejorar calidad ambiental, ayudan en la generación de zonas de amortiguamiento y reutilización de las aguas residuales para el riego agrícola.

## CLASIFICACIÓN DE HUMEDALES ARTIFICIALES:

Los humedales artificiales tienen una clasificación muy diversa, es por eso que se sugiere una clasificación que vaya de acuerdo a la materia vegetal, tomando en cuenta sus características: **(ARIAS, Carlos y BRIX Hans. 2003)**

- a) Humedales Construidos, basado principalmente en el uso de macrófitas flotantes, por ejemplo: *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.
- b) Humedales Construidos, haciendo uso de macrófitas sumergidas, como es el caso de: *Littorell uniflora* y *Potamogeton crispus*.
- c) Humedales Construidos, empleando macrófitas de hojas flotantes, como por ejemplo: *Nymphaea alba* y *Potamogeton gramineus*.
- d) Humedales Construidos a base de macrófitas emergentes, en este caso se presentan especies como: *Thypha latifolia* y *Phragmites australis*.

Para el tratamiento de aguas residuales se puede hacer uso de cualquiera de los humedales antes mencionados, tomando en cuenta las condiciones ambientales para la adaptación de las plantas. Los humedales artificiales poseen una posible subdivisión con macrófitas: **(ARIAS, Carlos y BRIX Hans. 2003)**

- **Humedales de flujo subsuperficial.-** En los humedales de flujo horizontal, el agua tiende a distribuirse en el extremo del lecho, se infiltra y va en sentido horizontal atravesando un mecanismo granuloso de relleno, así como también las raíces de las plantas, al final del tratamiento el agua es recogida y evacuada a través de tuberías. Los humedales de flujo horizontal poseen una profundidad no excedida de 0.60 m. con una pendiente leve.

- **Sistemas híbridos.-** Es la combinación de los humedales de flujo libre con la de flujo horizontal, en este sistema el agua tiende a circular expuesta a la atmósfera. Su uso dependerá del tratamiento del agua a tratar.
- **Sistemas con flujo vertical.-** En los humedales de flujo vertical el agua va de manera descendente y percola en el humedal, la misma que es vertida y así mismo distribuida por la superficie del lecho, cuya profundidad es de 1m. Los humedales de flujo vertical poseen una cierta ventaja, puesto que tiene mayor capacidad para nitrificar el agua y en la eliminación de la DBO5.
- **Humedales artificiales de flujo superficial.-** Es un sistema que hace uso de plantas acuáticas donde el agua pasa a través de sus raíces y tallos. Estos humedales están directamente expuestos a la atmósfera, poseen una profundidad no mayor a 6 m.; y se puede decir que son una modificación de las lagunas convencionales. Dentro de estos humedales se alberga diferentes especies de aves y peces. **(DELGADILLO, Oscar et al. 2010).**

#### **1.3.3.4 AGUAS RESIDUALES**

Se conoce como aguas residuales aquellas aguas que son el resultado del sistema de abastecimiento de una población, las mismas que ya han sufrido cambios en sus características físicas y químicas, debido a la intervención de la mano del hombre, como: industrias y actividades domésticas. **(GREFA, Luis. 2013).**

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

El incremento de líquidos aumenta la necesidad de implementar sistemas de tratamiento para eliminar los contaminantes presentes en las aguas residuales. El tratamiento de estas aguas es importante para prevenir la contaminación del agua, el

mismo que puede ser utilizada para uso agrícola. **(VINUEZA, JUAN. 2014).**

### **Clasificación de aguas residuales**

Las aguas residuales de acuerdo a su lugar de origen, son clasificadas de la siguiente manera: **(GREFA, Luis. 2013).**

- a) Aguas residuales industriales.-** Estas aguas son el resultado de cada una de las actividades que se realizan dentro de las industrias. Presentan un alto índice de contaminación.
- b) Aguas residuales domésticas.-** Estas aguas son originadas por el hombre, en sus hogares; las mismas que han sido utilizadas para cocina, baño y otros.
- c) Aguas residuales pluviales.-** Estas aguas son originadas por las grandes lluvias, las mismas que son descargadas en el suelo, trayendo consigo una gran cantidad de tierra, hojas, arena, entre otros elementos.

### **Características de las aguas residuales**

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas:

- a) Características físicas**
  - **Sólidos:** Es la cantidad de materia que se queda en forma de residuo después de que el agua sea evaporada y secada a 1003°C. Los sólidos se clasifican en: totales, disueltos, sedimentales y suspendidos. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
  - **Temperatura:** La temperatura del agua residual tiene a ser más alta, esta varía entre 10 y 21°C. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
  - **Color:** El color de las aguas residuales tienden a variar, al ser recientemente desembocadas presentan un color gris y al pasar el tiempo toman un color negro a causa de

la descomposición de la materia orgánica. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**

- **Olor:** El olor del agua residual tiene a depender de varios factores, como: materia orgánica, aceites, hongos, algas, etc.; los mismos que alteran su composición. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**

#### **b) Características químicas**

- **Materia Orgánica:** Las aguas residuales está compuesta por materia orgánica, la misma que posee el 90% de proteínas, grasas, carbohidratos, aceites que provienen de orinas y excrementos de los seres vivos. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
- **Potencial de Hidrógeno (pH):** El pH nos señala el grado de acidez que posee el agua. Cuando el pH tiende a bajar nos indica acidez y si es alto hay presencia de alcalinos. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
- **Oxígeno disuelto:** Es la cantidad de oxígeno disuelto que encontramos en el agua. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5):** Es la cantidad de oxígeno que necesitamos para estabilizar la materia orgánica presente en el agua. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**

#### **c) Características biológicas**

- **Coliformes fecales:** Son microorganismos que se encuentran presentes en los intestinos del hombre y animales. Estos organismos causan enfermedades. **(ANDRADE, Kelvin. 2015)**
- **Bacterias y virus:** Microorganismos eliminados por el hombre y animales a través de las heces, que al introducirse en el agua y al ser utilizada, tienden a causar enfermedades en los seres vivos. **(ANDRADE, Kelvin. 2015).**

### 1.3.3.5 LAGUNAS DE ESTABILIZACIÓN

Con el transcurso de los años se han ido desarrollando nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, la misma que permite mejorar la calidad de estas aguas. Al principio las lagunas de estabilización eran embalses, los mismos que eran construidos como un sistema regulador para el riego agrícola. (RUIZ, Celia y OVIEDO, Cristian. 2013)

#### Tipos de lagunas de estabilización

- **Lagunas aerobias.-** Reciben a las aguas residuales que pasan por un previo tratamiento y contienen pocos sólidos suspendidos. Estas lagunas degradan la materia orgánica a través de bacterias aerobias.
- **Lagunas anaerobias.-** Estas lagunas tienen como objetivo tratar las aguas residuales haciendo uso de bacterias anaerobias. Tienen como objetivo retener los sólidos suspendidos, los mismos que pasan a integrarse a la capa de fangos los cuales son acumulados en la parte interna de la laguna.
- **Lagunas facultativas.-** Son lagunas que están conformadas por dos zonas: aerobia y anaerobia. Tienen como propósito estabilizar la materia orgánica en un medio oxigenado obtenido por la presencia de algas.
- Presentan dos importantes fuentes de oxígeno, la reaireación de la superficie y la actividad de fotosintética por parte de las algas. Las bacterias que trabajan en estas lagunas hacen uso del oxígeno generado por las algas, el mismo que lo utilizan para metabolizar aeróbicamente los compuestos orgánicos. Las lagunas facultativas tienen una profundidad que varía entre 1 y 2 metros, esta profundidad facilita tener un ambiente oxigenado.
- **Lagunas de maduración.-** Tiene como principal objetivo eliminar las bacterias patógenas presentes en el agua

residual. Así como también la nitrificación del nitrógeno amoniacal entre otros nutrientes.

- **Lagunas profundas.-** Es la combinación de la laguna facultativa, de maduración y anaerobia. Posee un alto rendimiento en la remoción de contaminantes de DBO5, materia orgánica, DQO, entre otros nutrientes.

### 1.5 Formulación del Problema

¿Qué cantidad de biomasa de la Macrófita Flotante *Eichhornia crassipes* será más eficiente para mejorar la calidad del agua residual?

### 1.6 Justificación del estudio

El acelerado crecimiento poblacional que existe en todos los países, ha ido generando contaminación de los cuerpos de agua tanto subterránea como superficial. La desigualdad de distribución del recurso hídrico y los períodos secos han impulsado a la población a buscar otras fuentes de abastecimiento, tomando como una de ellas, las aguas residuales. **(SILVA, Jorge et al. 2008).**

La presencia de contaminantes en el agua residual de las lagunas facultativas, del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro – Ferreñafe, afecta a los pobladores y a la vegetación que lo rodea, debido a que no cumple con el tratamiento adecuado.

Razón por la cual se quiere llevar a cabo esta investigación, la misma que consiste en utilizar las aguas de estas lagunas en un humedal artificial, para colocar ahí la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, en diferentes proporciones y que estas realicen la disminución/remoción de contaminantes. Estas aguas tratadas serán utilizadas por los pobladores de la zona.

## 1.7 Hipótesis

Si aumentamos la biomasa de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en un humedal artificial, entonces se mejorará la calidad del agua residual.

## 1.8 La Objetivos

### 1.7.1 Objetivo General

- Determinar la eficiencia de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en distintas cantidades de biomasa en un humedal artificial para mejorar la calidad del agua residual.

### 1.7.2 Objetivos Específicos

- Construir un humedal artificial a base de laboratorio, para que las aguas residuales sean depositas ahí y se inicie el tratamiento.
- Analizar parámetros físicos y químicos del estado actual de las aguas residuales.
- Aplicar la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en el humedal artificial en diferentes cantidades de biomasa.
- Analizar los parámetros físicos y químicos del agua residual, después del tratamiento con la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*.

## II. MÉTODO

### 2.1. Diseño de Investigación

- El diseño de Investigación es No Experimental con prueba de hipótesis.
- Muestreo no probabilístico, longitudinal por conveniencia

## 2.2. Variables, Operacionalización

CONCEPTUAL	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	RANGOS
EFICIENCIA DE LA MACRÓFITA FLOTANTE <i>Eichhornia crassipes</i>	Según GARCIA, Z. 2012 La eficiencia de la macrófita flotante <i>Eichhornia crassipes</i> se define como la capacidad depuradora que posee la especie para remover los nutrientes presentes en los diferentes tipos de aguas residuales, donde cada una de sus partes cumplen funciones, el proceso fotosintético que es realizado en la superficie del agua y sus raíces que se expanden hacia la parte de abajo del agua	Para determinar la eficiencia de la MACROFITA FLOTANTE <i>Eichhornia crassipes</i> , se aplicará en diferentes proporciones en dos humedales, que contendrán 25 litros de agua residual cada una, para ver la acción depuradora de la planta en el agua. Convirtiéndola en un agua apta para labores domésticas.		Temperatura	20 – 30° C
				pH	6,86 – 10,42
				Biomasa	>=1 kg

CONCEPTUAL Uni de Medida	DEF. CONCEPTUAL	DEF. OPERACIONAL	DIMENSION Rangos	INDICADORES		
CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL	La calidad de agua residual se define a la minimización de efectos negativos presentes en el agua, el mismo que ocasiona grandes variaciones, afectando su composición	Una vez que el agua residual se encuentre en los humedales se colocará aquí las macrófitas flotantes en diferentes proporciones de biomasa, y se tomará en cuenta los parámetros físicos químicos antes y después del tratamiento, para luego ser comparados con los ECA.	P. Físicas	Temperatura	°C	Variación de 3° Celsius de acuerdo al área
			P. Químicas	pH	mg/L	6,5 – 8,4
				DBO5	mg/L	<=15
				DQO	mg/L	<=40
		Sólidos Disueltos Totales		1000		

## **2.3. Población y muestra**

### **Población:**

- La población de estudio realizado, fueron las aguas residuales que están almacenadas en las lagunas facultativas del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro.

### **Muestra:**

- Para los análisis se utilizó 2 litros de agua antes del tratamiento y así respectivamente otros 2 litros de agua en las distintas fechas que se realizó la toma de muestras para los respectivos análisis

### **Muestreo:**

- Por conveniencia

## **2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez**

### **2.4.1. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:**

La técnica que se empleó en la investigación fue la de observación, se llevó a cabo monitoreos al humedal en diferentes fechas.

En instrumentos se hizo uso de fichas para la recolección de datos del tratamiento, el paquete estadístico – software SPSS y también se empleó el programa Office Excel y Minitab.

### **2.4.2. Técnica de campo**

El lugar identificado para llevar a cabo el tratamiento fue el Distrito Manuel Antonio Mesones Muro – Ferreñafe, el mismo que cuenta con un sistema de tratamiento de aguas residuales basado en lagunas facultativas. El agua residual que se utilizó fue tomado de la salida (efluente) de estas lagunas facultativas, fueron llevadas a otro sector, para realizar un tratamiento piloto a menor escala, para observar el rendimiento del macrófito *Eichhornia crassipes*.

#### **- Primera etapa**

La primera etapa consistió en la recopilación de información acerca de mis variables, para de esta manera tener en cuenta cada uno de sus indicadores y así mismo los resultados que se han obtenido del macrófito flotante *Eichhornia crassipes* aplicado en un humedal artificial. A partir de esta información se llevó a cabo el presente proyecto de investigación, con el propósito de mejorar la calidad del agua residual.

- **Segunda etapa**

Una vez que se obtuvo toda la información necesaria se pasó a construir el humedal artificial de flujo superficial, en el mismo que se colocó el macrófito flotante *Eichhornia crassipes*, para de esta manera empezar con el tratamiento.

- **Aplicación del macrófito flotante *Eichhornia crassipes* en el humedal artificial**

La aplicación de esta especie se basó en la información que recopilada de los diferentes lugares que se han llevado a cabo este tratamiento. De acuerdo a la información encontrada, no establece una cierta cantidad para la aplicación de la especie, razón por la cual, la cantidad de biomasa fue dada por una misma. Se colocó 0,153 gr de *Eichhornia crassipes* en el primer humedal (H1) y 0,313 gr en el segundo (H2)

**Ubicación**

Las lagunas facultativas ubicadas en el Distrito Manuel Antonio Mesones Muro.

**Diagnóstico**

Una vez que se reconoció el área, se procedió a tomar una muestra para realizar un tratamiento piloto, y de esta manera observar el comportamiento de la especie y así mismo analizar su crecimiento y junto a ello realizar los análisis de las aguas residuales para comprobar su efectividad en remoción de contaminantes.

### **2.4.3. Toma de muestra, preservación y traslado**

Una vez que las aguas residuales fueron puestas en los humedales artificiales, se procedió a colocar las diferentes cantidades de biomasa del macrófito flotante *Eichhornia crassipes* en cada uno de los humedales. El procedimiento que se llevó a cabo fue el siguiente:

- La toma de muestra se realizó en un solo punto de cada humedal. Para el recojo de muestras se hizo uso de guardapolvo, guantes, envases de 1 L para los análisis de DBO y DQO, y para el análisis de los otros parámetros se hizo uso de envases de 100 ml.
- Para transportar las muestras al laboratorio (EPSEL), lugar donde se realizó los análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO, se hizo uso de un cooler, el mismo que al momento de llevar las muestras debía contener hielo para mantener el estado natural del agua residual. Los demás parámetros que se consideró fueron analizados en el laboratorio de la Universidad César Vallejo.

### **2.4.4. Proceso y Análisis de parámetros**

En el siguiente punto se llevó en el laboratorio en dónde se realizó el proceso y análisis de los distintos parámetros. Los parámetros que se tomaron en cuenta fueron los siguientes: pH, conductividad eléctrica, temperatura, oxígeno disuelto, sólidos suspendidos totales. Los análisis se realizaron semanalmente.

#### **Análisis para determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas residuales**

La medición de los siguientes parámetros, se determinó utilizando el Multiparameter Waterproof Meter (medidor impermeable multiparámetro) marca HANNA HI98194.

- pH
- Conductividad eléctrica
- Oxígeno disuelto
- Sólidos disueltos totales (Tds)
- Temperatura

Por otro lado para la determinación de la DBO<sub>5</sub> y DQO se hizo uso de los métodos:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

El método que se utilizó para la determinación de la DBO<sub>5</sub> fue consultada en el libro de Standard Methods for the examination of water & wastewater edición 21, método 5210 B. 5-Day BOD Test (Prueba de DBO de 5 días).

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

El método que se utilizó para la determinación de la DQO fue consultada del libro de Standard Methods for the examination of water & wastewater edición 21, método 5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method (REFLUJO CERRADO, MÉTODO COLORIMÉTRICO).

#### **2.4.5. Descripción del sistema de tratamiento**

Para realizar el tratamiento del agua residual generada por los habitantes del Distrito Mesones Muro, se hizo uso de dos humedales artificiales, en cada uno se colocó 25 litros del agua residual, y se procedió a colocar la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, en diferentes cantidades; en el primer humedal (H1) se colocó 0,313 gr del macrófita y en el segundo humedal (H2) se colocó 0,153 gr del mismo. A cada humedal se le adecuó un sistema de aireación para que las plantas puedan realizar su función fotosintética y así mismo se colocó un sistema de iluminación, puesto que estas plantas requieren de gran iluminación. El agua residual se mantuvo en estos humedales por

un periodo de 20 días en donde se realizaron los respectivos análisis durante fechas diferentes.

#### 2.4.6. Validez

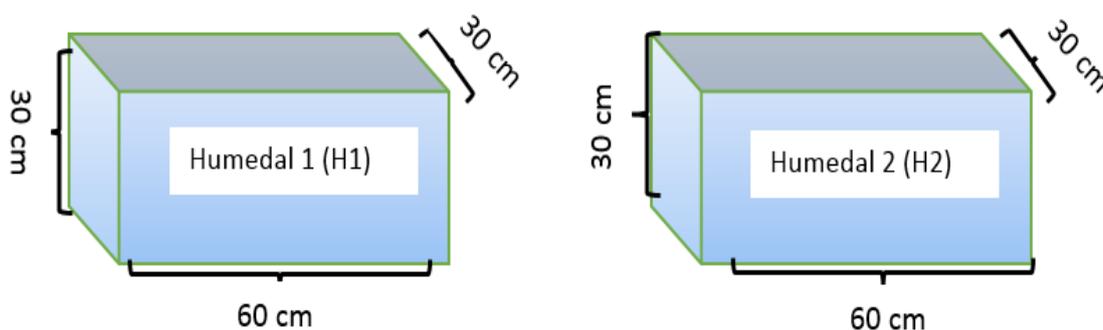
La validez de los resultados de DBO y DQO del presente trabajo de investigación se dio a través de los análisis certificados por la empresa EPSEL, ya que estos análisis se llevaron a cabo dentro de este laboratorio con ayuda de la Ingeniera encargada del área. También fue validado por la Ingeniera encargada del Laboratorio de la Universidad César Vallejo, puesto que se realizaron análisis físicos y químicos con la debida supervisión.

### 2.5. Métodos de análisis de datos

#### 2.5.1. Elaboración de humedales artificiales

Se hizo uso de dos humedales artificiales de vidrio. Ambas con las siguientes medidas: 60 cm de largo, 30 cm de alto y 30 cm de ancho, el mismo que abasteció 25 litros del agua residual a tratar.

**Figura 1** : Medidas del humedal artificial

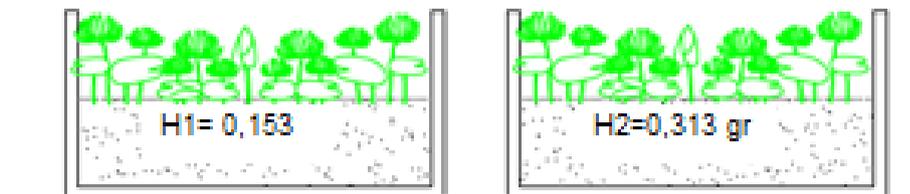


**Fuente:** Elaboración propia

## 2.5.2 Aplicación del Macrófito Flotante *Eichhornia crassipes*

En los humedales construidos y teniendo el agua residual ahí se pasó a colocar la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, en diferentes cantidades: 0.153 g en el humedal 1 (H1) y 0,313 g en el humedal 2 (H2).

**Figura 2: Cantidades de biomasa de *Eichhornia crassipes* en H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

## 2.5.3 Muestra y datos de análisis realizados

Una vez colocada la macrófita *Eichhornia crassipes* en el agua residual, se empezó el tratamiento. Se tomó una muestra de un 1L del agua residual en todas las fechas de muestreo, para realizar los respectivos análisis fisicoquímicos.

**Tabla 1: Primer Análisis fisicoquímico – 28 de octubre**

PARÁMETROS	HUMEDAL1 (H1) CON 0.153 gr de <i>Eichhornia crassipes</i>	HUMEDAL2 (H2) CON 0.313 gr de <i>Eichhornia crassipes</i>
<i>pH</i>	7,96	7,72
<b>DBO5 (mg/l)</b>	335	104.5
<i>DQO mg /l</i>	299	104
<i>Sólidos Disueltos Totales (mg/l)</i>	445	178
<i>Temperatura (°C)</i>	23.95	23.81

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 2: Segundo Análisis fisicoquímico – 02 de noviembre**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HUMEDAL1 (H1) CON 0.153 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>	<b>HUMEDAL2 (H2) CON 0.313 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>
<i>pH</i>	7.84	7,76
<b>DBO5 (mg/l)</b>	230	52.9
<b><i>DQO mg</i> <i>/l</i></b>	267	78
<b><i>Sólidos Disueltos</i> <i>Totales (<math>\frac{mg}{l}</math>)</i></b>	330	98
<b><i>Temperatura (°C)</i></b>	27.23	23.06

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 3: Tercer Análisis fisicoquímico – 07 de noviembre**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HUMEDAL1 (H1) CON 0.153 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>	<b>HUMEDAL2 (H2) CON 0.313 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>
<i>pH</i>	7.84	7,72
<b>DBO5 (mg/l)</b>	159	43.4
<b><i>DQO mg</i> <i>/l</i></b>	240	51
<b><i>Sólidos Disueltos</i> <i>Totales (<math>\frac{mg}{l}</math>)</i></b>	303	83.4
<b><i>Temperatura (°C)</i></b>	22.54	22.18

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 4: Cuarto Análisis fisicoquímico – 12 de noviembre**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HUMEDAL1 (H1) CON 0.153 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>	<b>HUMEDAL2 (H2) CON 0.313 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>
<i>pH</i>	7.82	7.70
<b>DBO5 (mg/l)</b>	98	30.2
<i>DQO mg /l</i>	99.5	17
<i>Sólidos Disueltos Totales (<math>\frac{mg}{l}</math>)</i>	264	75
<i>Temperatura (°C)</i>	21.71	21.67

**Fuente: Elaboración propia**

**Tabla 5: Quinto Análisis fisicoquímico – 17 de noviembre**

<b>PARÁMETROS</b>	<b>HUMEDAL1 (H1) CON 0.153 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>	<b>HUMEDAL2 (H2) CON 0.313 gr de <i>Eichhornia crassipes</i></b>
<i>pH</i>	7.77	7,66
<b>DBO5 (mg/l)</b>	40.5	8
<i>DQO mg /l</i>	52	7
<i>Sólidos Disueltos Totales (<math>\frac{mg}{l}</math>)</i>	104.4	55.3
<i>Temperatura (°C)</i>	21.65	22.58

**Fuente: Elaboración propia.**

#### 2.5.4 Producción de Biomasa

La producción de la biomasa nos indica la cantidad de cosecha en los humedales artificiales (**GARCIA, Z. 2012**). En este caso sólo se realizó una cosecha (final), debido al corto tiempo (25 días) de tratamiento de las aguas residuales del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro.

Para el cálculo de Biomasa se utilizó la siguiente operación:

$$\Delta P = P_f - P_i$$

**Dónde:**

**$\Delta P$ :** Producción de biomasa

**$P_f$ :** Peso final

**$P_i$ :** Peso inicial

#### 2.6. Aspectos éticos

En el recorrido de nuestra carrera profesional nos vemos enfrentados ante varias normas, las cuales han sido establecidas por la sociedad que nos rodea.

El principal aspecto ético es que todo lo establecido en este trabajo es verídico, debido a que se aplicó información teórica de autores que han hecho de estos análisis resultados verdaderos, aplicándolos y obteniendo resultados en su investigación.

Por otro aspecto la información contenida en este trabajo de investigación está enfocado principalmente en la reutilización de las aguas residuales, puesto que es un recurso natural de vital importancia; haciendo uso de una especie vegetal, a misma que no requiere de más costo económico.

### III. RESULTADOS

#### 3.1 Análisis antes del tratamiento

Resultados del estado actual del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, donde se han tomado en cuenta cinco parámetros, los mismos que se han buscado reducir en el tratamiento haciendo uso de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*.

**Tabla 6: Análisis fisicoquímicos del agua residual antes del tratamiento**

PARÁMETROS	Agua residual generada por el Distrito Manuel A. Mesones Muro
<i>pH</i>	8.75
DBO5 (mg/l)	345
DQO mg /l	350
Sólidos Disueltos Totales ( $\frac{mg}{l}$ )	459
Temperatura (°C)	25.30

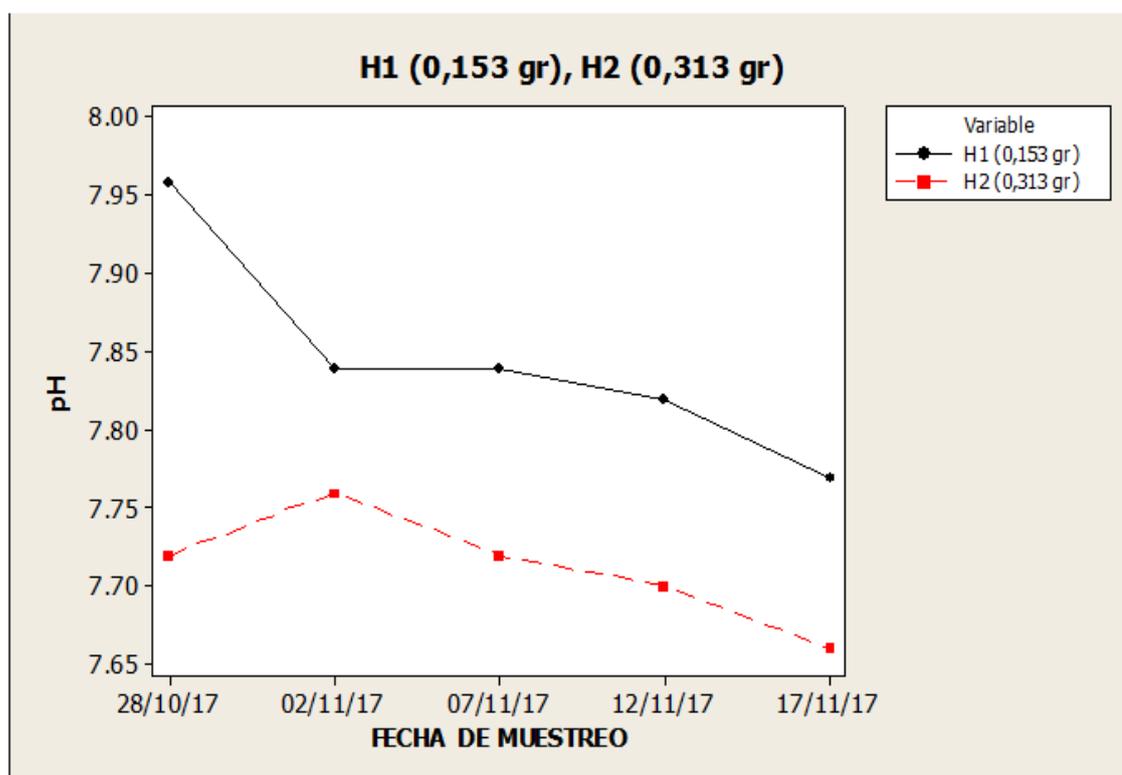
**Fuente: Elaboración propia.**

En la tabla N° 6 se puede observar el estado actual de los parámetros del agua residual generada por el Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, las mismas que comparadas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA). Se toma en consideración que la DBO5 y DQO, puesto que como se observa en la tabla, estos parámetros sobrepasan los límites, siendo  $\leq 15$  mg/l para la DBO5 y  $\leq 40$  mg/l para la DQO.

### 3.2 Resultados de los Parámetros

A continuación se detallan los resultados obtenidos de los análisis fisicoquímicos realizados en el laboratorio de Microbiología y Biotecnología de la Universidad César Vallejo y en el laboratorio de EPSEL.

**Figura 3: Comportamiento del pH en H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

En la Figura N°03, se muestra las fechas de los 5 muestreos que se realizaron al agua residual en tratamiento con la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, en dónde nos detalla que:

En la primera fecha de muestreo realizado el 28/10/17, se obtuvo un pH de 7.96 en el humedal (H1) con 0,153 gr de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* y en el humedal (H2) con 0,313 gr de la macrófita se obtuvo un pH de 7.72.

En la segunda fecha de muestreo realizado el 02/11/17, se obtuvo un pH de 7.84 en el H1 y en el H2 un pH de 7.76.

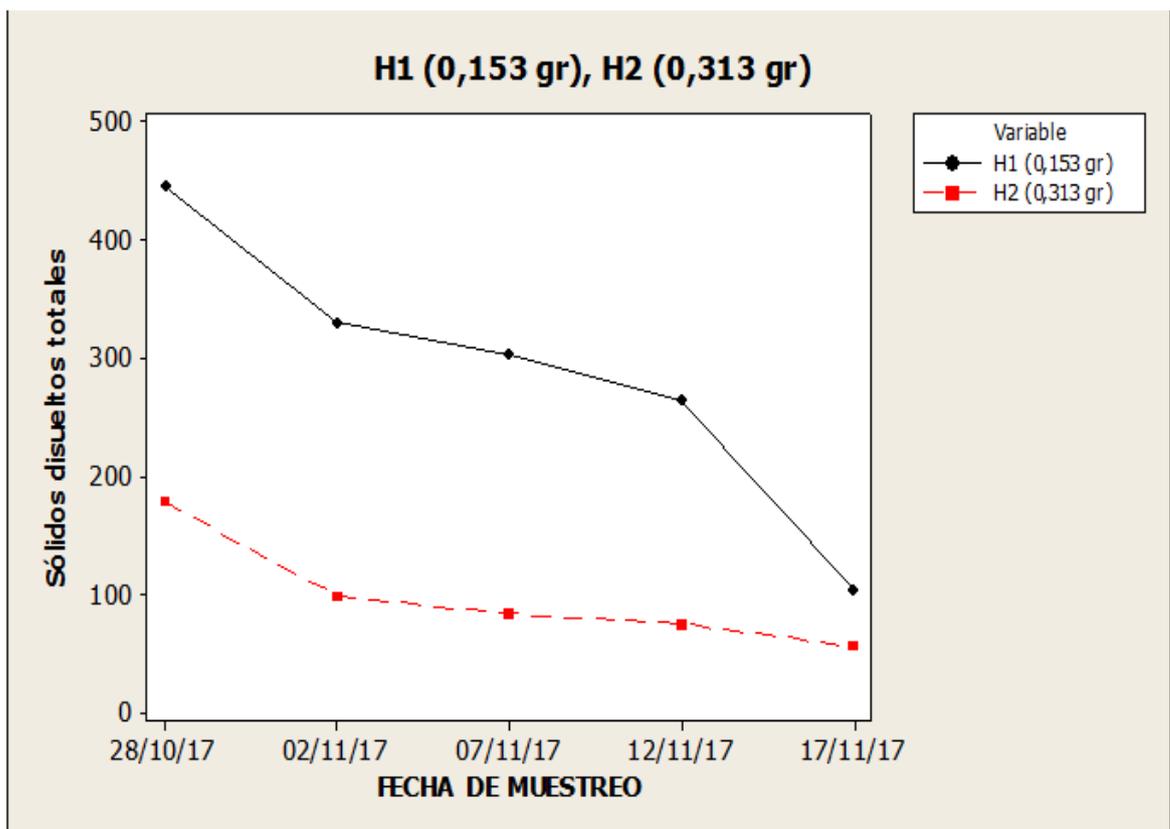
En la tercera fecha de muestreo realizado el 07/11/17, se obtuvo un pH de 7.84 en el H1 y en el H2 un pH de 7.72.

En la cuarta fecha de muestreo realizado el 12/11/17, se obtuvo un pH de 7.82 en el H1 y en el H2 un pH de 7.70.

La última fecha de muestreo realizado el 17/11/17, se obtuvo un pH de 7.77 en el H1 y en el H2 un pH de 7.66.

De acuerdo a la Tabla N°6, donde muestra que el pH del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro es de 8.75; se observa una disminución de rango de este parámetro, siendo el más bajo el del H2 con 7.66 de pH.

**Figura 4: Comportamiento de Sólidos disueltos totales mg/L en H1 y H2**



Fuente: Elaboración propia

En la Figura N° 04, se muestra los resultados de los análisis en cuanto a los sólidos disueltos totales, los mismos que se realizaron en 5 fechas diferentes obteniendo los siguientes datos:

En la primera fecha de muestreo realizado el 28/10/17, se obtuvo un valor 445 mg/L en la muestra obtenida del humedal (H1) con 0,153 gr de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* y en el humedal (H2) con 0,313 gr de la macrófita se obtuvo 179 mg/L de sólidos disueltos totales.

En la segunda fecha de muestreo realizado el 02/11/17, se obtuvo un valor de 330 mg/L de sólidos disueltos totales en el H1 y en el H2 los sólidos disueltos totales fueron de 98 mg/L.

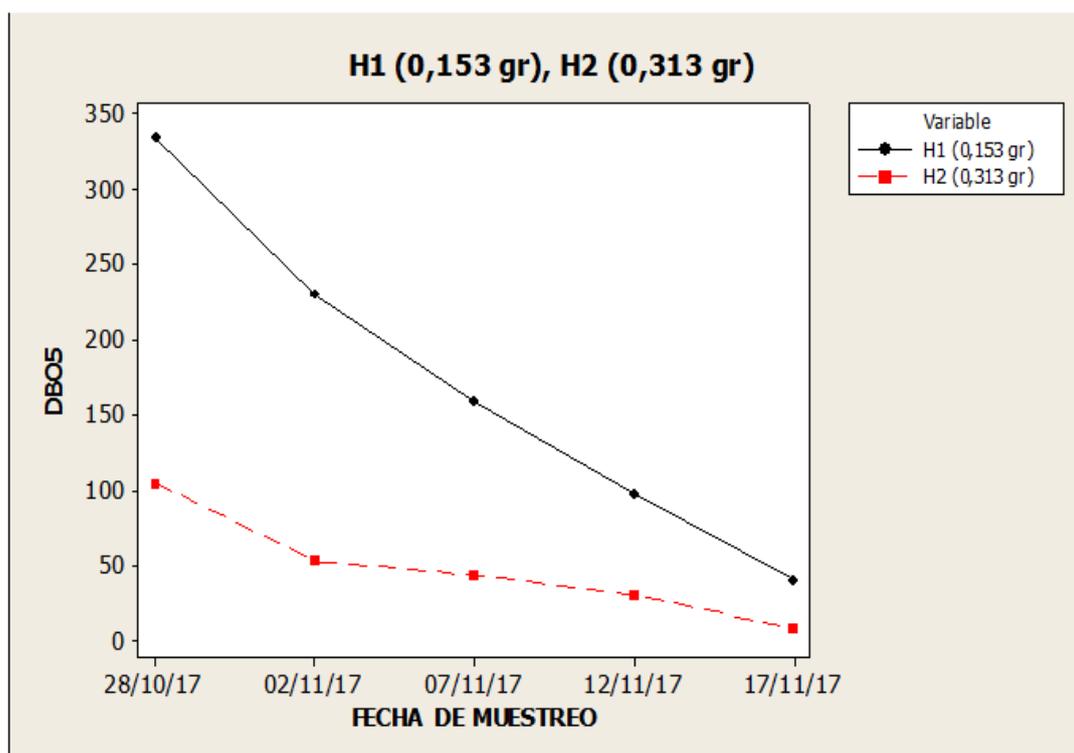
En la tercera fecha de muestreo realizado el 07/11/17, se obtuvo un valor de 303 mg/L de sólidos disueltos totales en el H1 y en el H2 los sólidos disueltos totales fueron de 83.4 mg/L.

En la cuarta fecha de muestreo realizado el 12/11/17, se obtuvo un valor de 264 mg/L de sólidos disueltos totales en el H1 y en el H2 los sólidos disueltos totales fueron de 75 mg/L.

La última fecha de muestreo realizado el 17/11/17, se obtuvo un valor de 104.4 mg/L de sólidos disueltos totales en el H1 y en el H2 los sólidos disueltos totales fueron de 55.3 mg/L.

De acuerdo a la Tabla N°6, donde muestra que el valor de los sólidos disueltos totales del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro es de 459 mg/L; se observa una disminución de rango de este parámetro, siendo el más bajo el del H2 con un valor final de 55.3 mg/L de SDT.

**Figura 5: Comportamiento de la DBO5 mg/L en H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

En la Figura N° 05, se realizó 5 muestreos en diferentes fechas al agua residual almacenadas en los humedales artificiales H1 y H2, en donde se analizó la DBO5 y se obtuvieron los siguientes datos:

En el muestreo realizado el 28/10/17, se obtuvo una DBO5 de 335 mg/L en la muestra obtenida del humedal (H1) con 0,153 gr de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* y en el humedal (H2) con 0,313 gr de la macrófita se obtuvo 104 mg/L de DBO5.

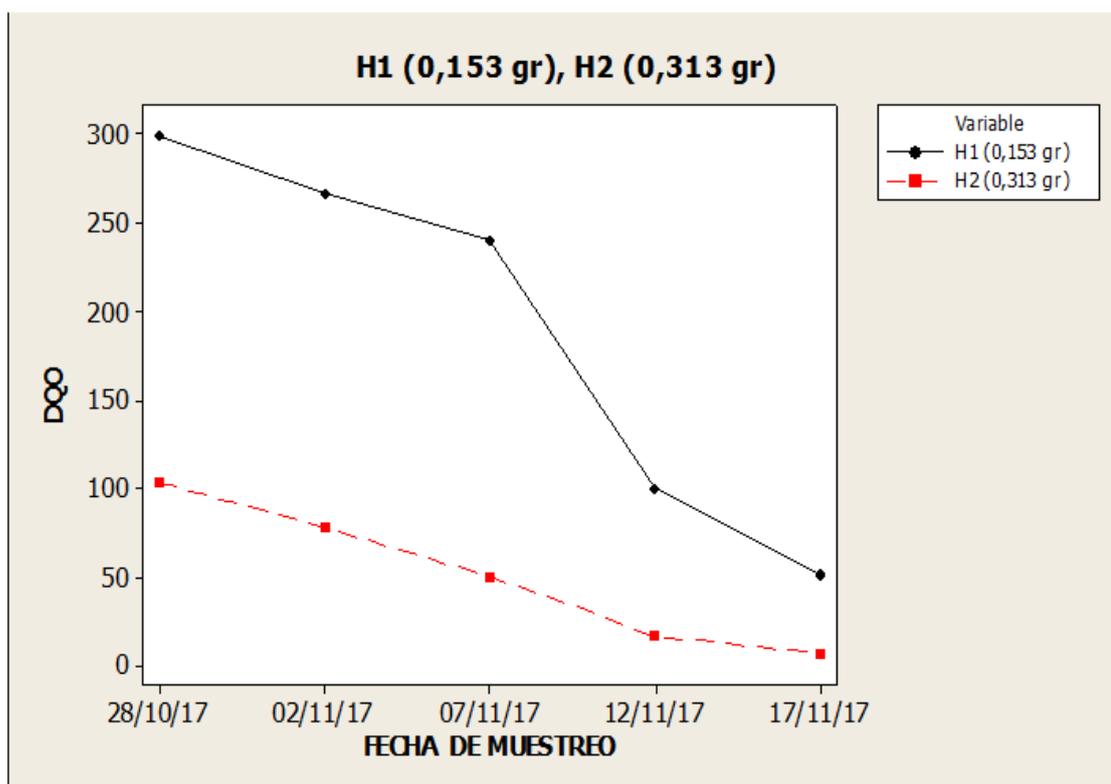
En la segunda fecha de muestreo realizado el 02/11/17 la DBO5 del H1 disminuyó a 230 mg/L, en cuánto al H2 se observa una mayor remoción teniendo 52,9 mg/L de DBO5. En el muestreo realizado el 07/11/17, para el H1 se obtuvo 159 mg/L de DBO5, sin embargo en el H2 se obtuvo un resultado de 43,4 mg/L de DBO5.

En la cuarta fecha de muestreo realizado el 12/11/17, se tomó muestra del H1 teniendo como resultado una DBO5 de 98 mg/L y así mismo en el H2 se obtuvo un resultado de 30,2 mg/L de DBO5. La última fecha de muestreo realizado el 17/11/17 se obtuvo una gran remoción de DBO, teniendo como

resultados final un 40,5 mg/L de DBO5 en el H1, siendo mayor la remoción en el H2 con un valor de 8 mg/L de DBO5.

De acuerdo a la Tabla N°6, donde se muestra que el valor de la DBO5 del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro es de 345 mg/L. Con la aplicación de diferentes cantidades de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en dos humedales artificiales H1 y H2, se observa una mayor remoción en el H2 con 0,313 gr de la macrófita, puesto que su valor final fue de 8 mg/L de DBO5.

**Figura 6: Comportamiento de la DQO (mg/L) en H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

En la Figura N° 06, se realizó 5 muestreos en fechas diferentes, las mismas que fueron tomadas de los humedales artificiales H1 y H2. Los datos que se obtuvieron en relación a la DQO, fueron los siguientes:

En el muestreo realizado el 28/10/17, se obtuvo una DQO de 299 mg/L en la muestra obtenida del humedal (H1) con 0,153 gr de la macrófita flotante

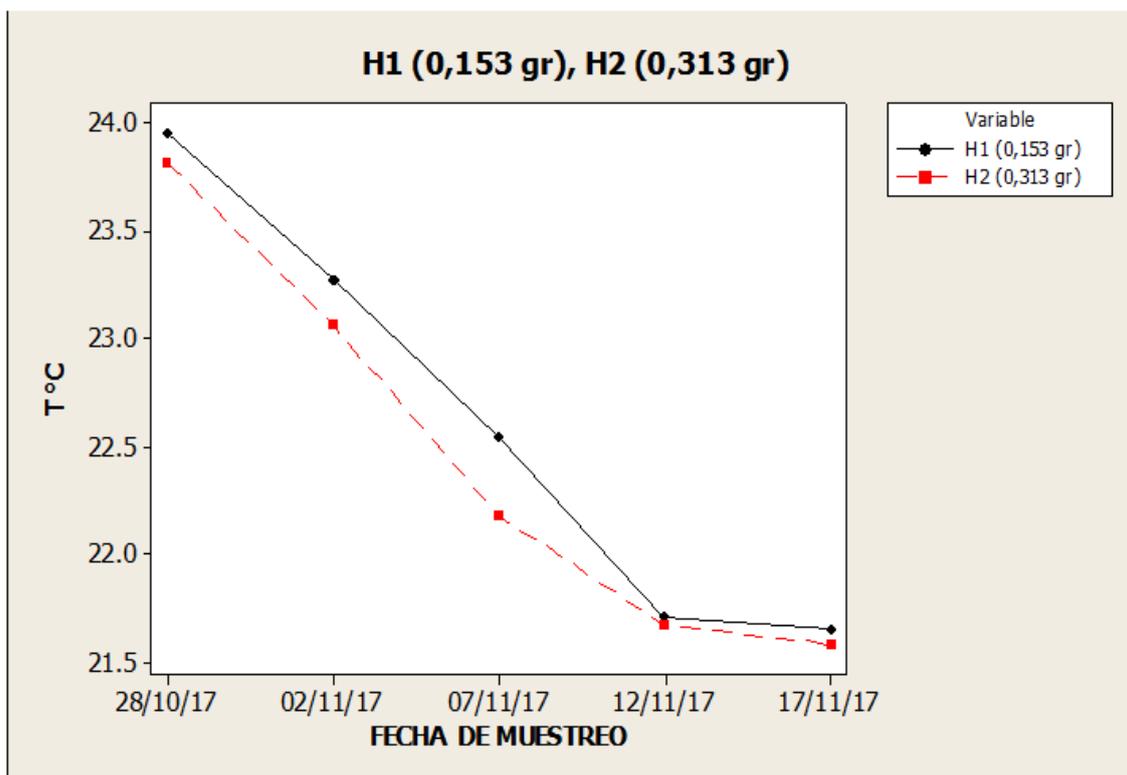
*Eichhornia crassipes* y en el humedal (H2) con 0,313 gr de la macrófita se obtuvo 104 mg/L de DQO.

En la segunda fecha de muestreo realizado el 02/11/17 la DQO del H1 disminuyó a 267 mg/L, en cuánto al H2 se observa una mayor remoción teniendo 78 mg/L de DQO. En el muestreo realizado el 07/11/17, para el H1 se obtuvo 240 mg/L de DQO, sin embargo en el H2 se obtuvo un resultado de 51 mg/L de DQO.

En la cuarta fecha de muestreo realizado el 12/11/17, se tomó muestra del H1 teniendo como resultado una DQO de 99,5 mg/L y así mismo en el H2 se obtuvo un resultado de 17 mg/L de DQO. La última fecha de muestreo realizado el 17/11/17 se obtuvo una gran remoción de DQO, teniendo como resultados final un 52 mg/L de DQO en el H1, siendo mayor la remoción en el H2 con un valor de 7 mg/L de DQO.

De acuerdo a la Tabla N°6, donde se muestra que el valor de la DQO del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro es de 350 mg/L. Con la aplicación de diferentes cantidades de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en dos humedales artificiales H1 y H2, se observa una mayor remoción en el H2 con 0,313 gr de la macrofita, puesto que su valor final fue de 7 mg/L de DQO.

**Figura 7: Comportamiento de la Temperatura (°C) en H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

En la Figura N° 07, se realizó 5 muestreos en fechas diferentes, las mismas que fueron tomadas de los humedales artificiales H1 y H2. Los datos que se obtuvieron en relación a la temperatura (°C), fueron los siguientes:

En la primera fecha de muestreo realizado el 28/10/17, se obtuvo una temperatura de 23.95°C en el humedal (H1) con 0,153 gr de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* y en el humedal (H2) con 0,313 gr de la macrófita se obtuvo una temperatura de 23.81°C.

En la segunda fecha de muestreo realizado el 02/11/17, se obtuvo una temperatura de 23.27°C en el H1 y una temperatura de 23.06°C en el H2.

En la tercera fecha de muestreo realizado el 07/11/17, se obtuvo una temperatura de 22.54°C en el H1 y una temperatura de 22.18°C en el H2.

En la cuarta fecha de muestreo realizado el 12/11/17, se obtuvo una temperatura de 21.71°C en el H1 y una temperatura de 22.67°C en el H2.

La última fecha de muestreo realizado el 17/11/17, se obtuvo una temperatura de 21.65°C en el H1 y una temperatura de 21.58°C en el H2.

De acuerdo a la Tabla N°6, donde se muestra la Temperatura del agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro es de 24.30°C. La temperatura no varió mucho en ambos humedales. Este parámetro se tomó en cuenta principalmente para la reproducción de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*.

### 3.3 Resultados de producción de Biomasa de la Macrofita Flotante *Eichhornia crassipes*

A continuación se muestra la producción de biomasa de los Humedales: Humedal 1 (H1) y Humedal 2 (H2):

**Tabla 7: Cálculo de la Producción de Biomasa**

<b>Producción de Biomasa</b>	<b>Unidad</b>	<b><i>Eichhornia crassipes</i> (H1)</b>	<b><i>Eichhornia crassipes</i> (H2)</b>
Peso inicial (Pi)	g	0.153	0.313
Peso final (Pf)	g	0.437	0.845
Producción de biomasa ( $\Delta P$ )	g	0.284	0.532

**Fuente: Elaboración Propia**

En la Tabla N°7 se muestra la cantidad de biomasa, puesta en el Humedal 1 (H1), en donde se muestra el peso inicial de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*, con un valor de 0.153 g y el peso final fue de 0.437. Para determinar la producción de biomasa de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* en el H1, se pasó a restar el peso final con el peso inicial, obteniendo una producción de biomasa de 0.284 gr de la macrofita.

En cuanto al Humedal 2 (H2), al inicio se pesó una cantidad de 0.313 g de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*, el peso final fue de 0.845 g. De la misma manera, para determinar la producción de biomasa en el H2 se pasó

a restar el peso final con el peso inicial, dando como resultado una producción de biomasa de 0.532 gr de la macrofita.

En ambos humedales H1 y H2, sólo se realizó una cosecha (peso final), debido al corto tiempo del tratamiento. Las plantas permanecieron en los humedales por un periodo de 20 días.

### 3.4 Procesamiento de Datos Estadísticos

Los análisis realizados fueron procesados en el software SPSS.

**Tabla 8: Interpretación de Hipótesis**

<b>MÉTODO</b>	
<b>HIPÓTESIS NULA</b>	$\mu_1 = \mu_2$
<b>HIPÓTESIS ALTERNATIVA</b>	$\mu_1 \neq \mu_2$
<b>NIVEL DE SIGNIFICANCIA</b>	$\alpha = 0.05$

**Fuente: Elaboración propia**

En la Tabla N° 08 se observa la Hipótesis Nula, la misma que significa que: la remoción de contaminantes en el H1 con 0.153 g de la macrofita flotante *Eicchornia crassipes*, es igual a la remoción del H2 con 0.313 g de la macrofita. La Hipótesis Alternativa, nos dice que la remoción de contaminantes del H1 y H2, son diferentes; puesto que depende de la cantidad de biomasa de la macrofita. Se tiene un nivel de significancia de 0.05.

**Tabla 9: Resultados en relación al Humedal 1 (H1) y Humedal 2 (H2)**

PARÁMETROS	H1 CON 0.153 g de la macrofita flotante <i>Eichhornia crassipes</i>	H2 CON 0.313 g de la macrofita flotante <i>Eichhornia crassipes</i>
Sólidos disueltos totales mg/L	289.28	97.94
DBO5 mg/L	172.5	47.8
DQO mg/L	191.5	51.8

**Fuente: Elaboración propia**

En la tabla N° 09, se presentan los promedios de los resultados de las 5 evaluaciones que se han hecho han realizado al agua residual de los humedales H1 y H2.

**Tabla 10: Estadísticos de grupo**

HUMEDAL	N	MEDIA	DESVIACION TIPICA	ERROR TIP DE LA MEDIA
H1	3	217,7600	62,66245	36,17818
H2	3	65,2867	27,54512	15,90318

**Fuente: Elaboración propia**

En la Tabla N°10, se muestra que el promedio de contaminantes en cuanto a los parámetros, en el Humedal 1 (H1) con 0.153 g de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* es de 62,66245 y el promedio de contaminantes presentes en el H2 con 0.313 g de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* es de 27,54512.

**Tabla 11: Prueba de Muestras Independientes**

	Prueba de Levene para la Igualdad de Varianza		Prueba T para igualdad de medias			Intervalo de confianza para la inferencia			
	F	Sig	t	gl	Sig(Bilateral)	Diferencia de medias	Error típico de la diferencia	Interior	Superior
<b>EMISION: Se han asumido varianzas iguales</b>	3,496	,013	3,858	4	,036	152,47333	39,51926	42,75027	262,19640
<b>No se han asumido varianzas iguales</b>			3,858	2,745	,018	152,47333	39,51926	19,83350	285,11317

En la Tabla N° 11, se demostró que las varianzas son diferentes ya que el P valor es igual a 0.013 y es menor que alfa 0.05 donde se rechaza la Hipótesis nula. También se observa que la diferencia de promedios con el intervalo de confianza es diferente de cero, siendo un intervalo positivo, se deduce que  $\mu_1 > \mu_2$ , concluyendo que en el Humedal 1, con una cantidad de biomasa de 0.153 g de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* hay mayor presencia de contaminantes, en comparación con el Humedal 2, el cual tiene una cantidad de 0.313 g de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*. Aceptando la Hipótesis Alternativa y rechazando la Nula..

#### IV. DISCUSIÓN

En la investigación realizada por **ARTERO, Ingrid y QUISQUE, Maira. 2012**, llevó a cabo una investigación experimental donde hizo uso de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* en microhumedales artificiales con agua residual doméstica. El presente trabajo de investigación fue no experimental con prueba de hipótesis, donde hice uso de las aguas residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, y el periodo de tratamiento de estas aguas residuales tuvo una duración de 20 días, mientras que **ARTERO** lo realizó en un periodo de 6 semanas, los resultados de los análisis que realizó en su investigación, fueron los siguientes: En relación a la temperatura varió entre 15 y 30°C, mientras que en esta investigación la temperatura se mantuvo entre los 23.95 y 21.58°C, el cual demuestra que mi rango de temperatura fue más apto en relación al hábitat de la macrofita. Su pH se mantuvo entre 5.5 y 9, por otro lado en este tratamiento el pH se mantuvo entre 7.96 y 7.66 en ambos humedales H1 y H2. En la investigación que llevó a cabo dicho autor, tuvo una remoción considerada en la DBO5, teniendo como resultado final 65 mg/L; en los SDT se removió < 0.2 mg/L. Por otro lado en la presente investigación se tuvo una remoción de DBO5 a 8 mg/L.

**POVEDA, Rebeca. 2014**, su investigación se llevó a cabo para mejorar la calidad de las aguas residuales vertidas por industrias. Para el tratamiento de estas aguas hizo uso de la especie *Eichhornia crassipes*. Los resultados obtenidos a los 30 días fueron los siguientes: la producción de biomasa de la especie *Eichhornia crassipes* fue de 0,67 g en peso seco, mientras que en esta investigación en el periodo de 20 días, en el H1 se obtuvo 0.284 g y en el H2 una cantidad de 0.532 g de biomasa de la macrofita, siendo estas cantidades el peso en húmedo. Los sólidos totales disminuyeron a 510 ppm, mientras que en los humedales se obtuvo una remoción de 459 – 104 mg/L en el H1 y en el H2 una disminución de 459 – 55.30 mg/L de sólidos disueltos totales. En relación a la DBO5 su remoción fue de 20 a 0,6 ppm, mientras que, en mis humedales se tuvo una remoción de 345 a 40.50 mg/L para el H1 y en el H2 de 345 a 8 mg/L de DBO5. Comparando con los

resultados, en ambas investigaciones se observa la remoción de contaminantes haciendo uso de la especie *Eichhornia crassipes*.

**FIALLOS N, Liliana y RAMIRO, J. 2011**, realizó un trabajo de investigación con diseño experimental AxB, con dos réplicas, en donde aplicó el lechuguín, las muestras se tomaron en diferentes fechas: 0, 10, 20 y 30 días. Los resultados que se obtuvo en la investigación de **FIALLOS**, sus resultados fueron los siguientes: la temperatura se mantuvo entre los 18.50 y 18.20°C, en comparación a esta investigación el rango de temperatura se mantuvo entre los 23.95 y 21.58; en la investigación del autor el pH se mantuvo en el rango de 7, en sus resultados de DBO5 y DQO tuvo una considerable remoción: 8.40 mg/L y 52 mg/L. Esto indica que ambas investigaciones hubo gran remoción de contaminantes por parte de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*.

**GARCIA Trujillo, Zarela. 2012**, en su trabajo de investigación hizo uso de la *Eichhornia crassipes*. Hizo uso de un humedal artificial con medidas de 19 cm de profundidad, 39 cm de largo y 19.5 cm de ancho, el mismo que abarcó un volumen de 14.45 L de agua. Los resultados obtenidos en la investigación hecha por el autor se obtuvo una remoción de DBO de 26.5%, el rango del pH se mantuvo entre 7.54 – 10.40. La producción de biomasa de la especie flotante *Eichhornia crassipes*, en la investigación del autor fue mayor con 1,187. Nuevamente se demuestra que la macrofita flotante *Eichhornia crassipes*, es una especie capaz de remover grandes cantidades de contaminantes haciendo crecer su biomasa.

## V. CONCLUSIONES

- El uso de un humedal artificial a pequeña escala es eficiente en cuanto al almacenamiento y mantenimiento de las aguas residuales, así como también para realizar una prueba piloto, antes de iniciar un tratamiento.
- Los análisis realizados a las aguas residuales del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, presentan un elevado índice de contaminación en la DBO5 con 345 mg/L y con 350 mg/L en la DQO, el pH posee un rango de 8.75 y el límite es de 8.4; por otro lado se tiene a los sólidos disueltos totales con un rango de 459, este parámetro si está dentro de los ECA (Estándares de Calidad Ambiental).
- Se aplicó la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* en dos cantidades diferentes, en el Humedal 1 (H1) se colocó una biomasa de 0.153 g. y en el Humedal 2 (H2) la cantidad de biomasa fue de 0.313 g. Con el pasar de los días estas plantas fueron creciendo y al final del tratamiento se obtuvo una producción de biomasa de 0.284 g. en el Humedal 1 (H1) y una cantidad de 0.532 g, en el Humedal 2 (H2). El propósito de las diferentes cantidades de biomasa, fue el de observar si existían diferencias en la remoción de contaminantes de las aguas residuales.
- De acuerdo a los análisis finales realizados a los 20 días del tratamiento con las diferentes cantidades de biomasa de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, se observa una clara remoción de los contaminantes siendo los más relevantes la DBO5, la DQO, SDT y el pH. En el Humedal 1 (H1) con 0.313 g. de biomasa inicial de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes* se tuvo los siguientes valores: 40.50 mg/L de DBO, 52 mg/L de DQO, 104,4 mg/L de SDT y un pH de 7.77. Para el Humedal 2 (H2) con biomasa inicial de 0.313 g. de la macrófita flotante *Eichhornia crassipes*, se obtuvieron los valores de: 8 mg/L de DBO, 9 mg/L de DQO, 55.3 mg/L de SDT y un pH de 7.66. Estos valores finales son claros para deducir que el Humedal 2 (H2) tuvo mayor remoción de contaminantes.

## VI. RECOMENDACIONES

- Al hacer uso de la macrofita flotante *Eichhornia crassipes* se debe tomar en consideración la temperatura ambiente, puesto que son plantas que no toleran temperaturas bajas de 18°C.
- Si se va a construir humedales artificiales a grande escala se debe tomar en cuenta la iluminación, para poder hacer uso de especies vegetales para que ayude al tratamiento de las aguas residuales. En caso de ser a menor escala se debe colocar iluminación artificial.
- A los humedales artificiales de pequeña escala se debe colocar un sistema de aireación para que oxigene al agua y la macrofita no se muera.
- Realizar análisis microbiológicos a las aguas residuales del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, para con los análisis tomar en cuenta si esas aguas pueden ser de más utilidad, como por ejemplo el consumo.
- Llevar a cabo estudios basados en cantidades de biomasa de especies vegetales, para de esa manera observar si todas tienen el mismo comportamiento en cuanto a la remoción de contaminantes de las aguas residuales.

## VII. REFERENCIAS

1. AKHIR, Mohd Shafiq Asnawi Md; AMIR, Ahmad Aldrie; BIN MOKHTAR, Mazlin. Nutrients and Pollutants Removal in Small-Scale Constructed Wetland in Frangipani Resort Langkawi, Malaysia. *Nature Environment and Pollution Technology* [en línea]. Marzo – Abril 2017. n.º 2. [fecha de consulta: 20 de noviembre de 2017]. Disponible en: [http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-60-33-\(31\)D-549com.pdf](http://www.neptjournal.com/upload-images/NL-60-33-(31)D-549com.pdf) ISSN: 0972-6268
2. ANDRADE Jiménez, Kelvin Cristian. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Eichhornia crassipes* MART. (JACINTO DE AGUA), *Pistia stratiotes* L. (lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en la parroquia Unión Milagreña del Cantón Joya de los Sachas, Provincia de Orellana. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero en Manejo y Conservación del Medio Ambiente. Ecuador: Universidad Nacional de Loja, 2015. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/11868/1/Kelvin%20Cristian%20Andrade%20Jim%C3%A9nez.pdf>
3. ARENAS, Adolfo D.; MARCÓ, Lué-Merú; TORRES, Gosmyr. Evaluación de la planta Lemna minor como biorremediadora de aguas contaminadas con mercurio. *Avances en ciencias e ingeniería*. [en línea]. Noviembre – enero 2011. N.º 3. [fecha de consulta: 29 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/3236/323627683001/> ISSN: 0718-8706
4. ARIAS, Carlos y BRIX, Hans. Humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales. *Ciencia e Ingeniería Negroandina* [en línea]. 2003, n.º 13. [Fecha de consulta: 05 de julio de 2017]. Disponible en: <https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rcin/article/view/1321/1051>
5. ARROYAVE, María del Pilar. La lenteja de agua (*Lemna minor* L.): Una planta acuática promisorio. *Revista EIA* [en línea]. Febrero 2004, n.º 1. [fecha de consulta: 22 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n1/n1a04.pdf> ISSN: 1794-1237
6. ARTERO Ganuza, Ingrid y QUIUSQUE Ganuza, Maira. Desarrollo de un microhumedal artificial para el tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario. Tesis (Licenciatura en Química y Farmacia). San Salvador: Universidad de El Salvador Facultad de Química y Farmacia, 2012. Disponible en: [http://ri.ues.edu.sv/2101/1/DESARROLLO\\_DE\\_UN\\_MICROHUMEDAL\\_ARTIFICIAL\\_PARA\\_EL\\_TRATAMIENTO\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_DE\\_TIPO\\_ORDINARI.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2101/1/DESARROLLO_DE_UN_MICROHUMEDAL_ARTIFICIAL_PARA_EL_TRATAMIENTO_DE_AGUAS_RESIDUALES_DE_TIPO_ORDINARI.pdf)
7. Borbolla-Sala, Manuel E., Cruz-Vázquez, Lucio de la, Piña-Gutiérrez, Olga E., Fuente -Gutiérrez, José del C. de la, Garrido-Pérez, Silvia M. G., Calidad del agua en Tabasco. *Salud en Tabasco* [en línea]. Abril-Sin mes 2003, n.º 1. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2017] Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48709106> ISSN 1405-2091

8. CAMACHO Pinto, Jonnathan y ORDOÑEZ Niño, Luswin. Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes*, para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Tesis (Grado de Ingeniero Ambiental). Bucaramanga: Universidad Pontificia Bolivariana, 2008. Disponible en: <https://repository.upb.edu.co/handle/20.500.11912/203>
9. CARDONA – GÓMEZ, Juanita, GARCÍA – GALINDO, Luisa Alejandra. Evaluación del efecto de microorganismos eficaces (EM®) sobre la calidad de un agua residual doméstica. Carrera de microbiología industrial. Pontificia universidad Javeriana, 2008. Disponible en: <http://javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis204.pdf>
10. DAVALOS Navarro, Rene Armando y TUNY Rojas, Frank Charles. Determinación de la eficiencia para diferentes tiempos de retención hidráulica en un reactor UASB y su post-tratamiento con plantas acuáticas (Jacinto de agua) tratando agua residual doméstica a escala de laboratorio. Tesis (Título profesional de Ingeniero Sanitario). Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2011. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/3630>
11. DELGADILLO, Oscar; CAMACHO, Alan; PÉREZ, Luis y ANDRADE Mauricio. Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales [en línea]. Cochabamba-Bolivia: Nelson Antequera, 2010 [fecha de consulta: 18 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://blogdelagua.com/wp-content/uploads/2013/02/depuracion-de-aguas-residuales-por-medio-de-humedales-artificiales.pdf> ISBN: 978-99954-766-2-5
12. EATON, Andrew; CLESCERI, Lenore; RICE, Eugene y GREENBERG Arnold. Standard Methods for the examination of water & wastewater. 21st edition. Washington: American Public Health Association, 2005. ISBN: 0-87553-047-8
13. ESTRATEGIA nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos [en línea]. ANA: Lima, Perú, febrero de 2016. [fecha de consulta: 23 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/r.j.042-2016-ana.pdf>
14. FERNANDÉZ ESCALANTE, Enrique. (2006). La calidad de las aguas en función de su uso. Madrid. Segunda Edición 2009. [Fecha de consulta: 26 de junio de 2017] Disponible en: [https://books.google.com.pe/books?id=NxyXBAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=calidad+de+agua+marco+te%C3%B3rico&source=bl&ots=FAkZHX615Q&sig=kCKeYlKG5Spb\\_jSqnN4NoP4a758&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj28LL2gvDUAhUILSYKHZ8QCdc4KBDoAQgfMAA#v=onepa](https://books.google.com.pe/books?id=NxyXBAAAQBAJ&pg=PA32&lpg=PA32&dq=calidad+de+agua+marco+te%C3%B3rico&source=bl&ots=FAkZHX615Q&sig=kCKeYlKG5Spb_jSqnN4NoP4a758&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwj28LL2gvDUAhUILSYKHZ8QCdc4KBDoAQgfMAA#v=onepa)

[ge&q=calidad%20de%20agua%20marco%20te%C3%B3rico&f=false](#) .

ISBN: 978-84-612-9240-0

15. FIALLOS, Liliana L.; VELASTEGUÍ, J. Ramiro. *Innovación biológica para la depuración de aguas contaminadas en la estación “El Peral”, EMAPA-AMBATO*. Tesis Doctoral. Tesis Ing. Bioq. FCIAL-UTA. Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2011. Disponible en: <http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/ramirovelastegui/depuracion-de-aguas-contaminadas.pdf>
16. FISCALIZACIÓN de aguas residuales [en línea]. OEFA: Lima, Perú, abril del 2014 [fecha de consulta: 23 de noviembre del 2017]. Disponible en : [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
17. GARCIA Trujillo, Zarela. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis (Ingeniero Sanitario). Lima – Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. 282 pp.
18. GREFA Vegay, Luis Gustavo. Rediseño de la planta de tratamiento de aguas residuales – Centro de Faenamiento Municipal de ganado de Orellana. Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniero en Biotecnología Ambiental. Ecuador. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2013. Disponible en: <http://dspace.espech.edu.ec/bitstream/123456789/3116/1/236T0080.pdf>
19. JARAMILLO Jumbo, Mariuxi y FLORES Campoverde, Edison Darío. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis (Ingeniero Ambiental). Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2012. 128pp.
20. KEAWMANEE, Ratchanon. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Industrial Design. A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Industrial Design. Rochester, NY. 2015. Disponible en: <http://scholarworks.rit.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=9843&context=theses>
21. OCAMPO Marín, Paménides y TIGREROS Herrera, Edinson. Las plantas acuáticas en la disminución del nivel de contaminación por aguas residuales domésticas. *Ingenium* [en línea]. Diciembre – Marzo 2013, n° 7. [fecha de consulta: 24 de junio de 2017]. Disponible en: <http://revistas.usc.edu.co/index.php/Ingenium/article/view/232#.WVq4oIQ1IU>
22. OLUKANNI, David O. y KOKUMO, Kola O. Efficiency assessment of a constructed wetland using *Eichornia crassipes* for wastewater treatment. *American Journal of Engineering Research (AJER)*, [en línea] 2013, n.º 12. [fecha de consulta: 19 de noviembre de 2017]. Disponible en: [http://ajer.org/papers/v2\(12\)/ZZ212450455.pdf](http://ajer.org/papers/v2(12)/ZZ212450455.pdf) ISSN: 2320-0847
23. PACHECO Ávila, Julia; CABRERA Sansores, Armando y PÉREZ Ceballos, Rosela. Diagnóstico de la calidad del agua subterránea en los

- sistemas municipales de abastecimiento en el Estado de Yucatán, México. Revista Ingeniería [en línea]. Mayo – Agosto 2004, n° 8. [fecha de consulta: 24 de junio de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/467/46780214/> ISSN: 1665-529X
24. POVEDA O, Rebeca. Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. Tesis (Título de Ingeniera Bioquímica). Ambato: Universidad Técnica de Ambato, 2014. 181 pp.
  25. ROMERO ROJAS, Jairo. (2005) TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño. 3a. ed., 2a. reimp. Editorial Escuela Colombiana De Ingeniería. Colombia. ISBN: 958-8060-13-3
  26. RUIZ Bernal, Celia Elisa y OVIEDO Orellana, Cristian Galo. El viento – factor importante en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización. Tesis para optar el título Profesional de Ingeniero Sanitario. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2013. Disponible en: <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/1613>
  27. SILVA, Jorge; TORRES, Patricia y MADERA, Carlos. Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión. Agronomía Colombiana [en línea]. 2008, n.º 2. [fecha de consulta: 16 de noviembre de 2017]. Disponible en: <http://www.redalyc.org/html/1803/180314732020/> ISSN: 0120-9965
  28. THAM, Ho Thanh. Water Hyacinth (Eichhornia crassipes) – Biomass Production, Ensilability and Feeding Value to Growing Cattle. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala 2012. Disponible en: [https://pub.epsilon.slu.se/9277/1/tham\\_ht\\_121203.pdf](https://pub.epsilon.slu.se/9277/1/tham_ht_121203.pdf) ISSN: 1652-6880
  29. TORRES Caceres, Ernesto. Proyecto de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reuso del agua en la agricultura. Tesis (Maestro en Ciencias en Producción Agrícola). Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 1994.
  30. VINUEZA ESTÉVEZ, Juan Sebastián. DISEÑO DE UN SISTEMA DE PANTANOS ARTIFICIALES PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS NEGRAS Y GRISES DEL CAMPO BASE Y ÁREA DE MANTENIMIENTO EL COCA DE LA EMPRESA TRIBOILGAS. Trabajo de Grado presentado como requisito para optar el Título de Ingeniero Ambiental Grado Académico de Tercer Nivel. Universidad Central del Ecuador, 2014. Disponible en: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2453/1/T-UCE-0012-305.pdf>

## ANEXOS

### ✓ INSTRUMENTOS DE CAMPO Y LABORATORIO

Tabla N° 12: Ficha de registro para toma de muestras

Lugar de Muestreo	
Fecha:	Hora:
Humedal:	
Parámetros:	

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Ficha de registro para resultados de los análisis fisicoquímicos realizados

Resultados de análisis	
Humedal:	
Laboratorio:	
Parámetros:	Resultados:
pH	
Sólidos disueltos totales (mg/L)	
DBO5 (mg/L)	
DQO (mg/L)	
Temperatura (°C)	

Fuente: Elaboración propia

**Tabla N° 14: Ficha de registro para resultados de los análisis fisicoquímicos realizados en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo - Chiclayo**

PARÁMETROS	Muestras sin Trat.	H1	H2								
Fechas de Análisis											
pH											
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)											
Temperatura °C											

**Fuente: Elaboración propia**

## ✓ VALIDACIÓN

Figura 8: Validación de resultados obtenidos en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo - Chiclayo

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**RESULTADOS OBTENIDOS:**

PARÁMETROS	Muestras sin Trat.	H1	H2								
Fechas de Análisis	22/10/2017	28/10/2017		02/11/2017		07/11/2017		12/11/2017		17/11/2017	
pH	8.75	7.96	7.72	7.84	7.76	7.84	7.72	7.82	7.70	7.77	7.66
Sólidos Disueltos Totales (mg/L)	459	445	179	330	98	303	83.4	264	75	104.4	55.3
Temperatura °C	24.30	23.95	23.81	23.27	23.06	22.54	22.18	21.71	21.67	21.65	21.58

**INSTRUMENTOS UTILIZADOS:**

- Multiparameter Waterproof Meter (medidor impermeable multiparámetro) marca HANNA

De acuerdo a los procedimientos empleados, otorgo la validez de los análisis realizados con el cual se recogerá los resultados necesarios para el desarrollo de la tesis titulada "EFICIENCIA DE LA MACROFITA FLOTANTE *Eichhornia crassipes* EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL", la cual se realizó en el laboratorio de biotecnología a cargo de la testisa Sandy Jhenifer Mejía Ramos. En muestra de conformidad, firmo el presente.



MARIA RAQUEL MAXE MALCA  
DNI: 41546619  
Responsable:  
Laboratorio de la universidad César Vallejo- Chiclayo.

Fuente: Elaboración propia

Figura 9: Validación de resultados de los parámetros DBO5 y DQO realizados en el Laboratorio de EPSEL

EPSEL S.A.  
OFICINA CONTROL DE CALIDAD

**RESULTADOS DE ANÁLISIS QUÍMICOS DE LA TESIS "EFICIENCIA DE LA MACROFITA FLOTANTE *Eichhornia crassipes* EN UN HUMEDAL ARTIFICIAL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL"**

PARÁMETROS	Muestras sin Trat.	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2	H1	H2
Fecha de Análisis:	20/11/2017	28/10/2017		02/11/2017		07/11/2017		12/11/2017		17/11/2017	
DBO, mg/l	345.00	335.00	104.50	230.00	52.90	159.00	43.40	98.00	30.20	40.50	8.00
DQO, mg/l	350.00	299.00	104.00	267.00	64.00	240.00	51.00	99.50	31.00	52.00	9.00

Nota: Las muestras fueron colectadas por personal interesado.

EPSEL S.A.  
Ing. María Guadalupe Ojeda Duque  
CIP 87341  
JEFE DE OFICINA CONTROL DE CALIDAD

EPSEL S.A.  
Ing. Verónica Teresa Burgos Gavelan  
CIP 14529  
AREA DE FÓRMO QUÍMICO

OFICINAS:  
Av. Sáenz Peña N° 1861 (Planta de Agua Potable) Chiclayo - Telef: 2534479 - 2529291 - Telefex: 253520  
Gerencia Comercial - Av. Miraflores S/N Gran N°451 - Telef: 2541132  
Emergencias: Telef: 2538363 - 0-800-27-4092  
Pag. Web: www.epsel.com.pe

ENTIDAD PRESTADORA DE SERVICIOS DE SANIAMIENTO DE LAMBAYEQUE S.A.  
"TRABAJAMOS PERMANENTEMENTE PARA LLEVARLE AGUA DE LA MEJOR CALIDAD, CUIDELA NO LA DESPERDICE"

Fuente: Elaboración propia



### **Anexo 1: Descripción y ubicación del área de estudio**

El Distrito Manuel Antonio Mesones Muro, se encuentra ubicado en la Provincia de Ferreñafe, tiene una extensión geográfica de 200,57 km<sup>2</sup>. Cuenta con 624 viviendas y un aproximado de 4 211 hab.

Se encuentra ubicada en las siguientes coordenadas:

Latitud sur: 6° 38' 40"

Latitud oeste: 79° 44' 21"

**Figura 10: Ubicación del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro**



Fuente: Google Earth Pro

**Figura 11: Ubicación de las lagunas facultativas del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro**



Fuente: Google Earth Pro

## **Anexo 2: Métodos de análisis para la determinación de parámetros fisicoquímicos en aguas residuales**

### **1. pH**

Con respecto a este parámetro, es importante conocer el valor que poseen las aguas residuales y así poder determinar su grado de basicidad o acidez.

#### **1.1. Método analítico**

Para determinar este parámetro se puede utilizar las cintas indicadoras de pH, pero en este caso se usó el Multiparameter Waterproof Meter (medidor impermeable multiparámetro) marca HANNA, la medición se llevó a cabo en el laboratorio, introduciendo el electrodo en el recipiente con la respectiva muestra de agua residual del Humedal 1 y Humedal 2.

### **2. Sólidos disueltos totales (Tds)**

Este parámetro es una medida de la materia que se encuentra presente en una muestra de agua y que no puede ser eliminado por un filtro tradicional, a su vez es un buen indicador de la calidad del agua.

#### **2.2. Método analítico**

Este parámetro se determinó utilizando el Multiparameter Waterproof Meter (medidor impermeable multiparámetro) marca HANNA, el análisis se llevó a cabo en el laboratorio. Se procedió a introducir el electrodo en el recipiente que contenía la muestra de agua residual del Humedal 1 y Humedal 2.

### **3. Temperatura (°C)**

La temperatura refleja la cantidad de calor que posee un cuerpo o el ambiente, la forma de medirlo es a través de un termómetro.

#### **3.1. Método analítico**

Se determinó la medición de este parámetro con el Multiparameter Waterproof Meter (medidor impermeable multiparámetro) marca HANNA, llevándose a cabo en el laboratorio, donde se introdujo el electrodo en la muestra de agua residual obtenida del Humedal 1 y Humedal 2.

#### 4. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)

El método utilizado para determinar la DBO<sub>5</sub> fue consultada del libro de Standard Methods for the examination of wáter & wastewater edición 21, método 5210 B. 5-Day BOD Test (Prueba de DBO de 5 días).

La DBO<sub>5</sub>, es la cantidad de oxígeno que necesitamos para estabilizar la materia orgánica presente en el agua. **(ANDRADE, Kelvin. 2015).**

##### 4.1. Método analítico

El método radica en llenar con muestra una botella hermética de un tamaño específico y poner a incubar a una temperatura específica por el lapso de 5 días. Inicialmente se mide el oxígeno disuelto y después de la incubación, donde la DBO es calculada de la diferencia de oxígeno disuelto al inicio y final.

##### Materiales

- Botellas de incubación: usar envases de vidrio de 60 mL de capacidad o hasta 300 mL, con un tapón esmerilado.
- Incubadora de aire o baño de agua, controlado por un termostato en  $20 \pm 1^\circ\text{C}$ , se debe excluir toda la luz para impedir la fotosíntesis producción de oxígeno disuelto.

##### Reactivos

- Solución tampón de fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ).
- Solución de sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ ).
- Solución de cloruro de calcio ( $\text{CaCl}_2$ ).
- Solución de cloruro férrico ( $\text{FeCl}_3$ ).
- Soluciones ácidas y alcalinas.
- Solución de sulfito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ).
- Inhibidor de la nitrificación.
- Solución de glucosa - ácido glutámico.
- Solución de cloruro de amonio ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ )
- Agua.

## Procedimiento

### **Muestreo y almacenamiento**

- Las muestras para llevar a cabo el análisis de DBO pueden degradarse durante el almacenamiento, al momento de recolectarlo y de analizarlo dando como resultado valores bajos.

### **Toma de muestras**

- Si se analiza la muestra dentro de las 2 horas después de la recolección no es necesario la refrigeración.
- Si el análisis no se inicia dentro de las 2 horas posteriores a su recolección, refrigerar a 4°C.
- Comenzar en análisis dentro de las 6 horas de recolección, no comenzar con los análisis a más de 24 horas de su recolección.

### **Preparación de muestra y pre tratamiento**

- Comprobar el pH y ajustarlo a 7.0 para 7.2 usando una solución de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) o hidróxido de sodio (NaOH), ajustar la temperatura a 20°C.
- Evitar las muestras que contengan cloro residual.
- Es necesario que cada botella de DBO contenga una población de microorganismos para que pueda oxidar la materia orgánica en la muestra.

### **Procedimiento de prueba**

#### **Preparación de agua de dilución**

- Volumen de agua en una botella adecuada.
- Concentración de oxígeno menos de 7.5 mg/L antes de usar el agua para realizar las pruebas de DBO.
- Agregar 1 mL de tampón de fosfato,  $MgSO_4$ ,  $CaCl_2$  y solución de  $FeCl_3$ ; mezclar bien y llevar a 20°C de temperatura.

#### **Preparación de diluciones**

- Utilizando el agua preparada de dilución, hacer al menos 3 diluciones de muestra lo que se calcula produce un residuo de

aproximadamente 1,0 mg/L y por lo menos una absorción de 2.0 mg/L después de la incubación de 5 días.

- Al menos se recomienda hacer 5 diluciones por lo menos en 3 botellas de oxígeno disuelto.

### **Análisis de datos**

#### Cálculos

- La fórmula utilizada para calcular la DBO es la siguiente:

$$DBO5 \text{ mg/L} = \frac{D1 - D2 - S V_s}{P}$$

Donde:

$D_1$ = oxígeno disuelto de la muestra diluida inmediatamente después de la preparación, mg/L.

$D_2$ = oxígeno disuelto de la muestra diluida después de la incubación a 20°C, mg/L.

$S$ = consumo de oxígeno por botella,  $\Delta$  de OD/mL.

$V_s$ = volumen de la semilla en la botella de prueba respectiva, mL.

$P$ = fracción volumétrica decimal de la muestra utilizada.

Si el agotamiento del oxígeno disuelto es menor a 2.0 mg/L y la concentración de la muestra es 100%, la reducción del oxígeno disuelto real corregida puede ser informado como DBO, siempre y cuando sea menor a 2.0 mg/L.

Cuando todas las diluciones dan como resultado un OD de 1.0 residual, se selecciona la botella que contiene la concentración más baja de OD.

$$DBO5 \frac{\text{mg}}{\text{L}} > \frac{D1 - D2 - S V_s}{P}$$

Con respecto a los cálculos anteriores, no se hace corrección por el OD consumido por dilución de agua en blanco durante la incubación. No es necesaria la corrección si el agua de dilución cumple con los criterios en blanco estipulado. Si el agua de dilución no cumple este criterio, la corrección es difícil y los resultados serán cuestionables.

## 5. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

El método utilizado para determinar la DQO fue consultada del libro de Standard Methods for the examination of wáter & wastewater edición 21, método 5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method (REFLUJO CERRADO, MÉTODO COLORIMÉTRICO).

La demanda química de oxígeno es la cantidad de un determinado oxidante que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas, el oxidante que se utiliza es el ion dicromato ( $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ ).

El método a usar es el de reflujo cerrado ya que son más económicos en cuanto al uso de reactivos de sales metálicas.

### 5.1. Método analítico

La materia orgánica es oxidada por una mezcla de ácido crómico y sulfúrico. Una muestra es reflujo en solución fuertemente ácida con un exceso de Dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ). Cuando una muestra es asimilada, el ion dicromato oxida la demanda química de oxígeno en la muestra.

#### Materiales

- Recipientes de reacción de calidad óptica.
- Espectrofotómetro para uso a 600 nm y/o 420 nm con adaptador de apertura de acceso para ampollas o tubos de 16, 20 o 25mm.

#### Reactivos

- Solución de digestión:
  - 500 ml de agua destilada.
  - 10.216 g de dicromato de potasio ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).
  - 167 ml de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) concentrado.
  - 33.3 g de sulfato de mercurio ( $\text{HgSO}_4$ ).

#### Procedimiento

- Medir el volumen de muestra y reactivos en un tubo o ampolla.
- Prepare, digiera y enfríe las muestras, en blanco y una o más en estándares.

## Medición de la reducción de dicromato

- Tener la muestra fría a temperatura ambiente lentamente para evitar formación de precipitados.
- Mezclar el contenido del recipiente de reacción y desalojar la materia insoluble. Dejar que la materia suspendida se asiente.
- Medir la absorción de cada muestra en blanco y estándar seleccionando la longitud de onda (420 nm o 600 nm).
- A 600 nm, usar una muestra en blanco sin digerir como solución de referencia.
- Analizar una muestra en blanco digerido para confirmar y determinar el blanco.
- Se analiza la DQO en blanco a través de una resta.

## Preparación de la curva de calibración

- Preparar por lo menos 5 estándares de la solución de hidrogenoflato de potasio con DQO equivalente para cubrir cada rango de concentración.
- Hacer el volumen con agua reactiva y usar los mismos volúmenes de reactivo en los tubos o ampollas.
- Preparar la curva de calibración para cada nuevo lote de tubos o ampollas o cuando los estándares difieren en un 5% de la curva de calibración.

## Cálculos

Si la muestra, el estándar y los espacios en blanco se dan en las mismas condiciones de volumen y longitud, se calcula la DQO de la siguiente forma:

$$\text{DQO as mg} \frac{\text{O}_2}{\text{L}} = \frac{\text{mg O}_2 \text{ in final volume} \times 1000}{\text{mL sample}}$$

Es mejor analizar las muestras por duplicado debido al pequeño tamaño de muestra

### Anexo 3: Límites Máximos Permisibles para aguas residuales

#### Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales

Parámetros	Unidad de medida	D1: Riego de vegetales		D2: Bebida de animales
		Agua para riego no restringido (c)	Agua para riego restringido	Bebida de animales
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>				
Aceites y Grasas	mg/L	5		10
Bicarbonatos	mg/L	518		**
Cianuro Wad	mg/L	0,1		0,1
Cloruros	mg/L	500		**
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	100 (a)		100 (a)
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	2 500		5 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	15		15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	40		40
Detergentes (SAAM)	mg/L	0,2		0,5
Fenoles	mg/L	0,002		0,01
Fluoruros	mg/L	1		**
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N) + Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	100		100
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N)	mg/L	10		10
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 4		≥ 5
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 – 8,5		6,5 – 8,4
Sulfatos	mg/L	1 000		1 000

Fuente: D.S N° 004-2017-MINAM

#### Anexo 4: Panel Fotográfico

**Figura 12: Toma de muestras para análisis antes del tratamiento –  
Lagunas Facultativas del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 13: Humedal artificial.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 14: Humedal artificial con 25 L de agua residual del Distrito Manuel Antonio Mesones Muro.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 15: Pesado de biomasa de la Macrofitas Flotante *Eichhornia crassipes* en diferentes cantidades.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 16: Humedal Artificial 1 (H1) con 0.313 g y Humedal Artificial 2 (H2) con 0.153 g de la Macrofitas Flotante *Eichhornia crassipes*.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 17: Instalación del sistema de aireación e iluminación para la Macrofitas Flotante *Eichhornia crassipes*.**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 18: Multiparámetro. Instrumento para medir los parámetros fisicoquímicos del agua residual**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 19: Análisis fisicoquímicos de muestras tomadas en diferentes fechas a los Humedales Artificiales H1 y H2**



**Fuente: Elaboración propia**

**Figura 20: Muestras finales obtenidas a los 20 días del Humedal 1 y Humedal 2.**



**Fuente: Elaboración propia**