



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**AMBIENTAL**

“Comparación de la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniera Ambiental

**AUTORA:**

Br. Enriquez Chávez Ingrid Carolina (ORCID: 0000-0002-0922-6896)

**ASESOR:**

Dr. César Augusto Monteza Arbulú (ORCID: 0000-0003-2052-6707)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y gestión de residuos

**CHICLAYO – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo de investigación es dedicado a mis padres, y a mi Abuela, gracias por su amor, comprensión, apoyo incondicional, por su inagotable sacrificio y sus enseñanzas llenas de valores que fueron ideales para alcanzar con éxito una etapa de mi formación profesional.

A mis hermanas por su amor y por siempre creer en mí, por ayudarme en todo y por palabras de aliento en cada momento difícil.

Ingrid Enriquez

## **Agradecimiento**

Agradecer a Dios, por ser el inspirador y darnos fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A Hebert y Marianela mis padres, y Mi abuela Sarita por apoyarme en todo, por sus consejos y por haberme guiado por el camino del bien, gracias por confirmar en mí.

A Marisela y Daniela mis hermanas, por creer en mí siempre y darme fuerzas para seguir adelante día a día.

A los Docentes de la Universidad César Vallejo, en especial a mi Asesor el Ing. César Monteza Arbulú por su orientación y apoyo frente a difíciles situaciones. A la Ing. Kerly Mera Libaque por apoyarnos con los equipos de Laboratorio, por sus enseñanzas y por darnos su tiempo con tal de culminar nuestro trabajo de investigación.

Ingrid Enriquez

## **Página del jurado**

## Declaratoria de autenticidad

Yo **Ingrid Carolina Enriquez Chávez** estudiante de la escuela profesional de Ingeniería Ambiental de la facultad de Ingeniería de la Universidad Privada César-Vallejo identificado con DNI: **74153582**.

Declaro la autenticidad de este proyecto de investigación bajo juramento que:

1. Yo soy la única autora de este proyecto de investigación que tiene como título: **“COMPARACIÓN DE LA EFICIENCIA DE *Eichhornia Crassipes* Y *Lemna Minor* PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE UNA PLANTA AGROINDUSTRIAL”** la misma que voy a presentar para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. En este trabajo de investigación todos los datos e información presentada son auténticos y veraces, puesto que se han considerado y respetado todas las citas y referencias de las normas ISO 690:2010 para las fuentes que han sido consultadas.
3. En los resultados que están siendo presentados en este trabajo de investigación son completamente reales certificados por la Universidad Privada César Vallejo en cual no han sido copiados, falsificados ni duplica.

Chiclayo, 27 de Diciembre del 2019



---

Ingrid Carolina Enriquez Chávez  
DNI: 74143582

## Índice

Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento.....	iii
Página del jurado .....	iv
Declaratoria de autenticidad .....	v
Índice de tablas .....	vii
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	ix
Abstract .....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÒRICO.....	6
III. MÉTODOS .....	20
3.1. Técnica de investigación .....	20
3.2. Diseño de investigación .....	20
3.3. Variables, operacionalización.....	20
3.4. Población y muestra .....	23
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	23
3.6. Procedimiento .....	25
3.7. Aspectos éticos .....	26
IV. RESULTADOS .....	27
V. DISCUSIÓN .....	34
VI. CONCLUSIONES .....	36
VII. RECOMENDACIÓN .....	37
REFERENCIAS .....	38
ANEXO .....	44

## Índice de tablas

Tabla 1.Estándares de calidad de agua .....	11
Tabla 2.Límite máximos permisibles para efluentes de PTAR.....	12
Tabla 3.Composición Química de la Lemna minor .....	16
Tabla 4.Composición de la Eichhornia crassipe.....	18
Tabla 5.Determinación de los parámetros físicos y biológicos del agua residual de la planta Procesadora de Frutos Naturales “Frutosa”.....	27
Tabla 6.Comparación de los tratamientos en el Análisis de pH.....	27
Tabla 7.Comparación de los tratamientos en el Análisis de Conductividad Eléctrica. ....	28
Tabla 8.Comparación de los tratamientos en el Análisis de Oxígeno Disuelto .....	29
Tabla 9.Comparación de los tratamientos en el Análisis de Turbidez.....	30
Tabla 10.Comparación de los tratamientos en el análisis de DQO .....	31
Tabla 11.Comparación de los tratamientos en el análisis de DBO.....	32

## Índice de figuras

<b>Figura 1.:</b> Análisis de pH .....	28
<b>Figura 2.</b> <i>Análisis de Conductividad Eléctrica</i> .....	29
<b>Figura 3.</b> <i>Análisis de Oxígeno Disuelto</i> .....	30
<b>Figura 4.</b> <i>Análisis de la Turbidez</i> .....	31
<b>Figura 5.</b> <i>Análisis de DQO</i> .....	32
<b>Figura 6.</b> <i>Análisis de DBO</i> .....	33
<b>Figura 7.</b> Recolección de la Muestra de la Planta Procesadora de Frutos Naturales "Frutosa" .....	47
<b>Figura 8.</b> <i>Recolección de la Eichhornia crassipes en el Bandín de peaje Moxe</i> .....	47
<b>Figura 9.</b> <i>Recolección de la Lemna minor en la acequia cerca de la entrada en Lambayeque.</i> .....	48
<b>Figura 10.</b> <i>Estanques de vidrio de 30 cm de profundidad</i> .....	48
<b>Figura 11.</b> <i>El agua residual de la planta procesadora de Frutos Naturales " Frutosa."</i> .49	
<b>Figura 12.</b> <i>Enjuagado de las raíces de la Eichhornia crassipes.</i> .....	49
<b>Figura 13.</b> <i>Humedales artificiales ya elaborados</i> .....	50
<b>Figura 14.</b> <i>Variación del aspecto del agua en los primeros 3 días.</i> .....	50
<b>Figura 15.</b> <i>Aspecto del agua residual a los 7 días.</i> .....	51
<b>Figura 16.</b> <i>Recolección de la muestra para análisis físico-químicos en los 7 días.</i> .....	51
<b>Figura 17.</b> <i>Equipo para medir DQO.</i> .....	52
<b>Figura 18.</b> <i>Análisis de turbidez del agua residual a los 14 días</i> .....	52

## Resumen

El objetivo de la investigación fue Comparar la eficiencia de la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial. Para llevar a cabo esta investigación se utilizó un diseño no experimental Longitudinal, una muestra de 60 litros, con muestreo por conveniencia y empleando métodos normalizados para analizar propiedades Físicas, Químicas y Biológicas. Se elaboraron 2 humedales artificiales de flujo superficial horizontal, el monitoreo del agua se dio en 3 periodos cada 7 días. Se compararon los resultados obtenidos y se observó la eficiencia de ambas plantas acuáticas.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: En la prueba control del agua residual se mostró un pH de 7.16, conductividad eléctrica de 563 us/cm, oxígeno disuelto de 1.08 ppm, DQO de 167 mg/l y con un DBO de 625 mg/l. El primer monitoreo fue a los 7 días de su aplicación, evidenciando un gran cambio. Con la *Eichhornia crassipes* hubo remoción de un 90% en cuanto a turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, aumento en el oxígeno disuelto, en el pH y conductividad eléctrica. Con la *Lemna minor* remoción de 92% en turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, aumento en el oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica. El segundo monitoreo fue a los 14 días donde los resultados de los análisis aumentaron en ambas plantas. El tercer y último monitoreo fue a los 21 días en donde se evidenció que continuaba un ligero aumento en pH y conductividad eléctrica y disminución en el resto de parámetros.

Palabras claves: *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, humedales artificiales

## **Abstract**

The objective of the research was to compare the efficiency of the *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor* to improve the quality of the residual water of an agroindustrial plant. To carry out this research, a longitudinal non-experimental design was used, a 60-liter sample, with convenience sampling and standardized methods to analyze physical, chemical and biological properties. Two artificial horizontal surface flow wetlands were prepared, water monitoring occurred in 3 periods every 7 days. The results obtained were compared and the efficiency of both aquatic plants was observed.

The results obtained were as follows: In the residual water control test, a pH of 7.16 was shown, electric conductivity of 563 us / cm, dissolved oxygen of 1.08 ppm, COD of 167 mg / l and a BOD of 625 mg / l. The first monitoring was 7 days after its application, evidencing a great change. With the *Eichhornia crassipes* there was a 90% removal in terms of turbidity, 100% in COD, 98% in BOD, increase in dissolved oxygen, in pH and electrical conductivity. With the *Lemna minor* removal of 92% in turbidity, 100% in COD, 98% in BOD, increase in dissolved oxygen, pH and electrical conductivity. The second monitoring was at 14 days where the results to the analyzes increased in both plants. The third and last monitoring was at 21 days where it was evident that there was a slight increase in pH and electrical conductivity and decrease in the rest of the parameters.

**Keywords:** *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor*, artificial wetlands

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el agua forma parte de los cuatro recursos básicos indispensables para todo ser vivo, es uno de los recursos más abundantes de la naturaleza, gran parte de la superficie terrestre está cubierta por agua en estado líquido, distribuyéndose por cuencas saladas y dulces, conformando océanos, mares, lagos y lagunas. **(Banús y Bertrán, 2018)**

Según **Esponda (citado en Rodríguez, 2015)** comenta que del total de agua el 97% lo hallamos en los océanos, del 13% sobrante el 2% se presenta en estado sólido, lo que significa que sólo el 0.62% está permitida para el hombre y sus fines domésticos, agrícolas e industriales, dicha agua se localiza en lagos, ríos y acuíferos subterráneos. La proporción de agua utilizable se aprecia cada día en menores cantidades, más grande problema es aún su organización irregular en el planeta, además, la utilización de los recursos naturales produce impacto en los ecosistemas de donde se extrae.

Cada año a nivel mundial contamos con 3.928 km<sup>3</sup> de agua residual, el 44% de esta agua se consume en la actividad agrícola por medio de la evaporación en las tierras de cultivo, el 56% sobrante es vertido sin tratamiento alguno al ambiente produciendo efluentes municipales, industriales y agrícolas. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación [FAO], 2017).

A pesar de que los países desarrollados usan diversos métodos para tratar grandes cantidades de sus aguas por el deseo de mantener una reserva de agua cuando se presente alguna escasez hídrica, no es suficiente para toda el agua residual que producimos, en Europa las fábricas que elaboran productos alimenticios gastan un aproximado de 5m<sup>3</sup> de agua que después pasa a ser agua residual industrial sin tratamiento alguno. Estas aguas residuales de industrias principalmente procesadoras de alimentos producen contaminación orgánica a los efluentes que son vertidos, ocasionando impactos negativos a las comunidades rurales pobres que utilizan dichas aguas para uso alimenticio; este tipo de contaminación está en aumento ya que más de la séptima parte de los cursos de los ríos de África y Asia contienen grandes cantidades de DBO<sub>5</sub>. **(FAO, 2017)**.

Las aguas residuales continuaran en constante aumento por el incremento excesivo de población que habita en asentamientos informales y por industrias que no cuentan con un adecuado sistema para la disposición de sus aguas residuales. **(Rodríguez, 2015)**

El especialista en agua y saneamiento de Banco Mundial **Yee-Batista (citado en la**

**Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017)** comenta que el 80% de los ciudadanos latinoamericanos vive en localidades y una enorme cantidad en asentamientos próximos a fuentes contaminadas lo que ocasiona secuelas ecológicas con gran dificultad para solucionar. Yee-Batista además asegura que el 70% de las aguas residuales industriales de la zona latinoamericana no son tratadas. El agua es extraída, utilizada y devuelta totalmente contaminada a los ríos, ocasionando malos olores y disminuyendo día con día el uso de este recurso para las actividades necesarias.

Según el periódico El Espectador en Colombia comenta que del 100% de aguas residuales sólo son tratadas un 9%; la viceministra de agua y saneamiento básico existe capacidad para tratar un 32% estas aguas, pero solo se tratan entre un 8% a 10% debido a un ineficiente mantenimiento de la infraestructura de las plantas de tratamiento para aguas contaminadas, lo que ocasiona vertimiento de aguas negras a efluente como sus ríos Magdalena, Cauca o Bogotá, encontrándose en las peores condiciones emanando olores fétidos. **(Redacción Negocios, 2008).**

En dicho periódico también se comenta que se llevó a cabo la supervisión a fábricas y empresas para identificar si contaban con plantas de tratamiento para sus aguas residuales o en caso contrario a donde iban a parar dichas aguas y a que efluentes contaminaba, resultando que menos del 5% de todas las industrias cuenta con un adecuado sistema para tratamiento de aguas y que van a parar al río Magdalena.

Además, se inspeccionó a 333 sistemas de tratamiento de agua residual en los 278 municipios que posee, resultó que 89 están fuera de servicio, las empresas prestadoras de servicios incumplían con las normas del vertimiento de aguas residuales, no existía un buen mantenimiento en la infraestructura, insuficiencias técnicas y operacionales de los sistemas, lo que provoca impactos ambientales negativos perjudicando principalmente a comunidades donde prevalece la pobreza. **(Redacción Negocios, 2013).**

En el periódico El Economista se muestra la realidad en México, donde Veracruz fue denominada como la ciudad que aporta grandes cantidades de contaminantes por parte de sus industrias del azúcar y de petróleo. En Xochimilco y la isla Holbox, la baja calidad en sus tratamientos hace que el ambiente y las personas se vean amenazados. Se realizó un análisis del agua que llega a las comunidades de la ciudad de Xochimilco en donde se encontró un alto nivel de coliformes fecales. La isla de Holbox se ve afectada por las aguas

residuales que se mezclan con las aguas color esmeralda de dicha isla, donde habitan flamencos, tiburones y ballena. Los restos fecales van a parar a los terrenos pantanos de Holbox que ocasiona la disminución en el turismo por los olores fétidos y la imposibilidad de gozar de un ambiente sano. (Anónimo, 2017)

En la revista titulada “**Las aguas Residuales y sus consecuencias en el Perú**”, la **Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (citado en Larios, Gonzales y Morales, 2015)** identificó que el 70% de las aguas negras en el Perú no cuentan con un tratamiento adecuado; de las 143 plantas que existen para tratar sus aguas, menos del 1% pertenecen a las industrias y solo el 14% cumplen con el estatuto actual para ejecutar su trabajo.

La situación actual del recurso hídrico en el Perú es de muy baja calidad. La Autoridad Nacional del Agua (ANA, 2013) comenta que un aproximado de 7 millones de ciudadanos de nuestro país no cuenta accesibilidad de agua que se pueda consumir; la cobertura de agua potable mayor al 80% pertenece a los Gobiernos Regionales de Lambayeque, Lima, Callao, Ica, Arequipa y Tacna; la cobertura en menor al 40% en Amazonas, Huánuco, Huancavelica y Puno. Alrededor de 10 millones de habitantes no cuentan con un servicio de saneamiento adecuado; la cobertura de saneamiento mayor al 80% es solo en Lambayeque, Lima y Tacna, la cobertura de saneamiento del 20% al 40% es en Loreto, Ucayali y Madre de Dios.

Se identificó que en el 2009 que 786 millones de metros cúbicos de aguas residuales no cuentan con un debido tratamiento, entre ellas Lima con 511 metros cúbicos de agua residual sin tratar y el Callao con 325 metros cúbicos. Existiendo un promedio de 143 plantas de tratamiento de agua solo funcionan en un estado adecuado 7 de ellas, por esta razón las aguas de los ríos de Loreto, Piura, Pasco, Arequipa, Moquegua Puno, Ucayali, Madre de Dios, presentan impurezas que mayormente pertenecen a empresas o industrias que cuentan con un proceso adecuado para reutilizar sus aguas contaminadas. (Larios et al., 2015).

En Lambayeque se han presentados casos de desbordes de aguas residuales en calles pertenecientes al Distrito de Olmos. Los desbordes no son sólo en las calles, sino en los inodoros y duchas de las viviendas, ocasionando malos olores. Lo que llevo a identificar que la red alcantarillado de las zonas afectadas colindan con los puntos de descargas de aguas residuales de las empresas Quicornac S.A.C y Profusa S.A.C. Estas aguas residuales sobrepasan los límites máximos permisibles de DBO<sub>5</sub>, DQO y pH ocasionando daños y

perjuicios a los habitantes de Olmos. (**Diario La República, 2018**)

Chiclayo no se encuentra ajeno ante esta problemática, estamos rodeados de aguas negras y familiarizados a los olores fétidos. El periodista del diario La República realizó una entrevista al alcalde de la Municipalidad Provincial de Chiclayo, Arturo Castillo Chirinos, el cual afirmó que la Ciudad de Chiclayo se ha convertido en un albañal de aguas negras, un claro ejemplo de ello son zonas como San José, Elías Aguirre, Vicente de la Vega, José Balta con presencia de pestilencia por las aguas residuales, donde se inundan las pistas y los malos olores producen contaminación en el aire, por lo que perjudican al ambiente y la ciudadanía, quienes tienen contacto directo con estas aguas y que por ende enfermedades ocasionados por plagas (**Vega, 2017**).

En el Distrito de la Victoria, La Destilería Naylamp produce aguas residuales industriales que no cuentan con un debido tratamiento. **Según (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2017)** hace mención que dicha agua residual cuenta con gran cantidad de carga orgánica y alta temperatura, que son posteriormente arrojadas al Dren 4000, que desemboca en la playa Santa Rosa, causando potenciales riesgos al ambiente y a la salud.

**Rodríguez, (2013)** Periodista del Diario La República comenta que durante un recorrido por las playas de Lambayeque se identificó que el Terminal Pesquero Emcophisa y diversas fábricas desechan sus aguas directamente al mar, con alta carga orgánica y sobrepasando límites máximos permisibles ocasionando daños en el ecosistema marino.

Se plantea el uso del tratamiento con plantas macrófitas porque es uno de los tratamientos para aguas residuales eficiente y a bajo precio, ya que los tratamientos convencionales son complejos y generan grandes gastos.

La importancia de la investigación, es que los humedales se deben a sus características biológicas contribuyendo a la mejora de la calidad del agua. Se debe aprovechar el uso de estos humedales para ser empleados como tratamiento de aguas ya que, a comparación con otros sistemas depuradores, este es de bajo costo, fácil mantenimiento, eficaz y depura a corto plazo. Fernández et al. (2010)

Disminuyen en más de un 70% los parámetros del agua a tratar debido a que las plantas son usadas como bombas extractoras que tienen un costo bajo a comparación de un tratamiento convencional para tratar aguas contaminadas. Logra degradar los contaminantes

del agua con mayor rapidez que cualquier otro tratamiento o microorganismo que se aplique. Esto también favorece a la sociedad en todo sentido, para la población mejora la calidad del ambiente que lo rodea; para las fábricas o empresas que producen aguas residuales y las reservan en posas que ocasionan malos olores con ayuda de esta alternativa para tratar sus aguas se le considerarían empresas ecoeficientes, con alta competitividad.

Sobre la base de la realidad problemática presentada se planteó el problema general y los problemas específicos de la investigación. El problema general de la investigación ¿Cuál especie es más eficiente, la *Eichhornia crassipes* o *Lemna minor* para tratar agua residual de una planta agroindustrial?

El objetivo general Comparar la eficiencia de la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para mejorar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial. Los objetivos específicos fueron los siguientes:

- Determinar la calidad del agua residual de una planta agroindustrial.
- Aplicar las plantas macrófitas en la muestra de las aguas residuales de una planta Agroindustrial.
- Determinar la calidad del agua residual tratada en diferentes tiempos.
- Reconocer el grado de efectividad del tratamiento.

## II. MARCO TEÒRICO

En los trabajos previos, García, (2012). En su trabajo de investigación, el propósito primordial fue identificar si el sistema planteado con macrófitas disminuye en grandes cantidades los contaminantes y analizar si es eficiente dicho sistema a comparación de los ya existentes en nuestro país. El proyecto se llevó a cabo mediante dos proyectos. El primer proyecto se ejecutó en Alemania utilizando *Azolla Filiculoides* y el segundo proyecto de investigación empleó *Lemna Minor* y *Eichhornia Crassipes* en CITRAR-Lima, elaborando un flujo continuo que imita a un sistema para tratar aguas contaminadas. Lo que resultó es la notable diferencia entre la remoción de los parámetros físico-químicos. Con el Jacinto de Agua en cuanto a turbidez removió un 72% y la Lenteja de Agua un 65%. Con el parámetro de Oxígeno disuelto tuvo presencia de remoción en un 73% con el Jacinto de agua. En el parámetro microbiológico la DBO5 del agua al usar la lenteja de agua tuvo una remoción del 96.7%. El pH del agua inicialmente fue 10.4 y que al usar el Jacinto de agua bajo a 6.86 y con la lenteja de agua tuvo un ligero descenso hasta 9.83. En donde se concluyó que el tratamiento con Jacinto de agua mostró reducción de agentes contaminantes entre los 52% al 86% en un periodo de 5 días, en el caso de DBO5 se removió un 26.7% en 2.5 días. Con esto se demuestra la eficiencia de esta especie ya que redujo DBO, DQO, sólidos suspendidos y turbidez. Se considera el Jacinto de agua una de las plantas macrófitas con alta eficacia para la remoción de impurezas presentes en el agua, solo en 3 días se disminuyó la conductividad en un 42% ya que logró absorber grandes cantidades de sólidos en suspensión y siendo con capacidad de eliminar un 100% Nitrógeno amoniacal.

Rodríguez, Gómez, Garavito y López, (2010). En su investigación se planeó la idea de tratar aguas residuales, con la elaboración de dos humedales artificiales de flujo superficial o libre. En cuanto a su desarrollo experimental, se colocó cada especie de planta macrófita donde posteriormente pasará agua residual doméstica, industrial e institucional. El primer reactor se usó para instalar el buchón de agua o Jacinto de agua, tiene un 1.20 m de largo, 0.40m de ancho y 0.60m de profundidad. El segundo reactor en donde se estableció la lenteja de agua, con un largo de 0.90m, un ancho de 0.30 y una profundidad de 0.40m. Resultando la remoción de materia orgánica de entre 70 y 86% al utilizar el Jacinto de agua y de 58% cuando se utiliza lenteja de agua. Llegando a la conclusión de que dicho sistema lleva el comportamiento de un modelo de flujo pistón, sin importar el tipo de macrófita que se emplee. Se observó que, al utilizar la lenteja de agua en uno de los humedales, ésta produjo que el

agua aumente el pH; mientras que con Jacinto de agua el pH del agua se estabilizó, además favoreció al reducir en grandes cantidades la materia orgánica.

Quispe, Arias, Martínez y Cruz, (2013). El objetivo del trabajo fue evaluar la eficiencia para remover los parámetros fisicoquímicos, metales pesados de la *Eichhornia crassipes* y evaluar su desarrollo en la laguna de la Universidad Peruana Unión. Se elaboraron sistemas flotantes con tubos de PCV, mallas metálicas y de tela. El muestreo fue de dos meses, sembrando 600 plantas de *Eichhornia Crassipes*. El muestreo del agua se realizó antes y al final del tratamiento. Se evaluaron los parámetros físico-químicos como el pH a 8.22, aceites y grasas con un resultado de 4mg/l, los sólidos totales a 371 mg/l, turbiedad con 18.40 UNT, conductividad en 3.80 US/cm; microbiológicos tales como coliformes totales con un total de 24000 NMP/100ml, Fecales en 11000 NMP/100ml; Bioquímicos: DBO en 3 mg/l, DQO con 25 mg/l; además de metales pesados, demostrando que absorbe el arsénico en sutotalidad.

Castillo, (2017) tuvo como objetivo determinar la eficiencia *Lemna sp* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de nutrientes de las aguas residuales en Celendín, los parámetros a considerar es la temperatura, pH, oxígeno disuelto, fosfatos y nitratos. Se utilizó el efluente de la laguna facultativa, en donde se empleó 04 reactores, con dos llaves de paso con un caudal de 0.030 l/ minuto, el tratamiento duró 6 meses. A lo que resultó que el Ph se encuentra entre 7.07 y 8.32 siendo ligeramente alcalino con valores aceptables usando la *Eichhornia crassipes*, con el uso de la *Lemna minor* incrementa con una tendencia a acidificar el agua. El pH en el tanque de distribución registró un valor promedio de 7.66, en el tratamiento con *Lemna sp* se registró un valor promedio de 8.08 y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* se registró un valor promedio de 7.25. La temperatura en el tanque de distribución registró un valor promedio de 19.02 °C, en el tratamiento con *Lemna sp* se registró un valor promedio de 18.74 °C y en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* se registró un valor promedio de 18.63 °C; mostrándose una ligera variación de la temperatura encontrándose dentro del rango aceptable para el desarrollo de estas especies. El oxígeno disuelto en el tanque de distribución, registró un valor promedio de 1.48 mgO<sub>2</sub> /L, al aplicar un estímulo o tratamiento con *Lemna sp* se registró un incremento a 2.51 mgO<sub>2</sub> /L representando un incremento de 70%, paralelamente al aplicar un estímulo o tratamiento con *Eichhornia crassipes* se registró un incremento a 3.06 mgO<sub>2</sub> /L representando un incremento de 107%; mejorando

significativamente las condiciones de oxigenación en ambos sistemas de tratamiento favoreciendo la remoción de nutrientes.

Medina, (2016). En su trabajo de investigación evaluó el uso del Pasto Alemán y lenteja de agua como especies fitorremediadoras para tratar aguas residuales. Se elaboraron tres piscinas de dimensión de 1m x 1m x 0.45m de material hormigón, con un proceso de adaptación de 2 semanas para las plantas, el monitoreo y control se realizó durante 7 semanas con supervisión de una vez a la semana en caso de alteraciones. Resultando que con el Uso de la Lenteja de Agua mantiene la temperatura entre 20-23°, disminuyó en DBO de 56 mg/l a 33 mg/l en 7 días y en 14 días en un aproximado de 2 mg/l. En cuanto al DQO inició con una concentración de 142 mg/l en 7 días a 150 mg/l y en 14 días a 32 mg/l; Turbidez de 83 NTU en 7 días a 54 NTU y en 21 días a 17 NTU. Con el Pasto Alemán no se disminuyen ciertos parámetros que presentan altas concentraciones, por lo que se recomendó el uso de la Lenteja de agua por su alta remoción a los 21 días.

Aparicio, (2017) En su investigación tuvo como principal objetivo determinar la eficacia de los micrófitos Jacinto y Lenteja de agua para disminuir el Boro. Para el diseño de investigación se emplearon 3 peceras de 20 cm de ancho, 39 cm de largo y 19 cm de profundidad, con una muestra de 30 litros empleando Jacinto de Agua, aproximadamente 3kg al igual que la lenteja se emplearon 3kg, esta cantidad se escogió previa experimentación. En la primera pecera se incorporaron 3 kg de Jacinto de agua, en la segunda 3kg de la Lenteja de agua y la tercera se incluyeron las dos plantas acuáticas, el monitoreo se dio durante 3 semanas. A lo que resultó la disminución del boro, con el jacinto de agua redujo a 6.88mg/l, con la lenteja de agua hasta un 26.93 mg/l y con el tratamiento mixto hasta un 27.41 mg/l, se mostró la variación del PH y la temperatura durante esas semanas, durante la 1° semana con la muestra 1: 8.71 pH, en la muestra 2: 8.68pH, y en la muestra 3: 8.74pH, conservando una temperatura de 24.6°C en las 3 muestras. Durante la siguiente semana el pH de las muestras fue; en la muestra 1: 8.67pH, con la muestra 2: 8.66pH y en la muestra 3: 8.71pH, recalando que la temperatura de las 3 muestras se mantiene con los mismos grados.

En la tercera semana del monitoreo, el pH de las muestras fue: muestra 1 con 8.54pH, en la muestra 2: 8.63pH y en la muestra 3: 8.60pH, con la misma temperatura que tuvo cuando se inició el tratamiento. Concluyendo que el uso del Jacinto de agua es la planta adecuada para una alta remoción de contaminantes y metales como el Boro.

Una vez descritos los trabajos previos, al tema se describe las variables de estudio, tales como Contaminación del agua, que Según El Ministerio de Ambiente (MINAM, 2016) es acumulación de sustancias tóxicas y derrames de fluidos en el agua alterando su calidad.

Espigares y Pérez (2005) en su informe comenta que la polución del agua es la modificación dada por acción del hombre, convirtiéndola impura y dañina para uso humano, la ganadería, la industria y la agricultura. Esto se debe principalmente al crecimiento poblacional ya que así aumenta la cantidad de agentes contaminantes que vienen de las actividades del hombre sin pensar en la saturación los recursos del ambiente que nos rodea.

Las aguas residuales se definen como aquellas aguas que derivan del uso que se le da al agua potable, ya sea para uso doméstico, industrial y comunitario. Blázquez y Montero (2010). El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) define a las aguas residuales como aquellas aguas cuyas propiedades iniciales han sido alteradas por actividades humanas y que al ser de baja calidad requieren un tratamiento adecuado antes de ser reusadas, vertidas a un efluente natural o ser depositadas en un sistema de alcantarillado. OEFA, (2014) abarca la distribución de las aguas servidas en su informe basado en la Fiscalización Ambiental de Aguas Residuales de la siguiente manera:

Las aguas residuales domésticas, son aquellas de procedencia comercial y residencial que posee residuos, provenientes de las acciones que realiza el hombre y deben contar con una disposición adecuada:

Las aguas residuales municipales, son aguas provenientes de domicilios que se combinan con aguas de desagüe o con aguas cuya procedencia son de fábricas que cuentan con un tratamiento para posteriormente formar parte de sistemas de alcantarillado.

Las aguas residuales industriales, son las consecuencias de compañías que realizan procesos productivos, incluyéndose a las que provienen de la actividad, agrícola, energética, agroindustrial, etc. Mendonca como se citó en (Blázquez y Montero, 2010) comprende la clasificación de las aguas residuales entre ellas tenemos las domésticas que son aguas derivadas para el lavado, la cocina, los baños, es decir para uso humano, con el fin de que abastezca sus necesidades básicas. Un informe sobre Aguas residuales y composición muestra la siguiente clasificación que según su origen pueden ser:

Las aguas residuales domésticas o aguas negras, contienen excremento y orina humanas, de la higiene personal, de la cocina y de la limpieza del hogar. Poseen cantidades

considerables de carga orgánica y microorganismos, incluyendo restos de jabones, detergentes, lejía y grasas. (Espigares y Pérez, 2005)

Las aguas residuales blandas, provienen de la atmosfera en forma de lluvia, nieve, hielo o del riego y limpieza de calles, parques y lugares públicos. (Espigares y Pérez, 2005). Las aguas residuales agrícolas, provienen de las actividades agrícolas en zonas rurales. Son aguas que además de usarla para riego, la población también la emplea como agua para uso humano sin tratamiento previo. (Espigares y Pérez, 2005)

Las aguas residuales industriales, es la que se origina por los procesos realizados por compañías, empresas, que tienen como residuos de limpiadores, ácidos, grasas y otros productos que van a parar a efluentes sin tratamiento alguno. (Espigares y Pérez, 2005)

Las aguas residuales industriales, son aguas que se originan como resultados de las acciones producidas por las empresas. La variedad que existe de aguas contaminadas industriales es muy amplia, comprendiendo contaminantes de origen diferente. (Conduchen ,1994).

Las aguas Industriales son líquidos producto de acciones industriales. Según el tipo de industria tiene ciertas características específicas tales como la Infiltración y caudal adicionales en donde las aguas que se filtran ingresan a la alcantarilla por medio de las tuberías, tuberías de vigilancia y saneamiento. (Blázquez y Montero, 2010)

Estas aguas tienen como característica el descender de cualquier actividad. Los contaminantes con mayor significancia encontrados en el agua son los patógenos, metales pesados y materia orgánica que persisten, tales como residuos en suspensión y pesticidas, los cuales derivan de fuentes no identificadas. (Blog de fibras y Normas de Colombia S.A.C, 2017) La variedad de los efluentes industriales se debe a los procesos en donde sea usada el agua, dependiendo de ello, poseerán características diferentes y por ende su composición distinta.

Los constituyentes del agua residual, son los compuestos que se localizan en las aguas residuales, que pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Las aguas contaminadas poseen sólidos suspendidos, materia orgánica y agente patógena por lo que el diseño de las plantas para tratar estas aguas debe ser eficiente en su remoción. (García, 2012)

El agua contiene propiedades físicas, químicas, biológicas y de ellas depende su calidad. En el libro de Ingeniería titulado “Tratamiento, vertido y reutilización” comenta que según sus características físicas se distribuyen en Temperatura que va desde los 10°C hasta los 25°C. La Turbidez que es presencia de material orgánico y microorganismos de tamaño pequeño en el agua. El color siempre suele ser gris y el olor que posee es fétido, hediondo. Los sólidos totales muestran las sales, metales que se encuentran diluido en el agua, alterando su pureza. En cuanto a las características Químicas que identifican la estructura del agua residual son la materia orgánica ya que existe la presencia de grasas, aceites, proteínas.

Para poder identificar la cantidad de dicha materia orgánica usamos los parámetros de DBO(5) para reconocer el porcentaje de oxígeno que van a emplear los organismos para descomponer la materia orgánica. La materia inorgánica se puede medir a través del pH que va a indicar si el agua es básica o ácida, el pH se mide en un rango de 0 a 14, en donde 7 es neutro, de 0 a 5 es ácido y de 8 a 14 es básico. La Conductividad que es la presencia de sales en el agua y es aquí donde encontramos iones positivos y negativos, además de reconocer la presencia de cloruros y fosfatos en el agua. Las aguas alcalinas se deben a la presencia de sales. El Oxígeno disuelto que se define como el porcentaje de oxígeno en el agua, si existen bajas cantidades oxígeno en el agua quiere decir que se encuentra contaminada.

*Tabla 1. Estándares de calidad de agua*

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>VALOR</i>
<i>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA</i>	us/ cm	< 2500
<i>DBO</i>	mg/l	15
<i>DQO</i>	mg/l	40
<i>pH</i>	-	6.5-8.5
<i>OXÍGENO DISUELTO</i>	mg/l	≥ 4

Fuente: Ministerio del Ambiente, Categoría 3: Riego Vegetal [MINAM], (2017)

Tabla 2. Límite máximos permisibles para efluentes de PTAR

<i>PARÁMETRO</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>VALOR</i>
<i>DBO</i>	mg/l	100
<i>DQO</i>	mg/l	200
<i>pH</i>	-	6.5-8.5
<i>T°</i>	°C	<35

Fuente: Ministerio del Ambiente [MINAM], (2010)

Las plantas macrófitas, según Caicedo (citado en García, 2012) afirma que las plantas acuáticas son aquellas que necesitan grandes cantidades de agua en sus raíces para tener larga vida, crecen en humedales completamente inundados, los cuidados para este tipo de plantas es el mismo que una planta terrestre.

Según el diccionario de botánica (Flores y plantas, 2017) se define a plantas macrófitas o también llamadas palustres a las que necesitan vivir en lugares o zonas con abundante agua en el periodo de su vida útil.

Su clasificación, la relación con su medio es cambiante. Se pueden hallar diversos grupos de plantas macrófitas: sumergidas en su totalidad, sumergidas o con hojas flotantes. Dichas especies están adecuadas a diversos tipos de medios acuáticos como agua dulce, salada, estancada y aguas con temperaturas algo elevadas.

Las plantas macrófitas emergentes aquellas que poseen órganos reproductores aéreos, logran vivir con suelo de forma perenne o temporal. En el caso de las plantas de hojas flotantes los órganos reproductores son flotantes o aéreos viviendo sobre suelos saturados de agua.

Las macrófitas sumergidas son halladas en las partes donde llegue la luz solar, lo que ocasiona que no logren sobrevivir las angiospermas sino se encuentran por debajo de los 10 metros de profundidad, contando con órganos reproductores aéreos, flotantes o sumergidos. (Flores y plantas, 2017)

Las plantas acuáticas sumergidas, son aquellas plantas cuyas raíces y follaje crecen bajo el agua y contribuyen a que el agua se oxigene evitando el desarrollo de algas.

Las plantas acuáticas flotantes, son especies no arraigadas que revisten la superficie de los estanques para disminuir o eliminar el desarrollo de algas, además de cumplir con la función de clarificar el agua.

Las plantas acuáticas flotantes libres, tienen como característica primordial que no se desarrollan en el suelo, sin importar los tipos o los tamaños de las plantas.

El tratamiento de aguas residuales con plantas macrófitas, en estos tiempos el elaborar estanques artificiales con plantas macrófitas y usarlas para tratar aguas residuales han ocasionado gran impacto, por la cabida que presenta para lograr purificarlas. La mayoría de estos sistemas han permitido otorgar un tratamiento completo, en donde no sólo se remueve con eficiencia la carga orgánica y sólidos suspendidos, sino que además lograron disminuir sales diluidas, metales pesados y patógenos. En la Fábrica de Imusa S.A. localizada en el municipio de Río Negro (Antioquía), Colombia, se tienen trabajando desde 1988 con la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de Agua), se ha confirmado que es eficiente en cuanto a la disminución de los distintos contaminantes, logra alcanzar más de 97% en remover parámetros físico-químicos y metales pesados. (García, 2012)

Pedraza, (1997) comentó que la DBO del agua residual que trato disminuyó de manera considerable a igual que los sólidos suspendidos en una granja porcina en el Valle del Cauca utilizando este sistema de tratamiento.

Jaramillo y Flores, (2012) mencionan que los humedales artificiales es la opción más óptima y eficiente a comparación de los métodos tradicionales como tratamiento para aguas residuales, de irrigación, para tratar lixiviados, residuos de tanques sépticos, entre otros, ya que tienen la capacidad de remover contaminantes con procesos biológicos, vinculados con el material particulado y con la absorción a corto plazo.

Se clasifican en flujo superficial donde flujo del agua se realiza por medio de las hojas y los tallos y Flujo subsuperficial donde el flujo de agua se da solo en las raíces y rizomas. (Jaramillo y Flores, 2012)

Las propiedades de las plantas macrófitas en sistemas de tratamiento, Las macrófitas son de suma importancia en el funcionamiento de un sistema ya que favorece con el oxígeno a los microorganismos en la parte del suelo inmediata a la raíces, pueden absorber grandes cantidades de nutrientes, y eliminar contaminantes de las aguas negras, las plantas acuáticas flotantes tales como la *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* pertenecen al tipo de plantas que se han evaluado en gran magnitud y que con el tiempo se viene confirmando su eficiencia como purificador de aguas contaminadas. (Arroyave, 2014) Estas plantas tienen como objetivo disminuir en gran porcentaje de carga orgánica y otros agentes patógenos industriales para la mejorar su condición y reafirmar su eficiencia para tratar aguas

contaminadas. (Gil, 2012)

La macrófitas retienen sólidos gruesos ya que actúan como barrera, beneficia en la sedimentación de partículas en suspensión, actúan como soporte pasivo de microorganismos (bacterias, protozoos y algas microscópicas) y crean un medio adecuado para su desarrollo, que son participes de la descomposición de la materia orgánica.

Además, cabe informar que realizar un intercambio gaseoso desde las hojas hasta la raíz que está en contacto con el agua, la extracción de contaminantes y el envío del oxígeno del aire hasta sus raíces lo que favorece en la degradación de la carga orgánica en las raíces con ayuda de los microorganismos. Las plantas se oxigenan a través de un sistema de aireación presente en sus tejidos, contienen lenticelas que son pequeñas aberturas en las hojas y en el tallo hace que aire ingrese a la planta.

La extracción de contaminantes guarda relación con los factores intrínsecos de la planta, la cantidad que remueva va a depender del rendimiento de la planta. Existen 3 grupos de elementos que necesitan las plantas que son los macronutrientes cuya proporción en la composición de la planta es de 1-2%, 0.1-1% y 0.5-1% del peso seco, en algunos casos con la *Lemna minor* puede llegar a mayor porcentaje por ejemplo el contenido de nitrógeno al 7%; micronutrientes con proporción es menor a 0.5%; los oligoelementos que se encuentran en pequeñas proporciones en los tejidos. Fernández et al. (2010)

El proceso de remoción de contaminantes de las plantas macrófitas, Sólidos en suspensión: En los sistemas de flujo superficial los sólidos que se encuentran en suspensión se descartan por medio de la floculación/sedimentación y filtración/intercepción y se evidencia a los 3 días de empezar el tratamiento. En el caso del sistema de flujo subsuperficial la eliminación de sólidos que se encuentran suspendidos es eficiente debido a que la velocidad del flujo es lenta. Dichos sistemas se comportan como filtros horizontales, lo que ayuda con los procesos de sedimentación, floculación y adsorción. Fernández et al. (2010)

Materia orgánica: Estos procesos que producen la remoción de la materia orgánica son los físicos y biológicos, que se encuentran sumamente relacionados. La materia orgánica puede encontrarse en forma de partículas, coloides, supracoloides o disuelta El proceso físico que interviene es la floculación, sedimentación, absorción y adsorción. El proceso biológico interviene a través de los organismos vivos e influyen en el pH, la temperatura, estos procesos causan reacciones de oxidación, hidrólisis y fotólisis para degradar materia

orgánica. Esta materia ya degradada sirve para el desarrollo de los microorganismos, la disponibilidad del oxígeno se va a determinar por el DBO y es este parámetro el que condiciona el tipo de microorganismo que intervienen en la degradación y lo convierten en minerales, gases, y biomasa microbiana.

Los microorganismos anaerobios utilizan elementos diferentes al oxígeno como aceptores de electrones, por ejemplo, nitratos, carbonatos o sulfatos, dando lugar a compuestos reducidos del tipo de óxidos de nitrógeno, nitrógeno, azufre, tiosulfato. Estas reacciones son menos eficientes que las que ocurren en ambientes aerobios, y disminuyen la contaminación orgánica es decir que tiene que liberarse metano o hidrógeno. Al transferir el oxígeno al agua residual desde las partes sumergidas de las plantas emergentes se produce como consecuencia de la existencia de vías de aireación interconectadas en los tejidos de estas plantas (aerénquima). Fernández et al. (2010)

Nitrógeno: su remoción por procesos físicos de filtración, interceptación, floculación y sedimentación se da primordialmente para la fracción de nitrógeno orgánico, ya que, como constituyente de materia orgánica, está asociado con sólidos suspendidos. Durante su remoción se puede desprender amonio gaseoso y ocasiona variación del pH aumentándolo cuando existe alta actividad fotosintética y en la amonificación que se produce cuando se degrada la materia. Fernández et al. (2010)

Fósforo: Los fosfatos orgánicos se forman por procesos biológicos, y en el agua residual son componentes de restos de alimentos y otros residuos orgánicos, y organismos. El fósforo inorgánico del agua residual procede generalmente de productos de limpieza; otra fuente posible son los fertilizantes agrícolas. Fernández et al. (2010)

Lemna minor o Lenteja De Agua, es una planta angiosperma. Su cuerpo posee forma taloide, es decir, en la que no se diferencian el tallo y las hojas. Consiste en una estructura plana y verde y una sola raíz delgada de color blanco. (García ,2012)

Según (Cook, Gut, Rix, Schneller, y Seitz, 1994) comenta que el talo ha sido interpretado de diversas formas como un tallo modificado, una hoja o como parcialmente tallo y hoja.” Según el Instituto Gallach (citado en Arroyave, 2014) consideran que el talo es una hoja modificada que desempeñan la función de tallo, la hoja y el eje florífero.

Su tamaño es pequeño, va de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Son las especies más pequeñas que encontramos en el reino de las plantas. (Arroyave, 2014) Se caracterizan

por no tener hojas, tienen forma de lenteja, formada por un parénquima fotosintético en la parte superior de la lenteja y un parénquima aerífero para poder flotar, en la cara inferior, surgiendo de este último una o varias raicillas.

Estas estructuras son solitarias o forman grupos de 2 o 3, como resultado del proceso de multiplicación vegetativa. Fernández et al. (2010) La lenteja de agua es unisexual. Las flores masculinas están constituidas por un solo estambre y las flores femeninas consisten en un pistilo formado por un solo carpelo. (Arroyave, 2014)

La composición química, Fernández et al. (2010) comenta que su contenido proteico es muy alto y es considerado apto para alimentar el ganado y los peces.

Tabla 3. Composición Química de la *Lemna minor*

CONSTITUYENTES	PORCENTAJE
<i>Agua</i>	86-97
<i>Proteína</i>	31.19
<i>Lípidos</i>	5.58
<i>Fibra</i>	8.22
<i>Fósforo</i>	1.44

Fuente: Fernández et al. (2010)

Los parámetros que tolera la *Lemna minor*, En aguas calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos; resulta difícil desarrollarse con presencia de hierro en el agua y toleran un rango de pH entre 4,5 y 7,5.

El Instituto Gallach (citado en Arroyave, 2014) comenta que este tipo de planta pueden desarrollarse entre 5° y 30°C, con un crecimiento adecuado entre los 15° y 18°C, además de adaptarse con facilidad a lugares con iluminación. Son plantas unisexuales, que se encuentran en inflorescencias conformadas por un par de flores masculinas y una femenina situadas en el cuerpo lenticular. Las flores masculinas y femeninas no presentan periantio por lo que las masculinas son un estambre y las femeninas a un ovario unilocular. (García, Fernández y Cirujano, 2009)

Según (Olguín y Hernández, 1998) menciona que las plantas acuáticas usadas para el tratar aguas contaminadas son eficiencia de remoción de nutrientes y contaminantes. La

*Lemna minor* cumple con todas estas y gracias a esto ha sido empleada en sistemas de depuración.

Los usos de la *Lemna minor*, Alimentos para animales, después del tratamiento la *Lemna minor* absorbió los contaminantes del agua que al ser carga orgánica y algunos nutrientes la planta necesita se puede considerar como un recurso altamente productivo con valor proteico elevado ideal para la alimentación de animales domésticos como el pato, cerdas gestantes y lechones sin alteración o prejuicio alguno. (Arroyave, 2014)

Además de ser una excelente biomasa para estanques de acuicultura, al ser considerado como alimento para tilapias, carpas, pacú y bagres al convertirse en harina. (Hernández, 2015).

*Eichhornia Crassipes* O Jacinto De Agua, Jiménez y Padilla, (2009) en su trabajo de investigación menciona que tamaño es pequeño, alcanza de 2 a 4 mm de longitud y 2 mm de ancho. Es una de las especies de angiospermas más pequeñas que existen en el reino de las plantas.

Viven en aguas dulces tranquilas con ligeros movimientos. Su origen es en la Amazonía, pero actualmente se encuentra en todas las regiones. (Jaramillo y Flores, 2012). Según Much Santos (citado en Coronel, 2015) nos menciona que la principal característica morfológica es que son consideradas malas hierbas, que pueden obstruir en poco tiempo una vía fluvial o lacustre.

Es una planta perenne, herbácea y libre flotante, llegando a formar densos tapetes que ocasionan diversos problemas al humano, muchas veces se encuentra arraigada al sustrato. Se encuentra bien adaptada a diferentes hábitats (ríos, lagos, estanques, pantanos, canales y drenaje), exhibiendo una alta plasticidad morfológica en respuesta a diferentes condiciones de crecimiento. En estado maduro la planta de lirio se constituye de raíces, rizomas, estolones, peciolas, hojas, inflorescencias y frutos. Fernández et al. (2010)

La raíz constituye un sistema radical adventicio fibroso sin ramificaciones y cápsula conspicua; esto es que la raíz se origina de tejido maduro no meristemático, con una raíz primaria que se ramifica en muchas raíces delgadas de aproximadamente el mismo tamaño. Si la planta se encuentra flotando, la raíz es de color púrpura debido a pigmentos disueltos en las vacuolas, llamados antocianinas cuya formación se favorece con un alto contenido de azúcares. Fernández et al. (2010)

Sus hojas dispuestas en roseta, flotantes, de 5-65 cm, pecioladas, con un limbo plano y ovado, de 2-15 cm, y pecíolos de 3-50 cm inflados. Flores. Dispuestas en espigas,

hermafroditas, de 2,5-5 cm, zigomorfas, con 6 tépalos soldados en un tubo con 6 lóbulos libres, de color violeta o azul, el superior con una mancha oscura con el centro amarillo; 6 estambres, los tres superiores mayores que los tres inferiores, y tres carpelos soldados en un ovario, con cientos de pequeñas semillas en su interior. García et al. (2009)

La combinación de flores junto con el extraño aspecto de sus hojas (con los pecíolos hinchados convertidos en flotadores de forma helicoidal en una roseta flotante, sobre un tallo reducido a un solo nudo), hacen de *Eichhornia crassipes* una especie muy atractiva como planta ornamental. García et al. (2009)

El lirio acuático se puede reproducir asexual o sexualmente. Aunque la generación puede ser importante en la recolonización de un área, la producción de nuevas plantas por reproducción vegetativa es mucho más significativa. En esta última, las plantas producen estolones horizontales que desarrollarán hojas arosadas de una yema terminal, este proceso se repite en las plantas hijas que se reproducen en poco tiempo, duplicando la población entre 5 a 15 días. (Agencia del Desarrollo Económico Local, 2014)

La composición química Fernández et al. (2010) indica que el componente principal de la planta es el agua entre 93% y 95% de la masa total, este va a depender del medio donde crezca.

Tabla 4. Composición de la *Eichhornia crassipes*

CONSTITUYENTES	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
<i>Proteína cruda</i>	18.1	9.7-23,4
<i>Grasa</i>	1.9	1.6-2.2
<i>Fibra</i>	18.6	17.1-19.5
<i>Ceniza</i>	16.6	17.1-19.5
<i>Carbohidratado</i>	44.8	11.1-20.4
<i>NTK</i>	2,9	1.6-3.7
<i>Fósforo</i>	0.6	0.3-0.9

Fuente: Fernández et al. (2010)

Los parámetros que tolera la *Eichhornia crassipes*, las T° menores de 0°C perjudican su florecimiento. Sin embargo, cuerpos de agua eutrofizados que contienen niveles altos de nitrógeno, fosforo, potasio al igual que aguas contaminada con metales pesados como cobre y plomo no limitan su crecimiento. Se cultiva a una temperatura de 20 – 30°C. No pueden

resistir los inviernos fríos. Necesita encharcados y con mucha iluminación. El Jacinto de agua se puede reproducir asexual o sexualmente. Aunque la generación puede ser importante en la recolonización de un área, la producción de nuevas plantas por reproducción vegetativa es mucho más significativa. (Coronel, 2015) Coronel, (2015) usó la *Eichhornia crassipes* en su trabajo de investigación y comenta que posee un crecimiento rápido con una temperatura de 20 a 30°C, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados lo que favorece la acción depuradora de las plantas macrófitas, mantiene en sus tejidos metales pesados. Además, remueve fenoles, colorantes y pesticidas, y reduce niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos.

El uso de la *Eichhornia crassipes*, puede ser empleada para la generación de gas mediante biodigestores. Un Biodigestor funciona por la presencia de bacterias anaeróbicas presentes en el material que al actuar sobre los desechos orgánicos de origen vegetal o animal producen una mezcla de gases con alto contenido de metano, conocido como biogás. (Agencia del Desarrollo Económico Local, (2014)

Se usa para elaborar abono orgánico, se recomienda el compostaje, la cual consiste en elaborar un producto que trae consigo beneficios a la población y puede ser empleado principalmente en la producción de plantas ornamentales, mejoramiento los suelos para cultivos de forma considerable.

Se emplea como productos de mueblerías, cordelería y Textil, el usar este tipo de materiales en la elaboración de muebles, tiene la particularidad de darle valor agregado a estos productos y ayuda a la reutilización de elementos que podrían ser desechados.

Además de ser empleado para la elaboración de aglomerados en fibra y cemento. Se colecta la *Eichhornia* de cuerpo completo sacándolo del agua hasta tierra firme, después a su extracción del cuerpo de agua el Jacinto se dejará secar en un lugar ventilado y a sol directo hasta que esté completamente seco, para después ser procesado a través de un molino de martillo para convertirlo en un tipo de harina o aserrín, que será la base para la fabricación de los tableros.

### **III. MÉTODOS**

#### **3.1. Técnica de investigación**

El Método es cuantitativo, y el tipo a utilizar en la tesis es Longitudinal – Comparativo porque es también un tipo de estudio observacional que investiga de forma repetitiva las variables en tiempos y compara dichas variables para establecer sus similitudes y diferencias.

#### **3.2. Diseño de investigación**

La Tesis tiene un diseño no experimental Longitudinal ya que no existe manipulación de ninguna variable, los resultados se observan tal y como se presentan.

#### **3.3. Variables, operacionalización**

VD: Calidad del Agua Residual

VI: Eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*

Variable(s)	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Rango
VD: CALIDAD DELAGUA RESIDUAL	<p>La calidad del agua se identifica cuando se comparan sus propiedades físico-químico.</p> <p>La calidad del agua va a depender de la debida importancia que se le otorgue. Las aguas residuales son vertidas a efluentes sin tratamiento lo que produce que estas aguas se llenen de impurezas, trayendo consigo impactos negativos y haciendo que este recurso no tenga uso alguno.(<b>Autoridad Nacional del Agua [ANA],2017)</b>)</p>	<p>Se realizarán análisis físicos, biológicos del agua donde ha sido aplicada la <i>Eichhornia Crassipes</i> y <i>Lemna minor</i>. El primer análisis se realizará a los 7 días de su aplicación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Propiedades físicas.</li> <li>• Propiedades Biológicas</li> </ul>	<p>-T°</p> <p>-Turbidez</p> <p>-Conductividad</p> <p>-PH</p> <p>-DBO <sub>(5)</sub></p> <p>- DQO</p>	<p>18°C a 23°C</p> <p>1NTU-5NTU</p> <p>&lt; 2000</p> <p>6.5 – 8.5</p> <p>100 mg/l</p> <p>200 mg/l</p>



### **3.4.Población y muestra**

#### **3.4.1. Población**

En el presente trabajo de investigación, la población estuvo conformada por el agua residual de las pozas pertenecientes a la Planta Procesadora de Frutos Naturales “FRUTOSA”

#### **3.4.2. Muestra**

La muestra fue de 60 litros de agua residuales de las pozas pertenecientes a la Planta Procesadora de Frutos Naturales “FRUTOSA”.

#### **3.4.3. Muestreo**

Muestro no probabilístico, no aleatorio por conveniencia- Longitudinal

### **3.5.Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **3.5.1. Técnica de recolección de datos**

Para realizar este trabajo de investigación se basó en lo siguiente:

- **Técnica de muestreo (recolección de muestras)**

La recolección de la muestra se realizó de forma manual, se tomarán 30 litros del agua residual en botellas limpias, posterior a ello se analizará dicha agua con los parámetros adecuados.

- **Técnica de laboratorio**

Técnicas de análisis físicos y químicos del agua

Determinación de T°

**Método: Inmersión de termómetro eléctrico Técnica: Termometría**

El agua residual se colocó en un vaso de precipitación y se usará el termómetro que nos indicará la temperatura que posee dicha agua y con ello se identificará la calidad del agua.

**Determinación de Turbidez Método Turbidímetro Técnica: Turbidimetría**

Para determinar la turbidez se necesitó 10 ml de agua residual y se empleó el turbidímetro que es un instrumento portátil, que está formado por celdas y por ende tiene un portaceldas; se emplea para medir la cantidad de partículas suspendidas encontradas en el agua.

La muestra primero se debe agitar en el recipiente en el que se encuentre, posterior a

ello se agregará a las celdas evitando que se formen burbujas, se coloca en la portaceldas y finalmente pasado 7 segundos se obtendrán resultados. Es recomendable analizar la muestra en menos de 24 horas.

#### **Determinación de conductividad Método Electrométrico Técnicas: Electrometría**

Para medir la conductividad se empleó el conductímetro por ser más sensible a la hora de medir sales presentes en el agua, se usa 150 ml de agua, el tiempo de espera es entre 10 a 15 minutos para obtener los resultados.

#### **Determinación de pH Método Electrométrico Técnica: Electrometría**

Para identificar el pH que posee el agua, se empleó el conductímetro ya que posee mayor sensibilidad, se añade 100 ml de la muestra en un vaso de precipitación, se coloca el conductímetro dentro del vaso de precipitación, se espera entre 10 a 15 minutos hasta tener resultados e identificar si el agua es acida, neutra y básica. También se usará agua destilada para limpiar el equipo después de ser utilizado.

#### **Determinación de DQO Método Fotométrico Técnica: Digestión ácida**

La Demanda Química de Oxígeno se midió mediante el uso de un termo reactor que se va a precalentar a 150°C, se identifica el rango que se va a utilizar para saber qué cantidad de muestra utilizar, se cierra el vial después de haber incluido la muestra y se agita 5 veces, se coloca en el reactor por 2 horas y posterior a ello es llevado al fotómetro para la medición correspondiente.

#### **Determinación de DBO (5) Método Winkler Técnica: Volumetría**

Para determinar el DBO(5) se usa este método alternativo, en donde se necesitará botellas winkler oscuras, se emplearán reactivos como cloruro férrico, cloruro de calcio y cloruro de magnesio, se llevarán a incubar 5 días aproximadamente a 20-21°C

### **3.5.2. Instrumentos materiales y equipos de recolección de datos.**

#### **Materiales de Campo**

- Guardapolvo
- Cofia

- Guantes
- Cubreboca
- Recipientes de vidrio
- Libreta de Campo
- Cámara fotográfica

#### **Materiales de Laboratorio**

- Vasos de precipitación
- Botellas Winkler
- Agua destilada

#### **Equipos de laboratorio**

- pHmetro
- Conductímetro
- Turbidímetro
- Equipo de medición de DQO
- Equipo de medición de DBO

#### **3.5.3. Validez**

La validez de los resultados del trabajo de investigación fue a través de los análisis certificados realizados en el Laboratorio de Biotecnología de la Universidad César Vallejo Filial Chiclayo en donde se midieron los parámetros físicos y biológicos del agua residual antes y después del tratamiento.

### **3.6.Procedimiento**

#### **3.6.1. Metodología para toma de muestra Muestreo**

La planta procesadora de frutos naturales “Frutosa” ubicado en el distrito de Motupe consta de tres pozas donde se almacena el agua residual, los 60 litros de muestra fue extraída de la primera poza, por ser a simple vista la que posee mayor contaminación.

La toma de la muestra fue por conveniencia y el punto de muestreo se dio en el centro de la primera poza.

Las muestras que se tomaron fueron simples y se recogieron en baldes previamente desinfectados.

### **Selección de la materia a utilizar**

- *Eichhornia crassipes*: plantas acuáticas flotantes que no necesita sustrato alguno, se adaptan con facilidad a cualquier tipo de agua residual, se emplearon 3kg de las plantas de tamaño mediano. Estas plantas se obtuvieron en el badén del Peaje Moxe.
- *Lemna minor*: se caracterizan tener un tamaño muy pequeño, poseen tejidos que absorben gran cantidad de contaminantes, se emplearon 3 kg de *lemna minor* y fueron obtenidos de la acequia por San Roque.

### **Elaboración de los humedales**

Para los humedales artificiales se elaboraron dos recipientes de 70 cm de largo, 35 cm de ancho y 30 cm de profundidad.

### **Aplicación de las plantas acuáticas en los humedales artificial**

Se elaboraron dos humedales artificiales, cada uno se llenó con 30 litros del agua residual en dos peceras con 30 cm de profundidad. Se incorporaron los 3 kg de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, cabe recalcar que estas cantidades se tomaron de un trabajo de investigación donde hallaron las cantidades adecuadas para 30 litros de agua. El tratamiento duró 3 semanas y se analizó el agua cada 7 días para identificar si existe remoción o aumento de los contaminantes en el agua Método para análisis de datos

El análisis de datos que se utilizará es el Excel y el SPSS ya que con estos programas puedes comparar dos o más grupos con respecto a diversas variables. (**Castañeda, Cabrera, y Navarro, 2010**)

### **3.7.Aspectos éticos**

Se respetó todas las citas y referencias de las normas internacionales ISO 690:2010, los resultados que se obtuvieron de los parámetros físicos y biológicos del muestreo se realizaron con honestidad y con responsabilidad por el investigador a cargo.

#### IV. RESULTADOS

##### Determinación de Parámetros Físicos y Biológicos

**Tabla 5.** Determinación de los parámetros físicos y biológicos del agua residual de la planta Procesadora de Frutos Naturales “Frutosa”

<i>DETERMINACIÓN</i>	<i>VALORES</i>
pH	7.164
Conductividad eléctrica	563.3 us/cm
Temperatura	20.7 C°
Oxígeno disuelto	1.08 ppm
Turbidez	40 NTU
BQO	167 mg/l
DBO	625

Fuente: Elaboración propia

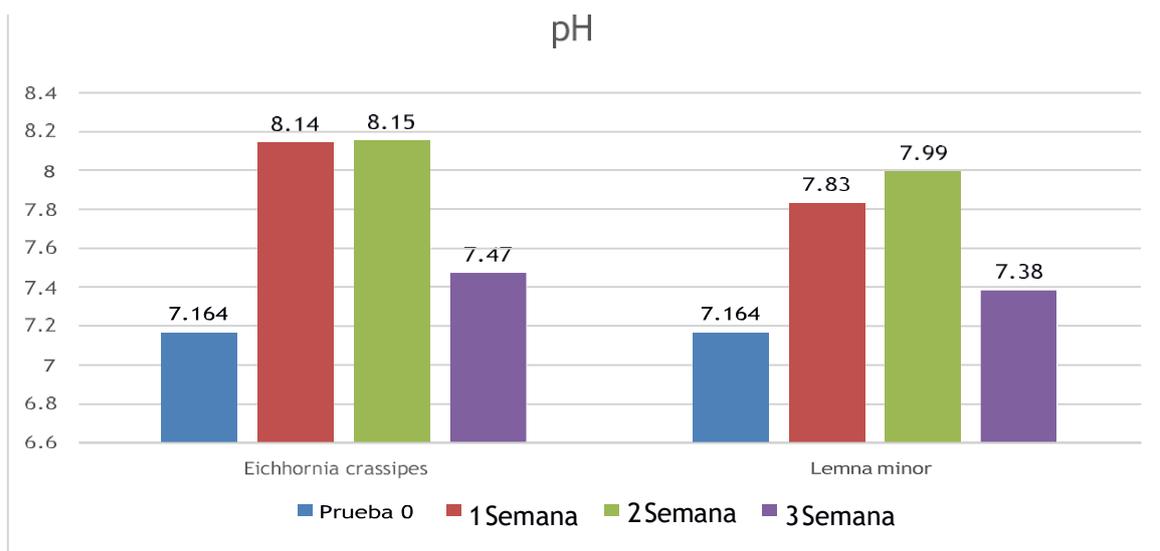
##### Interpretación

El agua residual la de planta procesadora de frutos naturales “Frutosa” cuenta con un agua con pH neutro, conductividad eléctrica ligeramente alta por presencia de Sales. Presenta turbidez alta debido a la excesiva presencia de partículas en suspensión. El DQO Y DBO con rango alto.

**Tabla 6.** Comparación de los tratamientos en el Análisis de pH

Tratamientos	Prueba 0	1° Semana	2°Semana	3°Semana
<i>Eichhornia crassipes</i>	7.164	8.14	8.15	7.467
<i>Lemna minor</i>	7.164	7.83	7.99	7.337

Fuente: Elaboración propia



**Figura 1.:** Análisis de pH

Fuente. Tabla 6

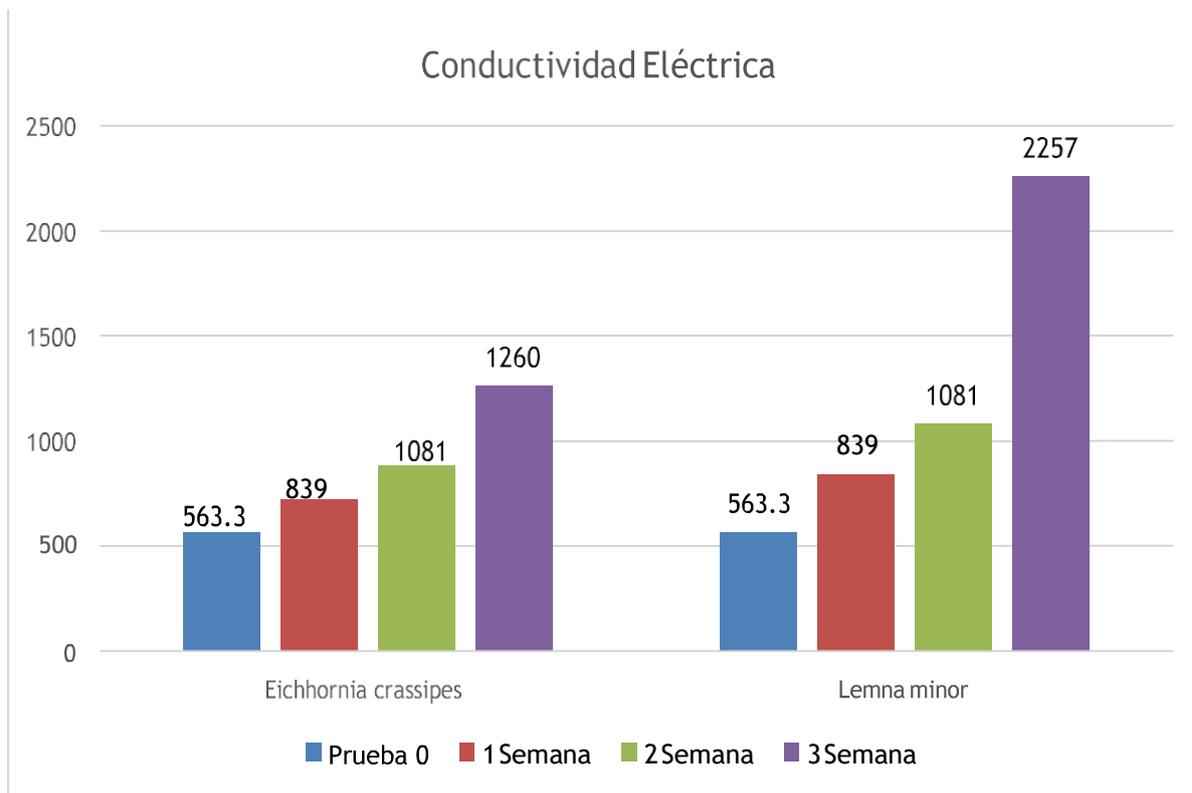
### Interpretación

En la figura 1 se observa que con el uso de ambas plantas existe un ligero aumento de pH, manteniéndose en los parámetros permitidos, identificando también que con el uso de la lemna minor el aumento del pH no es tan notorio a comparación con la Eichhornia crassipes.

**Tabla 7.** Comparación de los tratamientos en el Análisis de Conductividad Eléctrica.

Tratamientos	Prueba 0	1°Semana	2°Semana	3° Semana
<i>Eichhornia crassipes</i>	563.3 us/cm	724 us/cm	877 us/cm	1260 us/cm
<i>Lemna minor</i>	563.3 us/cm	839 us/cm	1081 us/cm	2257 us/cm

Fuente: Elaboración propia



**Figura 2.** *Análisis de Conductividad Eléctrica*

*Fuente. Tabla 7*

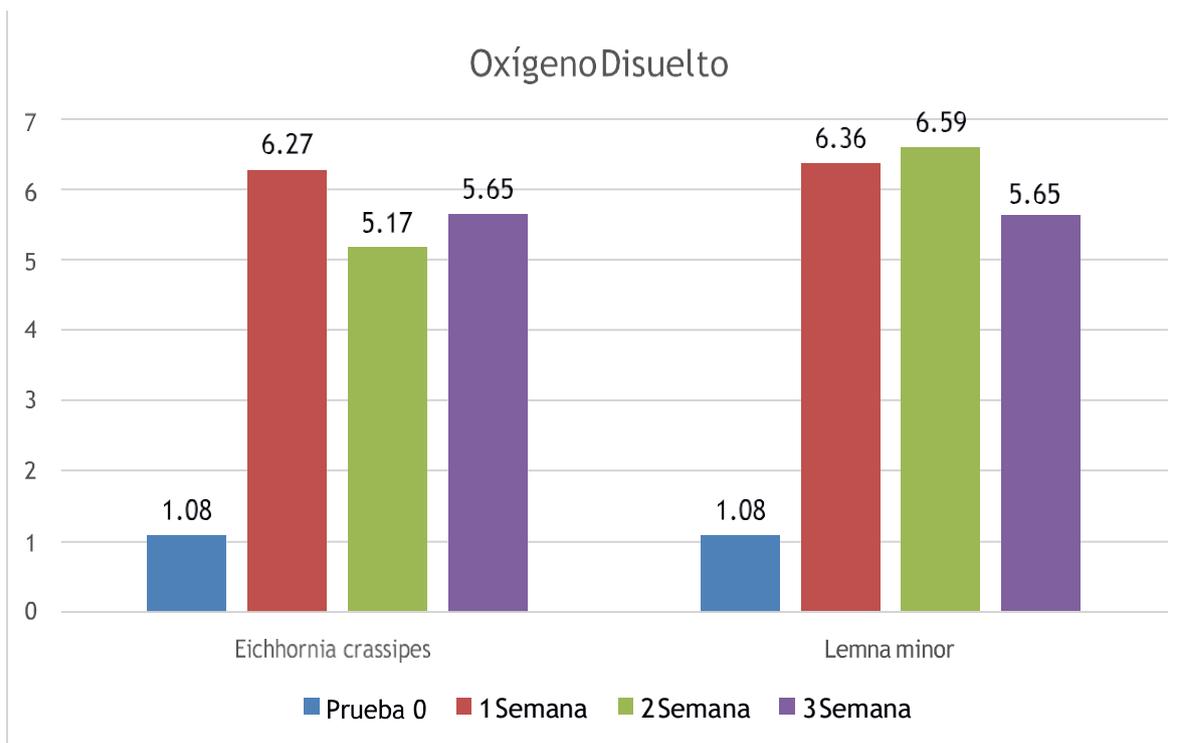
### Interpretación

En las muestras de aguas los valores de conductividad van aumentando durante los 21 días que se aplicaron los tratamientos. Durante las 3 semanas del tratamiento el aumento de la conductividad eléctrica en el estanque con *Eichhornia crassipes* no es tan relevante a comparación con la *Lemna minor* donde el aumento de su conductividad eléctrica las primeras semanas llega a 1081 us/cm pero en la tercera semana aumenta casi el doble.

**Tabla 8.** *Comparación de los tratamientos en el Análisis de Oxígeno Disuelto*

Tratamientos	Prueba 0	1°Semana	2°Semana	3°Semana
<i>Eichhornia crassipes</i>	1.08 ppm	6.27 ppm	5.17 ppm	5.65 ppm
<i>Lemna minor</i>	1.08 ppm	6.36 ppm	6.59 ppm	5.63 ppm

Fuente: Elaboración propia



**Figura 3.** *Análisis de Oxígeno Disuelto*

Fuente. Tabla 8

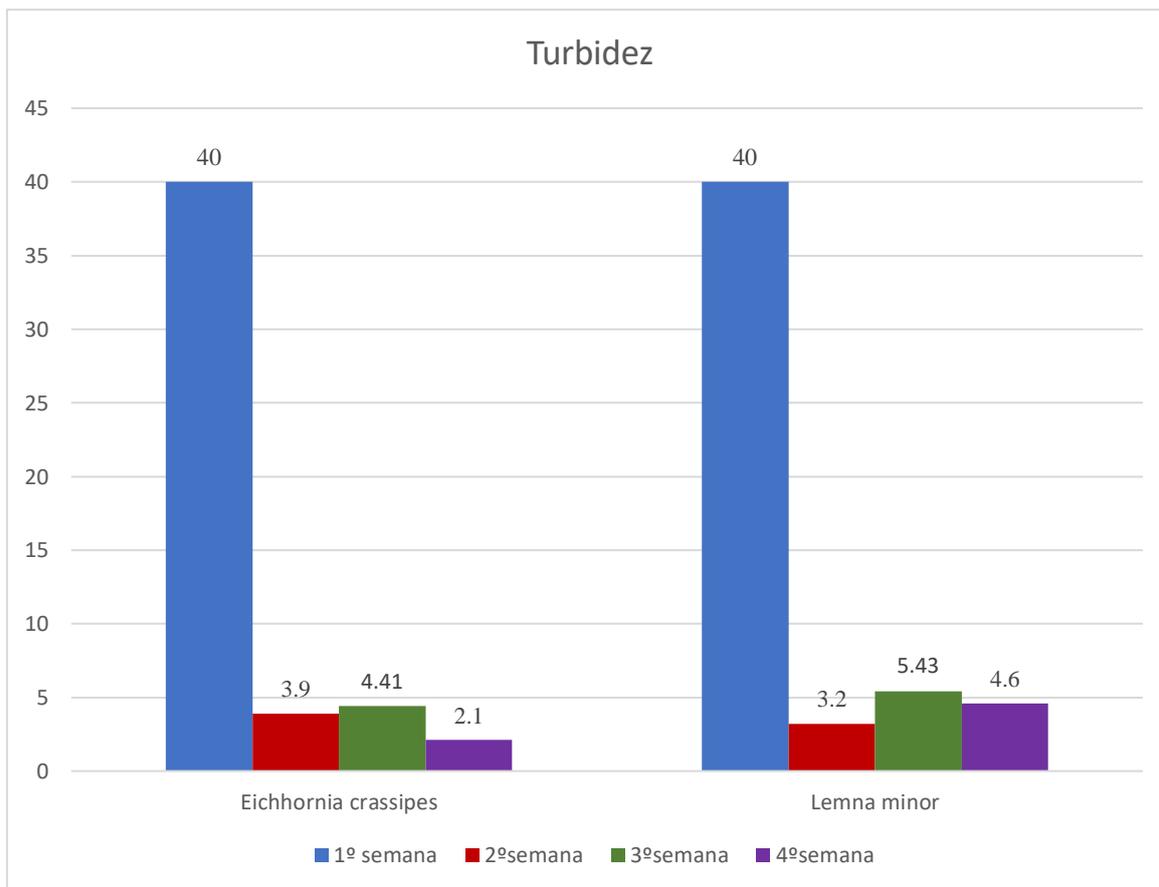
### Interpretación

Como se Observa en el gráfico, el aumento de Oxígeno disuelto en ambas plantas es significativo. En la 2 y 3 semana con la *Eichhornia crassipes* este parámetro disminuye, con la *Lemna minor* en la segunda semana existe un ligero aumento y posteriormente tiende a bajar.

**Tabla 9.** Comparación de los tratamientos en el Análisis de Turbidez

Tratamientos	Prueba 0	1ªSemana	2ªSemana	3ªSemana
<i>Eichhornia crassipes</i>	40 NTU	3.9 NTU	4.41 NTU	2.10NTU
<i>Lemna minor</i>	40 NTU	3.2 NTU	5.43NTU	4.6NTU

Fuente: Elaboración propia



**Figura 4. Análisis de la Turbidez**

Fuente. Tabla 9

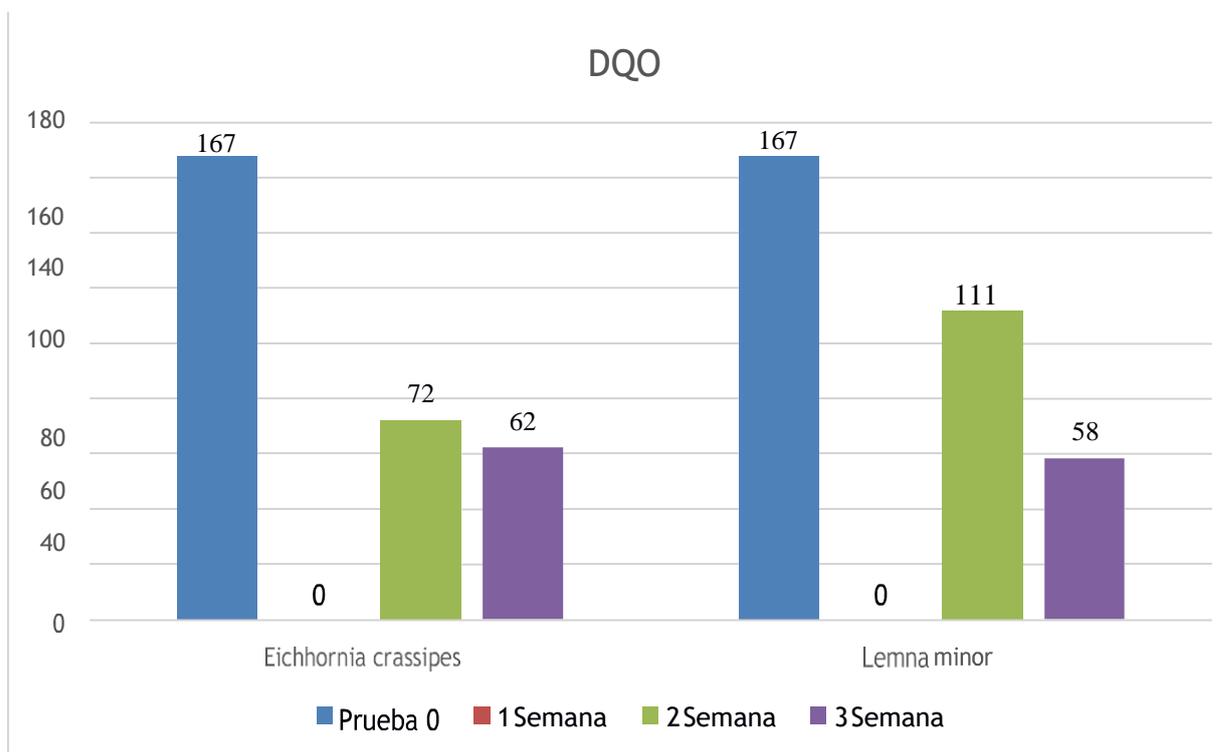
### Interpretación

La turbidez del agua residual antes del tratamiento era de 40 NTU, implementado las plantas acuáticas disminuyó aproximadamente en un 90% en tan solo 7 días. Durante la segunda semana tiende a aumentar de forma no considerable, y a la semana siguiente disminuye.

**Tabla 10. Comparación de los tratamientos en el análisis de DQO**

Tratamientos	Prueba 0	1 Semana	2 Semana	3 Semana
<i>Eichhornia crassipes</i>	167 mg/l	0mg/l	72mg/l	62mg/l
<i>Lemna minor</i>	167 mg/l	0mg/l	111mg/l	58mg/l

Fuente: Elaboración propia



**Figura 5.** Análisis de DQO

Fuente. Tabla 10

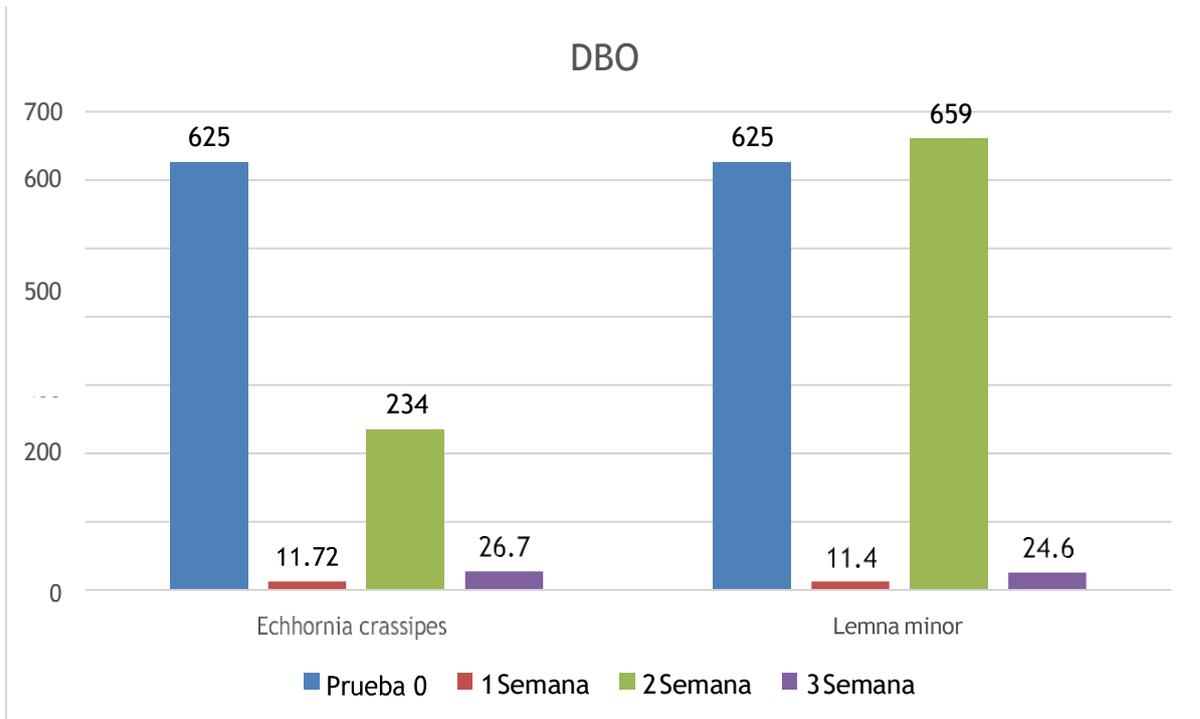
### Interpretación

En la figura 5 se identifica que en la 1 Semana se removió por completo el DQO, en la semana 2 aumentó a mayor rango con en la Lemna minor que con en la Eichhornia crassipes, mencionando también la disminución de aproximadamente la mitad de DQO en la Lemna minor durante la tercera semana.

**Tabla 11.** Comparación de los tratamientos en el análisis de DBO

Tratamientos	Prueba 0	1°Semana	2°Semana	3°Semana
<i>Eichhornia crassipes</i>	625 mg/l	11.72mg/l	234mg/l	26.7 mg/l
<i>Lemna minor</i>	625 mg/l	11.4mg/l	659mg/l	24.6mg/l

Fuente: Elaboración propia



**Figura 6.** *Análisis de DBO*

Fuente. Tabla 10

### **Interpretación**

En el gráfico se observa la considerable disminución en tan solo una semana utilizando ambas plantas, en la segunda semana aumentó este parámetro identificando que en la Lemna minor sobrepasó a la prueba control e identificando la disminución considera de esta durante la tercera semana. En el caso de la Eichhornia también surge cambio en la segunda Semana ya que aumenta y en la tercera semana disminuye de la misma forma.

## V. DISCUSIÓN

En cuanto al pH durante la experimentación tuvo un ligero aumento usando ambas plantas de igual forma la conductividad eléctrica que se elevó considerablemente, la temperatura en ambas era al rango de la Temperatura ambiental. Por lo que se discrepa con **García, (2012)** el cual menciona que el pH en su trabajo de investigación se estabilizó de 10.4 a 6.86 usando *Eichhornia crassipes* y con la *Lemna minor* a 9.83; comenta que la temperatura con la *Eichhornia crassipes* disminuye debido a la sombra que provee por sus hojas grandes y gruesas. Se discrepa con **García, (2012)** en cuanto al parámetro de Turbidez menciona que removió con la *Lemna minor* un 65% y con la *Eichhornia crassipes* un 72%, demostrándose en la parte experimental que ambas plantas poseen efectividad de aproximadamente en un 90- 92% para remover la turbidez en el agua en 7 días.

La conductividad eléctrica en el trabajo de investigación presenta aumento constante de forma no significativa desde los primero 7 días con ambas plantas por lo que no se comparte la misma opinión de **García, (2012)** donde indica que en 3 días logró disminuir un 42% la conductividad eléctrica utilizando la *Lemna minor*.

ElDBO tuvo remoción del 98% en los 7 días de haber aplicado el tratamiento usando ambas plantas, compartiendo la idea con **García, (2012)** donde indica que con la *Lemna minor* también fue eficiente la remoción de la materia orgánica en el agua obteniendo aproximadamente 96.7% y al emplear la *Eichhornia crassipes* en 2.5 días removió DBO en un 26.7%.

En cuanto al Oxígeno disuelto aumentó en el agua residual utilizando la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en la primera semana de usar el tratamiento de 1.08 ppm a 6.27 y 6.36 ppm respectivamente. En la siguiente semana se vio un aumento de Oxígeno disuelto en el estanque donde se encuentra la *Eichhornia crassipes* por lo que concuerdo con **Coronel, (2015)** y **García, (2012)** al sustentar que este aumento se debe a que esta planta se demora en proliferarse permitiendo la fotosíntesis y por ende generar oxígeno.

En la investigación se empleó el mismo diseño experimental que **Rodríguez et al.(2010)** empleando humedales artificiales de flujo superficial o libre con la diferencia de que dicho sistema llevaba un comportamiento de flujo Pistón, sin embargo existe variación en la disminución de contaminantes según la plantas utilizadas, se removió entre 70-86% con la *Eichhornia crassipes* y un 58% con la *Lemna minor* a diferencia de los resultados obtenidos con una remoción entre 90-92% en ambas plantas macrófitas. Sin contar con la misma opinión de **Rodríguez, (2010)** en cuanto al pH ya que menciona que usando la *Eichhornia*

*crassipes* el pH de su agua se estabilizó, mientras que durante la experimentación se identificó el aumento de pH de forma constante. **Quispe et al. (2013)** empleó el tratamiento durante dos meses utilizando 600 plántulas de *Eichhornia crassipes*, en donde reduce su conductividad a 3.80 us/cm, caso contrario a lo que resultó en el trabajo de investigación donde se muestra aumento de pH con la *Eichhornia crassipe* con mayor notoriedad que con la *Lemna minor*.

Usando menor cantidad de plantas en 7 días se redujo la turbidez de 40 NTU a 3.90 con la *Eichhornia crassipes* a diferencia de la investigación de **Quispe, (2013)** que redujo con 600 plantas acuáticas turbidez a 18.40 NTU.

La *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* removieron el parámetro de DQO de 167 mg/l a 0 mg/l en 7 días, mientras que en el trabajo de investigación de **Quispe et al. (2013)** en dos meses removió a 25 mg/l menor cantidad del porcentaje que obtuvimos. **Castillo, (2017)** menciona que el promedio del pH de la *Lemna minor* es mayor al de la *Eichhornia crassipes* lo cual se discrepa con dicho autor ya que durante la investigación el promedio del pH de las dos plantas va entre 7.719 con la *Eichhornia crassipes* y 7.91 con *Lemna minor*.

Con la *Eichhornia crassipes* el oxígeno disuelto aumentó en las tres semanas de monitoreo entre 5.67 y 6.27 mg/l, con la *Lemna minor* aumentó entre 5.63 y 6.59 mg/l a comparación de **Castillo, (2017)** que el aumento del oxígeno en el agua fue de 1.48 mg/l con *Lemna minor* y 2.51 mg/l con *Eichhornia crassipes*. **Medina, (2016)** en su investigación se observaron resultados durante las 3 primeras semanas, con la *Lemna minor*, el parámetro de DBO de 56mg/l disminuyó a 33 mg/l a los 7 días y a 2mg/l a los 14 días, El parámetro DQO inició con 142 mg/l en 7 días aumentó a 150 mg/l y a los 14 días disminuyó considerablemente. La turbidez de 83 NTU disminuyó a 54 NTU en 7 días y en 21 días a 17 NTU, es por ello que se discrepa ya que durante la experimentación la remoción con el uso de la misma planta macrófita en los primeros 7 días removió de 625 mg/l a un promedio 11.56 mg/l en DBO, con DQO de 167 mg/l a 0 mg/l y turbidez de 40 NTU a 3.20 NTU. **Aparicio, (2017)** en su proyecto de investigación empleó 3kg de la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* donde redujo gran porcentaje de Boro, el pH tuvo un aumento constante con ambas plantas y la temperatura se encontró entre 23-24 °C concordando con este autor en ambos parámetros.

## VI. CONCLUSIONES

- El agua residual de la Planta Procesadora de Frutos Naturales “Frutosa” cuenta con un agua residual que posee poca cantidad de Oxígeno disuelto, abundante carga orgánica por lo que su DBO y DQO es alto; su pH es neutro, posee una conductividad eléctrica de rango medio, su temperatura va entre los 21-24°C, turbidez de 40 NTU, presencia de olores fétidos y el agua de color verdoso.
- Se elaboraron dos humedales artificiales de flujo superficial horizontal, cada estanque se llenó con 30 litros del agua residual de la Planta Procesadora de frutos naturales “Frutosa”. Se emplearon aproximadamente 3 kilogramos de cada planta. Las plantas acuáticas que usamos fueron la Eichhornia crassipes que la hallamos en el badén de Moxe y la Lemna minor en el dren cerca a la entrada de Lambayeque; se vio conveniente que el recojo de la biomasa sean provenientes de aguas contaminadas con el fin de que se adapten con mayor rapidez.
- 
- Ambas plantas son eficientes en la remoción de los contaminantes del agua residual de la Planta Procesadora de Frutos Naturales “Frutosa”. Empleando la Eichhornia crassipes se removió un 90% en cuanto a turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, aumentó el oxígeno disuelto, el pH y conductividad eléctrica. Con la Lemna minor hubo un porcentaje de remoción de 92 en turbidez, 100% en DQO, 98% en DBO, de la misma manera aumentó el oxígeno disuelto, pH y conductividad eléctrica.
- Con resultados obtenidos se identifica la notoria disminución de los contaminantes en el agua, al mismo tiempo de aumento del pH y la conductividad eléctrica. Se identificó el tiempo óptimo en el que las plantas remueven los contaminantes con efectividad en un promedio de 7 días, durante la segunda semana las plantas comienzan a segregar sustancias que contaminan las aguas y en la tercera semana esos contaminantes empiezas a disminuir considerablemente. Esto se puede considerar como un ciclo en el que las plantas ya absorbieron todos los contaminantes que ellas suelen considerar como nutrientes y como necesitan seguir sobreviviendo segregan sustancias para retroalimentarse.

## **VII. RECOMENDACIÓN**

- El agua residual tratada cumple con los Límites Máximos Permisibles y con los Estándares de Calidad del Agua por lo que es recomendable ser usada para riego ya que la empresa cuenta con parcelas de mango, además de ser importante hacer ensayos de toxicidad a la *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* para identificar el efecto que diferentes concentraciones de un contaminante específico puedan tener sobre estas especies; cabe recalcar que esto queda a criterio de la empresa responsable.

## REFERENCIAS

- ACUÑA;CORONEL ,Samuel,; CARRASCO, José y SANCHUM, Gilberto. TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES UTILIZANDO DOS ESPECIES MACRÓFITAS. Proyecto de Tesis. Lima: Universidad Peruana Unión,2016. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/350202647/Tratamiento-de-Aguas-Grisas-Utilizando-DosEspecies-Macrofitas-Pistia-Stratiotes-y-Eichhornia-Crassipes>
- Agencia del Desarrollo Económico Local, Fondo de la Iniciativa para las Américas El Salvador, Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2014). Investigación de la Caracterización del Jacinto de Agua Eichhornia crassipes del humedal Cerrón Grande , para determinar su aprovechamiento como materia prima en la elaboración de productos , agroindustriales , industriales o artesanales. Chalatenango: SE. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de: [https://fiaes.upmakeapps.com/library/1920905875\\_20150216014513.pdf](https://fiaes.upmakeapps.com/library/1920905875_20150216014513.pdf)
- Agua en la economía circular.(8 de julio de 2012).[Fecha de consulta: 10 de mayo del 2018] Recuperado en <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-gil/biotecnologia-ambiental-y-tratamiento-de-aguas>.
- Alvarado, E. (20 de febrero de 2017). Aguas servidas inundan viviendas y calles del distrito de San José. El Comercio. Recuperado el 6 de abril de 2018, de <https://diariocorreo.pe/edicion/lambayeque/chiclayo-aguas-servidas-inundan-viviendas-y-calles-del-distrito-de-san-jose-732338/>
- ANÓNIMO. Las aguas residuales, un problema que se complica en México [en línea]. El Economista.. 29 de julio de 2017[fecha de consulta: 6 de abril del 2018]. Disponible en <https://www.economista.com.mx/politica/Las-aguas-residuales-un-problema-que-secomplica-en-Mexico-20170729-0012.html>
- Anónimo. Colombia sólo trata 9% de sus aguas residuales.[en línea]. El Espectador. 25 de septiembre de 2008 [fecha de consulta:4 de abril del 2018 ]. Disponible en <https://www.elespectador.com/impreso/negocios/articuloimpreso-colombia-solo-trata-9-desus-aguas-residuales>
- Aparicio, I. B. (2017). "Eficacia de las macrófitas Jacinto y Lenteja de agua para disminuir la concentración de boro en las aguas minerotermales de la Laguna " La Milagrosa". Tesis, Lima. Recuperado el 14 de Noviembre de 2018,de:

- repositorio.ucv.edu.pe/.../3525/Garay\_AIB.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- ARROYAVE, María del pilar. Revista EIA [en línea]. Febrero 2004.[fecha de consulta: 12 de abril del 2018]. Disponible e<http://www.redalyc.org/pdf/1492/149217763003.pdf> n ISSN: 1794-1237
- Autoridad Nacional del Agua. 2013.Lima (11 de marzo del 2013). [Fecha de consulta: 8 de abril de 2018.] Recuperado de: <http://www.camara-alemana.org.pe/downloads/2-130311-ANA.pdf>. Autoridad Nacional del Agua. 2017. Lima (2013).[Fecha de consulta: 24 de junio del 2018].Recuperado de: <http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/plannacionalrecursoshidricos2013.pdf>
- Banús, M., & Bertrán, C. (2018). H2O. (M. d. Banús, Ed.) Elementalwatson "la" revista, I(I), 7-11. Recuperado el 5 de Septiembre de 2018, de: <file:///E:/x%20ciclo/PLANTAS%20MACROFITAS/Revista%201%20N%201b.pdf>
- Blog de fibras & Normas de Colombia S.A.C. Colombia, (16 de abril de 2017).[Fecha de consulta: 13 de mayo del 2018] Recuperado de: [https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/aguas-residualesclasificacion-y-caracteristicas/#Agua\\_Residual\\_Industrial\\_ARI](https://www.fibrasynormasdecolombia.com/terminos-definiciones/aguas-residualesclasificacion-y-caracteristicas/#Agua_Residual_Industrial_ARI).
- CASTAÑEDA, María; CABRERA, Alberto yNAVARRO, Yadira. Procesamiento de datos y análisis estadísticos utilizando SPSS. Brasil: Porto Alegre, 2010. Disponible en <http://www.pucrs.br/edipucrs/spss.pdf>
- Castillo Rojas, E. W. (2017). Eficiencia de la Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la Remoción de Nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Tesis, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca. Recuperado el 12 de noviembre de 2018, de <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/1735>
- CORONEL , Elver. Eficiencia del Jacinto de agua y Lenteja de agua en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Chachapoyas. Tesis (Bachiller en Ingeniería Ambiental). Amazonas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Chachapoyas. Amazonas, 2015.Disponible

en :  
[http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JA CINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.untrm.edu.pe/bitstream/handle/UNTRM/657/EFICIENCIA%20DEL%20JA%20CINTO%20DE%20AGUA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

COOK, C., GUT, B., Rix., E. M., Schneller, J., & Seitz, M. (1994). *Water plants of the world; a manual for the identification of the genera of freshwater macrophytes*. (D. W. b.v., Ed.) 569. Recuperado el 12 de abril de 2018, de: <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19756705454>

Curt Fernandez de la mora, M. D., Fernandez González, J., Beascochea, E., & Muñoz, J. (2010). *Fitodepuración en humedales*. En M. D. Curt Fernandez de la mora, *Manual de fitodepuración. Filtros de macrófitas en flotación* (Vol. I, pág. 129). Madrid, España: LIFE- Medio Ambiente. Recuperado el 23 de Noviembre de 2018, de: [https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20M anual/Cap%EDtulos%205.pdf](https://www.fundacionglobalnature.org/macrophytes/documentacion/Cap%EDtulos%20M%20anual/Cap%EDtulos%205.pdf)

DBO 5 [Videograbación] Bogotá: Universidad Distrital Francisco Jose de Caldas, 2013,(13 min y 37 seg): <https://www.youtube.com/watch?v=twslJ4lCOts>

Diario La República. (21 de Septiembre de 2018). *Diario La República*. Recuperado el 04 de Septiembre de 2018, de *Diario La República*. Recuperado de: <https://larepublica.pe/sociedad/1323060-lambayeque-exigen-sancionar-empresas-industriales-vierten-aguas-residuales>

Flores y plantas. (11 de septiembre de 2017). *Flores y plantas*. Recuperado el 15 de abril de 2018, de *Flores y plantas.net*: <https://www.floresyplantas.net/plantas-macrofitas/>

Flora y Fauna earth and sky. *The natural history of the northwoods*. Colombia (2002). [fecha de consulta: 13 de abril del 2018] Recuperado de : <http://www.rook.org/earl/bwca/nature/aquatics/lemna.html>

García Murillo, P., Fernandez Zamudio, R., & Cirujano Bracamonte, S. (2009). *Habitantes del agua. Macrófitos*. (M. Martínez Acevedo, & S. Useros Piernas, Edits.) Andalucía, España: Agencia Andaluza del agua. Recuperado el 18 de septiembre de 2018, de: [http://www.jolube.es/pdf/libro\\_macrofitos\\_andalucia\\_2010.pdf](http://www.jolube.es/pdf/libro_macrofitos_andalucia_2010.pdf)

- García, Zarela. COMPARACIÓN Y EVALUACIÓN DE TRES PLANTAS ACUÁTICAS PARA DETERMINAR LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE NUTRIENTES EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería, 2012. Disponible en: [http://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](http://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf)
- Gil Pulido, Beatriz;. (8 de julio de 2012). Agua Amazine 19. Recuperado el 10 de mayo de 2018, de Agua en la economía circular: <https://www.iagua.es/blogs/beatriz-gil/biotecnologia-ambiental-y-tratamiento-de-aguas>
- Hernandez, D. (2015). Producción de biomasa de Lemnaceas en estanques de acuicultura. Argentina: Bioeconomía Argentina. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de: <http://www.bioeconomia.mincyt.gob.ar/wp-content/uploads/2014/12/4.Produccion-de-biomasa-de-lemnaceas-en-estanques-de-acuicultura-David-Hernandez.pdf>
- Jaramillo, Mariuxi Y Flores, Edison. Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor y Eichhornia crassipes en aguas residuales producto de la actividad minera. Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 2012. Disponible en <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/2939/1/UPS-CT002482.pdf>
- JIMENEZ , Cynthia y PADILLA, Cyndi. REMOCION DE CONTAMINANTES INORGANICOS DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES CON Eichhornia crassipes o JACINTO DE AGUA. Tesis (Título de ingeniero Químico). Ecuador: Universidad de Guayaquil, 2009. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1881/1/1038..pdf>
- LARIOS, Fernando; GONZALES, Carlos y MORALES , Yennyer .Revista Saber y Hacer.[en línea] Octubre 2015, Vol. II. [fecha de consulta: 6 de abril del 2018]. Disponible en <http://www.usil.edu.pe/sites/default/files/revista-saber-y-hacer-v2n2.2-1-19set16-aguasresiduales.pdf> ISSN 2311 – 7613.
- Medina, S. D. (2016). Evaluación del Pasto Alemán y lenteja de agua como especies fitorremediadoras para el tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Chicaña

- provincia de Zamora Chinchipe. Tesis, Ecuador. Recuperado el 04 de Noviembre de 2018, de: [dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14140](http://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/14140)
- Mendoza, Yoma , Pérez, Jhonny y Galindo, Andres. Revista Scielo [en línea].Marzo 2018., Scielo, Vol. 29.[fecha de consulta: 13 de abril del 2018]. Disponible en <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642018000200205> ISSN: 0718-0764.
- Ministerio de Ambiente. 2016. [En línea] 2 de diciembre de 2016. [Citado el: 20 de abril de 2018.] Disponible de:  
<http://www.minam.gob.pe/educacion/wpcontent/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-3-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-3.pdf>.
- Ministerio del Ambiente. 2010. Límite Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR. Lima. Disponible en:[http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds\\_003-2010-minam.pdf](http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf)
- Ministerio de Ambiente. Lima.(2016).[fecha de consulta: 20 de abril del 2018 ] Recuperado en: <http://www.minam.gob.pe/educacion/wpcontent/uploads/sites/20/2017/02/Publicaciones-3-Texto-de-consulta-M%C3%B3dulo-3.pdf>.
- Olguin, E y Hernández, E. 1998. Use of aquatic plants for recovery of nutrients and heavy metals from wastewater. Institute of Ecology, Environmental Biotechnology. Canada , 1998. Recuperado de: <https://www.idrc.ca/sites/default/files/openebooks/112-4/index.html>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Lima.( 2014).[fecha de consulta:13 de abril del 2018 ] Recuperado en: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Revista Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos [en línea].2017.[fecha de consulta:4 de abril del 2018 ]. Disponible en <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002476/247647s.pdf> ISSN: 978-92-3-300058-2.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Combella .(2017).[Fecha de consulta: 19 de junio del 2018] Recuperado de: <http://unesdoc.unesco.org/images/0024/002475/2475.pdf>
- QUISPE, Lizbeth y otros . Eficiencia de la especie macrófita Eichhornia crassipes (Jacinto de

- agua) para la remoción de parámetros fisicoquímicos, metal pesado (Pb) y la evaluación de su crecimiento en función al tiempo y adaptación al medio en una laguna experimental. Revista Journal of Agriculture and Veterinary Science [en línea]. Agosto 2016, Volumen 9.[fecha de consulta: 13 de abril del 2018]. Disponible en: <http://www.iosrjournals.org/iosr-javs/papers/vol9-issue8/Version-2/J0908025365.pdf> ISSN: 2319-2380
- Raven, Peter , Evert, Ray Franklin yEichhorn, Susan . 2013. Raven Biology of plants. Eighth edition. New York : Freeman and Company Publishers,, 2013. pág. 791. 8641536. [https://www.researchgate.net/publication/274179048\\_Raven\\_biology\\_of\\_plants\\_8th\\_edn](https://www.researchgate.net/publication/274179048_Raven_biology_of_plants_8th_edn)
- RODRÍGUEZ , Job. Construcción y evaluación hidrodinámica de un humedal artificial de flujo horizontal a escala piloto. Tesis (título de ingeniero mecánico agrícola). México: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, 2015. Disponible en : <http://siiaa.uaaan.mx/pgmdoc/tesis/41100212.pdf>
- Rodríguez, Juan Pablo; Gómez, Esteban; Garavito, Laura y Lopez , Francy. Revista de tecnología y Ciencias del Agua [en línea]. 10 de enero-marzo de 2010, Vol. I.[fecha de consulta: 10 de abril del 2018]. Disponible en <http://www.redalyc.org/pdf/3535/353531968005.pdf> ISSN: 0187-8336.
- Rodríguez, Manuel. 2013. Diario La República. Diario La República. [En línea] 22 de Mayo de 2013.Disponible en: <https://larepublica.pe/archivo/712716-mar-lambayecano-es-afectado-por-drenaje-de-aguas-residuales>.
- Rook, E. 2002. Flora y Fauna earth and sky. The natural history of the northwoods. Colombia : s.n., 2002. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-22162010000200004](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-22162010000200004)
- Tratamiento de aguas residuales industriales. Barcelona, (12 de abril de 1994). [Fecha de consulta: 13 de mayo de 2018.] Recuperado de <https://condorchem.com/es/tratamiento-de-aguas-residuales-industriales/>.
- VEGA, Ysela. 2017. Chiclayo en medio de aguas servidas y olores nauseabundos.[en línea].La República. 12 de Agosto de 2017[fecha de consulta: 6 de abril del 2018].Disponible en: <https://larepublica.pe/sociedad/1072819-chiclayo-en-medio-de-aguas-servidas-y-olores-nauseabundos>.

# ANEXO



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA**

TIPO DE ANÁLISIS : Análisis fisicoquímico  
 USUARIO : Ingrid Carolina Enriquez Chávez  
 N° DE MUESTRA : 07  
 TIPO DE MUESTRA : Agua residual  
 FECHA DE EMISIÓN : 30 de Noviembre del 2018  
 RESULTADOS :

N° DE MUESTRA	PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDAD	EQUIPO
PC	TURBIDEZ	40	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	167	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.164	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	563.3	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	1.08	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	625	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
E1	TURBIDEZ	3.9	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	0	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.14	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	724	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	6.27	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	11.72	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
	TURBIDEZ	4.41	NTU	TURBÍDIMETRO



CAMPUS CHICLAYO  
 Carretera Pimentel Km. 3.5  
 Tel.: (074) 481 616 Anx.: 6514

fb/ucv.peru  
 @ucv\_peru  
 #saliradelante  
 ucv.edu.pe



E2	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	72	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	8.15	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	877	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	5.17	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	234	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
E3	TURBIDEZ	2.10	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	62	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.467	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1260	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	5.65	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	26.7	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
L1	TURBIDEZ	3.20	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	0	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.83	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	839	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	6.36	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	11.4	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
L2	TURBIDEZ	5.43	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	111	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.99	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)





	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	1081	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	6.59	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	659	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)
L3	TURBIDEZ	4.6	NTU	TURBÍDIMETRO
	DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO	58	mg/L	FOTÓMETRO
	POTENCIAL DE HIDROGENO	7.337	pH	pHMETRO (BUFFER 7, 4.1, 10.1)
	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	2257	uS/cm	CONDUCTÍMETRO
	OXIGENO DISUELTO	5.63	ppm	OXÍMETRO
	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXÍGENO	24.6	mg/L	MÉTODO OD (5 DÍAS)

Nota: la muestra fue tomada por el usuario, el laboratorio no se responsabiliza.

UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO



*Kunal*

LABORATORIO DE BIOTECNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA





**Figura 7.** Recolección de la Muestra de la Planta Procesadora de Frutos Naturales "Frutosa"



**Figura 8.** Recolección de la *Eichhornia crassipes* en el Bandín de peaje Moxe



**Figura 9.** *Recolección de la Lemna minor en la acequia cerca de la entrada en Lambayeque.*



**Figura 10.** *Estanques de vidrio de 30 cm de profundidad.*



**Figura 11.** *El agua residual de la planta procesadora de Frutos Naturales “Frutosa.”*



**Figura 12.** *Enjuagado de las raíces de la Eichhornia crassipes.*



**Figura 13.** *Humedales artificiales ya elaborados*



**Figura 14.** *Variación del aspecto del agua en los primeros 3 días.*



**Figura 15.** *Aspecto del agua residual a los 7 días.*



**Figura 16.** *Recolección de la muestra para análisis físico-químicos en los 7 días.*



**Figura 17.** *Equipo para medir DQO.*



**Figura 18.** *Análisis de turbidez del agua residual a los 14 días.*