

FACULTAD DE INGENIERÍA

CARRERA DE **INGENIERÍA AMBIENTAL**

“FITORREMEDIACIÓN CON *EICHHORNIA CRASSIPES*  
EN LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO5 EN AGUAS  
RESIDUALES DOMICILIARIAS DE LA CIUDAD DE  
CAJAMARCA, 2021”

Tesis para optar al título profesional de:

**Ingeniera Ambiental**

**Autoras:**

Lesly Thais Calderon Rodriguez  
Dorlhy Judith Salinas Cordova

**Asesor:**

Ms. Ing. Grant Ilich Llaque Fernández  
<https://orcid.org/0000-0002-6793-775X>

Ms. C Jessica Marleny Lujan Rojas  
<https://orcid.org/0000-0001-8781-4231>

Trujillo - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Carlos Alberto Alva Huapaya</b>	<b>06672420</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Sara Esther García Alva</b>	<b>26615951</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Wilberto Effio Quezada</b>	<b>42298402</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

tesis

---

### INFORME DE ORIGINALIDAD

---

**8%**

INDICE DE SIMILITUD

**7%**

FUENTES DE INTERNET

**5%**

PUBLICACIONES

**6%**

TRABAJOS DEL  
ESTUDIANTE

---

### FUENTES PRIMARIAS

---

**1**

Submitted to Universidad Continental

Trabajo del estudiante

**5%**

**2**

[renati.sunedu.gob.pe](http://renati.sunedu.gob.pe)

Fuente de Internet

**2%**

**3**

[hdl.handle.net](http://hdl.handle.net)

Fuente de Internet

**1%**

**4**

[repository.unad.edu.co](http://repository.unad.edu.co)

Fuente de Internet

**1%**

## DEDICATORIA

- Dedico este trabajo de investigación a mis padres Aurora Katherine Córdova Rosario y César Augusto Salinas Vásquez que siempre fueron mi soporte incondicional en la parte moral y económica hasta llegar a ser un profesional y una persona de bien.
- A mi hermana y demás familiares en general dedico este trabajo porque siempre me brindaron apoyo día a día durante el transcurso de mi carrera universitaria.

Dorlhy Judith Salinas Córdova.

- Dedico este trabajo a mis padres Manuela Jesús Rodríguez Ibáñez y Rosas Marino Calderón Fernández, por haber contribuido a ser la persona que soy actualmente ya que muchos de mis logros han sido por ellos. Me formaron con reglas morales que me incentivaron a alcanzar mis metas y deseos.
- A mi hermana, entre otros familiares en general, les dedico esta tesis por el apoyo que me ha ayudado en mi desarrollo personal y académico.

Lesly Thais Calderón Rodríguez

## AGRADECIMIENTO

- Agradecemos a nuestros asesores Ms. C Jessica Marleny Lujan Rojas y Ms. C Grant Ilich Llaque Fernández, quienes nos guiaron para obtener los resultados que buscábamos, respaldándonos con sus conocimientos en cada etapa de este proyecto.
- También damos las gracias a nuestra familia, por el apoyo constantemente, lo cual nos ha permitido no olvidar nuestras metas y darnos palabras que sirvan de apoyo para tomar impulso.

## Tabla de contenido

<b>JURADO EVALUADOR</b>	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
<b>AGRADECIMIENTO</b>	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
RESUMEN	9
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	10
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	23
CAPÍTULO III: RESULTADOS	27
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS	53
ANEXOS	62

## Índice de tablas

Tabla 1. Taxonomía de la eichhornia crassipes.....	30
Tabla 2. Crecimiento de la <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	31
Tabla 3. Ecosistemas acuáticos de supervivencia para <i>Eichhornia Crassipes</i> .....	33
Tabla 4. Presencia de metales en aguas residuales.....	32
Tabla 5. Contaminantes eliminados utilizando <i>Eichhornia crassipes</i> .....	35
Tabla 6. Eficiencias de reducción según la etapa de fitorremediación.....	36
Tabla 7. Ventajas y desventajas de los humedales artificiales.....	37
Tabla 8. Evaluación de parámetros según el tiempo inicial y final.....	39
Tabla 9. LMP emanados por el MINAM .....	42
Tabla 10. Valores de la <i>Eichhornia Crassipes</i> vs valores aportados por los LMP.....	41
Tabla 11. Esquema de propuesta para la selección y diseño de humedales artificiales para la recuperación de aguas residuales domésticas en beneficio del centro poblado polloc ubicado en la provincia de cajamarca.....	45

## Índice de figuras

Figura 1. Plantas macrófitas más comunes.....	28
Figura 2. Características morfológicas de la macrófita eichhornia crassipes “jacinto de agua”.....	30
Figura 3. Proceso de fitorremediación eichhornia crassipes en aguas residuales.....	35
Figura 4. Eficiencia de la fitorremediación de eichhornia crassipes en aguas residuales domésticas.....	38
Figura 5. Valoración de los parámetros según el tiempo de influencia de la fitorregulación.....	36
Figura 6. Evaluación de parámetros fisicoquímicos en etapa inicial y final.....	41
Figura 7. Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas .....	69
Figura 8. Planta de tratamiento de aguas residuales.....	70

## RESUMEN

La descontaminación de las aguas residuales utilizando de la fitorremediación ha resultado ser una alternativa favorable debido a su capacidad para absorber contaminantes a través del uso de plantas, en vista de ello la presente investigación tiene como objetivo describir el nivel eficiencia fitorremediadora con *Eichhornia crassipes* en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas considerando la recopilación de resultados obtenidos a través de la revisión de la literatura para reconocer algunos atributos comunes a todas ellas, conociendo sí dicha especie podría servir como propuesta para el tratamiento de las aguas residuales domésticas. La metodología se basó en recopilar y comparar información obtenida de sitios web como Redalyc, Scielo, Alicia, Dialnet, así como en repositorios académicos donde reposan investigaciones realizadas en diversas localidades del Perú y a nivel internacional. Considerando las palabras clave para realizar la búsqueda general en función de los parámetros de exclusión, debido a ello se seleccionaron 18 estudios que demostraron la eficiencia de *Eichhornia crassipes* para tratar las aguas residuales domésticas, lo que permite conocer la efectividad de la especie para la remoción de la contaminación en aguas residuales domésticas.

**Palabras Clave:** Aguas residuales domésticas, remoción, fitorremediación, *Eichhornia crassipes*, DQO, DBO5.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

En la actualidad, el crecimiento poblacional a nivel mundial ha propiciado un aumento de las actividades que generan un uso mayor del recurso hídrico, lo cual incentiva el vertimiento de agua residuales domésticas (ARD) que según lo que menciona Kadlec y Knight (citado por Carrillo et al., 2021) estos se originan a raíz de la aglomeración del exceso de aguas provenientes de diversas fuentes, entre ellas las aguas que se desechan de otros hogares o industrias, las lluvias, así como las infiltraciones que ocurren en los terrenos. Sin embargo, cuando no estas no se dirigen a los lugares donde sean depositadas pueden crear diversos problemas para el ambiente que terminan por afectar a todos sus habitantes.

A nivel mundial, los problemas de vertimientos de aguas domésticas se relacionan con las deficiencias o inconvenientes que impiden que el agua residual se dirija hacia las redes centrales de saneamiento planeadas dentro de la arquitectura urbanista, lo que ocasiona que estas desemboquen en otros lugares como ríos, lagos y otros mares, provocando así una contaminación de las mismas, debido a que no fueron recolectadas a tiempo ni tratadas con algún fin específico. Con relación a esto, cifras aportadas por el Banco Mundial (citado por Rodríguez et al., 2020) afirman que el 80% de las aguas son desechadas en el medio ambiente sin haber recibido algún tipo de tratamiento, lo cual se debe en gran medida al crecimiento de las zonas urbanizadas donde el excesivo crecimiento ha provocado un retroceso en la calidad del agua, insuficiencias en el suministro y fallas en las estructuras destinadas al saneamiento, siendo estos puntos clave para aprovechamiento de las aguas que surgen como desperdicio.

Asimismo, esta realidad se evidencia de igual manera en países latinoamericanos donde se percibe un mal manejo de las redes de alcantarillo, proveniente desde la planificación arquitectónica de los hogares, lo cual produce que muchas de estas aguas no se dirijan al lugar correcto, ocasionando problemas ambientales, así como el desequilibrio de la los seres vivos, especialmente de los humanos quienes presentan un riesgo para su salud al estar continuamente expuestos a estas toxinas generadas con la mezcla de desechos líquidos y sólidos tal y como lo señala Barriga y Sánchez (2018).

De igual forma, esta problemática con las aguas residuales se percibe en el contexto peruano, donde persiste la presencia de problemas con la contaminación que generan las aguas residuales en lugares no aptos para ello, los cuales inciden directamente en la planificación urbana de drenajes, incentivando el ambiente propicio para que los residuos se mezclen con los mares y ocasionen grandes desequilibrios al medioambiente debido a la continua exposición a las toxinas presentes en ella, que generan efectos negativos que reducen la probabilidad de supervivencia tal y como lo señala Delgado (2021), además la proliferación de las aguas residuales podría traer consecuencias para el desarrollo de las sociedades que se encuentran expuestas a estas situaciones.

Por consiguiente, en la localidad de Cajamarca, se observa que las aguas residuales domésticas no cumplen con un proceso de tratamiento adecuado, llegando a ser vertidas en cuerpos receptores no aptos para la reserva entre los cuales se encuentran estanques, quebrada, ocasionando enfermedades y daños ambientales De acuerdo a datos aportados por INEI (citado por Amaringo y Quispe, 2019) durante el 2019 se registraron aproximadamente 8.400.000 m<sup>3</sup> de descargas de estas aguas, lo cual representó una diferencia considerable respecto al año 2013.

Sin embargo, entre las alternativas empleadas para intentar recuperar las aguas residuales se basa en la fitorremediación, utilizando la especie *Eichhornia crassipes*, una planta macrófita flotante predominante en zonas tropicales y subtropicales que según lo mencionado por Aguirre et al. (2022) es considerada una planta de uso específico para la reducción de exceso de nutrientes y metales pesados. Además, constituye una herramienta que facilita el trabajo de descontaminación y apropiada para la aplicación en sistemas de humedales artificiales debido a su alta tolerancia para la purificación de las aguas residuales.

Por lo tanto, para el desarrollo de esta investigación se consideraron diversas investigaciones científicas de estudio a nivel internacional, nacional y local relativas al tema, tomando en cuenta nuestras variables de estudio. En vista de ello, entre las investigaciones llevadas a cabo previamente a nivel internacional, se pueden mencionar:

Lebrón (2020) llevó a cabo una investigación en España con la finalidad de comprobar en Europa, el uso de las aguas residuales que se hayan sometido a un proceso de purificación podrían favorecer los procesos de cultivo, debido a que estas aguas solo estaban quedando como residuos y comenzaron a generar incomodidades para la población quienes no contaban con los recursos para dirigir el agua hacia otras zonas, razón por la cual fueron tratadas y posteriormente utilizadas en sembradíos para conocer si realmente esto tenía un efecto positivo en el crecimiento de las cosechas en países como Israel, Chipre, España, donde se pudo conocer que el uso de estas aguas tratadas fueron beneficiosas para el riego de los cultivos especialmente en estaciones de verano, donde dichos cultivos lograron dar frutos lo que permitió concluir que este tipo de aguas si puede ser reutilizadas para otros fines como los cultivos, con la finalidad de que puedan ser aprovechados de forma eficiente

en actividades que requieran del uso constante del agua y en momentos donde existan condiciones climáticas donde predomine la sequía.

Schmelzle y Routier (2021) elaboraron una investigación en España con la finalidad de proponer un diseño que contribuya al tratamiento de las aguas residuales utilizando como referencia la depuración natural de aguas residuales cloacales como una forma de tratar la problemática de residuos que ocasionan los hogares, lo cual trajo consigo enfermedades a las poblaciones aledañas, debido a la cercanía con estas aguas estancadas, las cuales además contenían residuos sólidos contaminantes, por lo tanto con la finalidad de reducir el impacto que esto genera al ambiente, se propuso utilizar una cámara séptica con la finalidad de retirar en primer lugar los residuos, seguidamente se utilizó la fitorregulación utilizando la depuración subterránea y luego esta pasó por un proceso de pre tratamiento final utilizando técnicas químicas y fitoregulatoras, donde se utilizó en todo momento el monitoreo y seguimiento de todo el proceso, las cuales alcanzaron porcentajes de remoción de DQO (95%) y DBO5 (84%) que comprobaron el nivel de eficacia en la erradicación de los elementos que forman parte de la contaminación.

Apezteguía y Recalde (2023) elaboraron un estudio en Paraguay con la finalidad de conocer cómo es el manejo de las aguas residuales a nivel urbano, donde se aplicaron observaciones, cuestionarios aplicados a 200 habitantes de la localidad San Estanislao sustentadas con revisiones bibliográficas con la finalidad de conocer la situación en la que se encuentra la comunidad, lo que permitió comprender que solo el 1% de los habitantes reconoció la dirección de los sistemas de drenajes, originados desde la estructura del hogar hasta el desemboque en lugares específicos para ello, además los habitantes desconocieron las normativas legales con respecto al tratamiento de las aguas, mientras que el 95% de ellos

manifestó estar insatisfecho con el sistema disponible, razón por la cual se concluyó que los habitantes consideraron importante realizar modificaciones en estos sistemas sin que esto repercuta negativamente en el ambiente y que se conforme como una red que abarque todo el distrito.

Barrera et al. (2020) elaboraron una investigación en México con la finalidad de evaluar la remoción de plomo utilizando el lirio acuático como biorremediador. Como metodología utilizaron un estudio experimental, tomando como muestra 200ML de agua residual procedente de la laguna y otra procedente agua potable para establecer una comparativa entre ambas que permitió demostrar la capacidad de bioacumulación del lirio acuático que fue aislado de la presa de Valsequillo, durante un periodo de 15 días, donde se logró bioacumular 91.84% del valor inicial, lo que sugiere que este sistema podría ser más eficiente en caso de que la adaptación se realice con agua de lago no contaminada, siendo esta última una forma óptima de ocasionar la supervivencia del elemento metálico.

Pedroza et al. (2021) elaboraron una investigación en Colombia con la finalidad de proponer una alternativa para sanear las aguas residuales desde el inicio, para ello utilizaron la fitorremediación, con la finalidad de evaluar su efectividad, por lo tanto se aplicó una metodología experimental, de alcance descriptivo y explicativo, donde se procedió con el tratamiento de las aguas residuales que contaron con una superficie que sirvió como aislante para evitar el contacto del agua con el suelo, iniciando con el conocimiento de las propiedades físicas y químicas de la planta utilizada la cual correspondió con la especie *Eichhornia crassipes*, una vez conocido esto se procedió con la implementación de pruebas para medir la capacidad de asimilación de metales, conociendo su nivel de conductividad y pH. Los resultados arrojaron que la planta estudiada tuvo un 88,3% de eficacia en la

absorción de metales mientras que la demanda bioquímica de oxígeno estuvo ubicada en 71,73%, lo cual permitió concluir que esta especie es efectiva para el tratamiento de las aguas residuales que no hayan sufrido algún tipo de tratamiento, lo que significa que la fitorremediación es un proceso que puede ser aprovechado para este tipo de situaciones.

De igual forma, se mencionan las investigaciones realizadas en el contexto nacional, entre las cuales destacaron:

Chenta y Vásquez (2018) elaboraron un estudio con la finalidad de conocer el impacto a nivel ambiental y social que generan las aguas residuales, donde se llevó a cabo un estudio descriptivo y alcance correlacional a una muestra formada por 300mL de agua, la cual fue analizada para conocer sus propiedades biológicas, físicas y químicas, tomando como referencia tres segmentos en el nivel de profundidad (nivel de superficie, medio y profundo), así como 50 personas habitantes de la localidad de Moyobamba a quienes se les aplicó un cuestionario con la finalidad de conocer el impacto ambiental y social que permitió conocer que a través del análisis de las aguas residuales existen niveles de contaminación 12 superiores a los límites establecidos por el estándar de calidad ambiental, mientras que en el caso de los pobladores, el 64% consideró que las practicas erradas de verter aguas residuales afectan negativamente las condiciones laborales, el 92% vio afectado el crecimiento de la población, el 90% vio afectada las condiciones de salubridad y el 84% consideró que se desfavorecen las siembras en la localidad, lo que permite concluir que en este caso existe un impacto negativo entre los lugares donde se encuentran las aguas residuales con el medio ambiente y la percepción de la sociedad.

Vásquez (2018) desarrolló una investigación para evaluar el nivel de remoción de materia orgánica que se pueda lograr en las aguas residuales, utilizando humedales

artificiales utilizando plantas macrófitas de la especie (*Eichhornia crassipes*). Por lo tanto, las muestras de aguas residuales pasaron por un proceso de análisis de parámetros físicos y químicos como DBO5, DQO y SST los cuales fueron medidos antes y después del tratamiento, para lograrlo se acondicionaron humedales artificiales empleando 20 litros de agua aplicando para la limpieza plantas de Jacinto de agua. El estudio tuvo 15 días de duración donde se evaluó el cumplimiento de los LMP según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM lo que permitió conocer que estos cumplen con los requerimientos emanados por el LMP para medir la contaminación del agua.

Perales y Rodríguez (2018) elaboró una investigación con el propósito de conocer la importancia de la fitorremediación para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de una zona rural. Por lo tanto, se utilizó una metodología experimental donde se propuso aplicar un sistema de fitorremediación con la finalidad de revertir las aguas residuales, por ello se seleccionó una muestra conformada por la plantación de *Eichhornia crassipes* tomando como referencia los periodos entre 40 y 86 días. Los resultados presentaron el establecimiento de valores siguientes: DBO5 al 94.71%, DQO al 92.83%, aceites y grasas 94.72%. El pH neutro, lo cual consideró valores válidos para la su supervivencia en medios acuáticos. Esto permitió concluir que la especie *Eichhornia crassipes*, demostró ser una alternativa efectiva para este tratamiento, donde se recomendó continuar evaluando el comportamiento de las especies de plantas en diversos ecosistemas como el agua, aire y suelo con la finalidad de determinar la capacidad de tolerancia en el manejo de las aguas que tengan algún grado de contaminación, así como los residuos sólidos domésticos y peligrosos.

Paredes y Ramírez (2019) desarrollaron una investigación con la finalidad de comprender el modo de actuar de las especies macrófitas conocidas como *Eichhornia*

*crassipes* y *Pistia stratiotes* actúan para remover los agentes químicos y orgánicos que causan la contaminación. Por tal motivo, realizaron una investigación cuasi experimental donde la muestra correspondió a 300mL necesarios para medir los microorganismos y 300mL para medir los elementos químicos, donde se realizaron 8 tomas de agua para cada elemento distribuidas en 72 horas. Los resultados arrojaron que la especie *Pistia stratiotes* demostró ser más efectiva para absorber la cantidad de químicos (81.008%), mientras que *Eichhornia crassipes* mostró mayor efectividad para remover los microorganismos (99.999%), lo que permitió concluir que ambas especies resultaron ser efectivas para la eliminación de agentes contaminantes que se encuentran en las aguas residuales domésticas.

Asimismo, tomando como referencia la localidad de Cajamarca se pudo conocer lo siguiente:

Núñez (2019) llevó a cabo una investigación con la finalidad de comprobar la eficiencia del uso de especies que efectúen la fitorremediación para tratar las aguas residuales de la región, con la finalidad de llevar a la práctica el diseño, para esto se realizó un diagnóstico preliminar para conocer donde será colocado el sistema y posteriormente esta fue aplicada de forma práctica con el uso de los materiales necesarios para el acondicionamiento del lugar, contando con una humedad superficial de 1.55 m<sup>3</sup>, donde se insertaron las especies *Eichhornia crassipes* y *Zantedeschia aethiopica* que fueron observadas durante un periodo de tiempo de 3 meses, las cuales arrojaron entre las medidas DBO5 (95%), nivel de turbidez (96%), Conductividad (59%), DQO 92%, lo que significó que los valores conductividad y turbidez si cumplieron con los criterios de LPM, mientras que los valores DBO y DQO no lo hicieron, determinando que ambas especies alcanzaron un 70% en la eliminación de residuos contaminantes, a través del uso de estas especies.

Todos estos estudios demostraron que la aplicación de alternativas como la fitorregulación podrían ayudar a reducir la presencia de agentes contaminantes en el ambiente tal y como lo señala Nazir et al. (2020) con la finalidad de hacer uso de seres vivos como microorganismos y plantas con la finalidad de que estos actúen como receptores de los diversos agentes contaminantes de origen físico, químico o biológicos que se encuentran activos en las aguas residuales de los hogares.

Por lo tanto, la presente investigación, pertenece a la línea de investigación Desarrollo sostenible y Gestión Empresarial, teniendo como sub línea Remediación ambiental. La variable dependiente fue la especie *Eichhornia crassipes* definida por Aguirre et al. (2020) como una planta acuática flotante de aguas tranquilas capaz de sobrevivir en diversos hábitats, razón por la cual es considerada como una planta capaz de invadir diversos espacios. Por consiguiente, debido a sus características depuradoras y facilidad de multiplicación de dicha especie la cual ha sido utilizada como fitorremediador.

Asimismo, como variable independiente se consideró las aguas residuales domésticas que, según Rodríguez et al., (2019) se refieren las aguas cuyas características originales han sufrido una modificación causada por las actividades humanas y debido a su deficiencia de calidad requieren ser tratadas antes de ser reutilizadas o vertidas a otros sistemas naturales de agua o arrojadas al sistema de drenaje que conforman el alcantarillado. Además, Carrillo et al. (2020) menciona que en ellas persiste la presencia de contaminantes en una concentración superior a los niveles normal, lo cual genera efectos adversos que transforman el agua como nociva para quien se encuentre en contacto con ella.

Al mismo tiempo, se consideran las bases teóricas orientadas al desarrollo de las variables como parte conceptual de la investigación con la finalidad de facilitar la comprensión de la problemática:

El agua es un compuesto químico fundamental para la vida y los humanos en general, ya que se distribuye en todo el planeta, llegando a cubrir aproximadamente el 72% de la superficie terrestre, lo cual se complementa con los requerimientos de la materia viva, ya que su estructura concentra altos niveles de agua entre su composición. Al respecto Rodríguez et al., (2020) señalan que posee características singulares entre las cuales se menciona el carecimiento de olor y sabor, así como la posibilidad de presentarse en los tres estados de agregación: Sólido, líquido y gaseoso, en estado natural requieren para realizar sus funciones.

La fitorremediación es considerada como el conjunto de métodos utilizados para degradar, asimilar, metabolizar o destoxificar metales pesados, compuestos orgánicos, radioactivos y petroleros derivados, recurriendo al uso de plantas que demuestren la capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener degradar o transformar dichas sustancias a formas menos tóxicas. Para Alarcón et al. (2020) las propiedades de la fitorremediación se generan a partir del reconocimiento de aquellas especies que son capaces de hiperacumular diversos metales. Razón por la cual, en la naturaleza existen plantas que tienen estas características, sin embargo, existen otras que pueden ser modificadas genéticamente para que contengan estos atributos.

El cuidado de la naturaleza contribuye con el desarrollo sustentable de acuerdo con lo señalado por Guzmán y Madroñero (2018) lo define como aquellos pasos que ayudan a mejorar la calidad de vida sin propiciar un desequilibrio del ambiente para lograrlo. Al

respecto la ONU (citado por Guzmán y Madroñero, 2018) explica que, durante el proceso, es fundamental promover la conservación, protección y preservación de las especies con la finalidad de que extender la vida en el presente y el futuro, sin poner por encima los intereses personales, sociales, culturales o políticos que persiga un grupo de humanos, los cuales puedan ir en detrimento del ambiente.

De igual forma, los elementos que caracterizan las aguas residuales son los encargados de mantener ciertos aspectos que pueden ayudar a identificar y a medir las propiedades del agua. Al respecto Carrillo et al. (2019) considera las siguientes:

- Físicas: Estas se relacionan con el olor, el color, la aparición de elementos sólidos, la temperatura, la presencia de partículas, el nivel de turbiedad, la densidad, el pH.
- Químicas: En este caso, se puede encontrar en el agua, la presencia de elementos inorgánicos (nitratos, sulfatos, calcio, cloruro, hierro, zinc y otros). Además, se pueden encontrar elementos orgánicos como carbohidratos (mediante la presencia de azúcar), proteínas (con la presencia de ácidos) y lípidos (con la presencia de aceites y grasas)
- Biológicas: En el agua se puede encontrar la presencia de parásitos, virus, bacterias, de diversas especies, siendo las más comunes la *Escherichia Coli*, *Sphaerotillus*, *Nitrobacter* y otros.

Además, en lo que se refiere a la medición del grado de contaminación, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), se basa en la cantidad de oxígeno que consume la materia orgánica cuando entre en estado de degradación, lo cual incide en el nivel de contaminación, dicho concepto fue propuesto inicialmente por Ekama y cols en 1986 (citado por Menéndez,

2018). Asimismo, Menéndez (2018) señala que la Demanda Química de Oxígeno (DQO) permite medir la cantidad de metales que se encuentran presentes en el agua, los cuales generan una reacción que permite oxidarla y presentar altas concentraciones de metales lo que confirma su grado de contaminación.

Asimismo, para tratar las aguas residuales Collazos (citado por Carrillo, et al., 2019) mencionan que existen varios tratamientos utilizados para la purificación de las aguas residuales entre las cuales se encuentran:

**Tratamientos primarios:** Consiste en la eliminación de los elementos y partículas sólidas que puedan ser observadas a simple vista, entre las cuales se incluyen la sedimentación y la flotación, las cuales aprovechan la densidad que ocasiona una suspensión de las partículas para proceder a retirarlos del agua, desde elementos sólidos hasta aceites y grasas.

**Tratamientos secundarios:** En este caso se recurre al uso de microorganismos activos, los cuales se encuentran adheridos a una masa con la finalidad de lograr succionar estas partículas para su posterior retiro, razón por la cual se hace uso de la biomasa en forma de lodo o adherida.

**Tratamientos terciarios:** Utiliza los materiales provenientes de procesos biológicos relacionados con los efluentes, con la finalidad de evitar la contaminación por mezcla de aguas.

**Tratamientos alternativos:** Consisten en todas aquellas técnicas que se utilizan para intentar recuperar las aguas residuales entre las cuales se pueden encontrar la fitorremediación, la biorremediación y el uso de microorganismos capaces de asimilar los

niveles de contaminación con la finalidad de lograr mejorar el proceso de purificación de las aguas.

Todas estas conceptualizaciones mencionadas anteriormente permitieron el surgimiento de la siguiente interrogante:

¿Cuál es el nivel de eficiencia Fitorremediadora con *Eichhornia crassipes* en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas teniendo como base los resultados de trabajos de investigación?.

Por lo tanto, en vista de la situación que se observa en la localidad de Cajamarca, específicamente en el poblado de Rosario de Polloc, con respecto a los niveles de contaminación procedentes de las aguas residuales, la presente investigación tiene como objetivo: Describir el nivel de eficiencia Fitorremediadora con *Eichhornia crassipes* en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas teniendo como bases resultados de trabajos de investigación y como objetivos específicos se encuentran: Describir las características morfológicas de *Eichhornia crassipes* "Jacinto de agua", analizar los procesos para fitorremediación de *Eichhornia crassipes*, proponer una alternativa eco amigable para tratar aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* en la ciudad de Cajamarca.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Para el desarrollo de la investigación se tomó como referencia el enfoque de estudio mixto debido a que en la investigación se sustentará en el aporte cuantitativo utilizando técnicas e instrumentos para la recolección de datos que permitan realizar descripciones análisis y proposiciones haciendo uso del enfoque cualitativo.

Se empleó un tipo de investigación descriptiva con la finalidad de conocer la manera en la que actúan las especies destinadas para la fitorremediación en las aguas residuales domésticas de manera que se pueda descubrir las propiedades purificantes que presenta la especie *Eichhornia crassipes*.

Además, la presente investigación utilizó un diseño no experimental porque permite determinar el comportamiento entre las variables, sin realizar manipulaciones que modifiquen sus propiedades, puesto que solo se observaron cada una de ellas de forma independiente con la finalidad conocer su grado de interacción.

En cuanto al método utilizado fue el retrospectivo debido a que se observó una recopilación de información proveniente de explicaciones que permitieron comprender las incidencias o fenómenos que se presentan. Para el estudio se recopilaron datos con la finalidad de conocer y comparar la eficiencia de *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) de acuerdo a las investigaciones realizadas por diversos autores.

De igual forma, la dimensión temporal manejada en el estudio fue la transversal debido a que la observación se realizó en un único periodo de tiempo, con la finalidad de realizar una descripción de las características de los microorganismos.

La población del presente estudio se basó principalmente en el análisis de cierta cantidad de estudios científicos que abordaron investigaciones llevadas a cabo sobre el uso

de la fitorremediación utilizando la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) para la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas, las cuales abarcaron un periodo comprendido entre 2018 y 2023.

Del mismo modo, en lo que se refiere a la muestra que fue seleccionada se tomaron en consideración la técnica de muestreo no probabilístico discrecional, las cuales permitieron elegir un total de 18 publicaciones que aborden las palabras clave "*Eichhornia crassipes*" y "aguas residuales domiciliarias" quedando la selección de las publicaciones a juicio de los investigadores. Además, se tomó como referencia los artículos publicados en bases de datos, como: Alicia, Redyalic, Dialnet, Scielo, revistas especializadas, repositorios que contienen investigaciones académicas (UPN, Universidad César Vallejo, Universidad Privada Antenor Orrego, Universidad de Chile, Universidad Nacional de Cajamarca Universidad Técnica del Norte, Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Universidad Peruana Unión) y artículos científicos sustentados a nivel institucional, utilizando investigaciones en contexto nacional es internacional.

Además, entre otros criterios de inclusión abarcaron los parámetros orientados a conocer la eficiencia en lo que se refiere a la remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO), para conocer la cantidad de oxígeno que requiere la materia orgánica capaz de ser degradar durante un tratamiento biológico de acuerdo a lo señalado por Ekama y cols en 1986 (citado por Menéndez, 2018), así como la Demanda Química de Oxígeno (DQO), que consiste en la evaluación del nivel de oxidación que contentan las aguas residuales, según lo expresado por Menéndez (2018).

Seguidamente entre los criterios de exclusión se agregaron investigaciones fuera de la temática abordada y aquellas que tuvieran un periodo de publicación previo a los 13 años.

Para la presente investigación se tomó en consideración como técnica el análisis documental con la finalidad de recolectar toda la información correspondiente al uso de la fitorremediación para la remoción de DQO y BDO5 los cuales son considerados como agentes contaminantes que se encuentran presentes en las aguas residuales, con la finalidad de establecer un diagnóstico que permita establecer una relación con el estado general de las aguas residuales domésticas en el poblado de Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca, con la finalidad de realizar propuestas que sirvan como refuerzo a los sistemas implementados, de manera que logren mejorar la calidad de vida de los pobladores.

Adicionalmente respecto a los instrumentos, se tomó en consideración una ficha de resumen con la finalidad de unificar todos los criterios importantes con relación a la temática abordada, donde serán recolectados todos los datos de utilidad que fueron necesarios para comprender el nivel de efectividad de la remoción DQO y BDO5 de las aguas residuales al utilizar la especie *Eichornia crassipes*. Además, se elaboró una matriz, con la finalidad de organizar toda la información consultada, con la finalidad de seleccionar y descartar aquellas investigaciones que establezcan los parámetros y porcentajes de remoción de DQO y DBO5, necesarios para conocer la efectividad para el tratamiento fitorremediador, los cuales contaron con la validez de los expertos en la carrera de Ingeniería Ambiental de la universidad privada del Norte.

Para el establecimiento de los resultados en primer lugar se realizó la revisión de la documentación respectiva con la finalidad de conocer las propiedades y características que presenta la especie *Eichornia crassipes* donde serán conocidas sus características morfológicas, así como el porcentaje de efectividad para la remoción de DBO5 y DQO de las aguas residuales, cuya información se será agregada a la matriz generada utilizando Excel con la finalidad de que la información sea organiza en forma de tablas y figuras que ayuden

a mejorar la comprensión de las variables que formarán parte del estudio para lograr el establecimiento de los resultados.

Esta información sirvió como sustento para conocer la realidad que acontece el poblado de Rosario de Polloc respecto a las aguas residuales domésticas, a través de la comprensión de la realidad del entorno y la calidad de las aguas residuales de manera que se logre determinar la presencia de los elementos contaminantes y poder realizar la propuesta correspondiente con la aplicación de la especie fitorremediadora *Eichhornia Crassipes*, donde finalmente fue evaluado el beneficio presentado para la purificación de las aguas.

En este caso particular, los criterios éticos contemplados para el desarrollo de la investigación provinieron de fuentes confiables que repositorios y sitios web con disponibilidad de acceso libre, con la finalidad de tomar los datos que sirvan como sustento a la investigación. De igual forma, para los criterios que evaluaron el nivel de remoción de DBO5 y DQO se considerará el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM que expresa los Límites Máximos Permisibles (LPM) para los efluentes de PTAR. Asimismo, respecto a la propuesta de mejoramiento de las aguas residuales estas fueron basados en la Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales".

### CAPÍTULO III: RESULTADOS

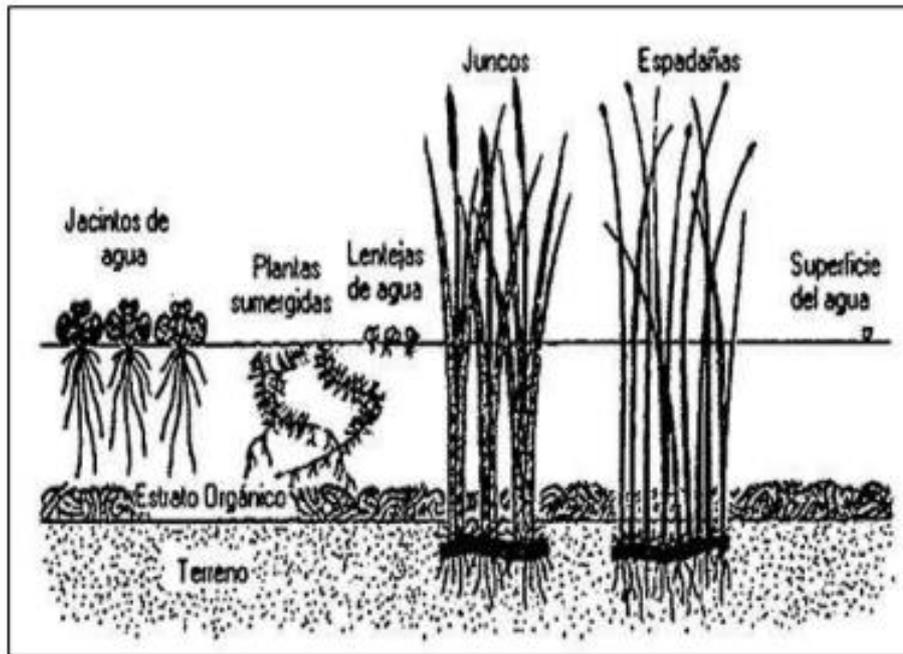
En este capítulo se presentan los resultados provenientes de las investigaciones realizadas para conocer las variables aguas residuales domésticas y la especie *Eichhornia crassipes* donde se conocieron sus características morfológicas, características de resistencia según la humedad, temperatura, así como su capacidad para remover las concentraciones de DQO y DBO5 de las aguas, aportando la posibilidad de mejorar el sistema, lo cual puede influir en el proceso de purificación y reutilización para otras actividades que requieran del uso de este recurso hídrico.

Por consiguiente, las aguas residuales pueden ser sometidas a un proceso de purificación haciendo uso de especies de plantas capaces de absorber todos aquellos elementos químicos que se generan debido a la descomposición de elementos sólidos y la proliferación de microorganismos que convierten estas aguas en sustancias tóxicas para el ambiente.

Debido a ello, se tomó en consideración la especie *Eichhornia crassipes* con la finalidad de conocer capacidad para reducir la presencia de estos elementos negativos, pero para conocerlo es importante conocer que estas pertenecen a la clasificación de plantas o macrófitas o acuáticas, las cuales de acuerdo a lo mencionado por Paredes y Ramírez (2019) son especies que habitan en superficies acuosas, entre las cuales se pueden encontrar lagos, ríos, estanques y otras zonas que presentan gran humedad, cuyo procesos relacionado con la fotosíntesis se realiza en este medio como lo señala la figura 1:

## Figura 1

### *Plantas macrófitas más comunes*



Nota. Adaptado de *Principales plantas acuáticas*, por García, 2021.

Dentro de estas plantas macrófitas presentada, se tomará en consideración el estudio de la especie también denominada como "jacinto de agua", perteneciente a la especie del reino *plantae Eichhornia crassipes* que de acuerdo a lo mencionado por Ayala et al. (2018), conforman la clasificación de las plantas acuáticas o también conocidas como plantas macrófitas, donde se observa su derivación, tal y como lo señala la tabla 1:

**Tabla 1**

*Taxonomía de la Eichhornia crassipes*

<b>CARACTERÍSTICAS TAXONÓMICAS</b>
REINO <i>Plantae</i>
PHYLUM <i>Magnoliophyta</i>
CLASE <i>Liliopsida</i>
ORDEN <i>Pontederiales</i>
FAMILIA <i>Pontederiaceae</i>
GÉNERO <i>Eichhornia</i>
ESPÉCIE <i>Cassipes</i>
<b>NOMBRE CIENTÍFICO</b>
<i>Eichhornia crassipes</i>
<b>NOMBRE COMÚN</b>
Lirio de agua, Jacinto de agua, lirio acuático
<b>CATEGORÍA</b>
Invasora

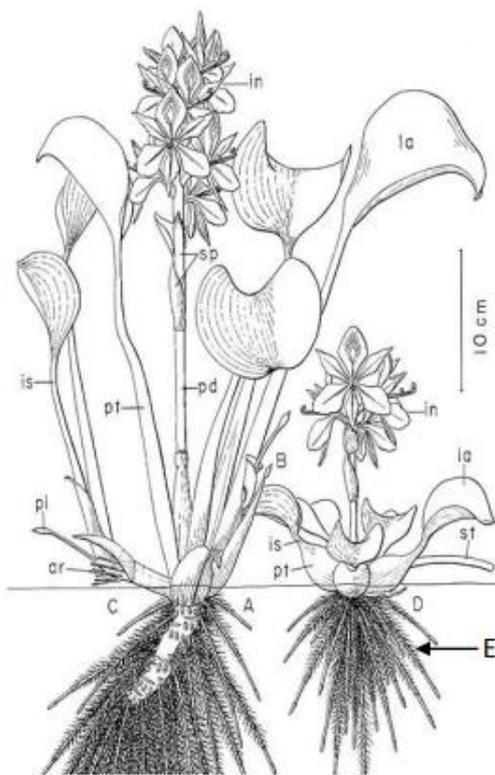
*Nota.* Adaptado de *Evaluación de dos especies macrófitas Pistia stratiotes y Eichhornia crassipes en la remoción de contaminantes microbiológicos y químicos en aguas residuales domésticas*, por Paredes y Ramírez, 2021.

Además, entre las características morfológicas que presenta la especie *Eichhornia crassipes* se pudo conocer que esta es una planta que crece generalmente hacia las orillas y el peciolo se exterioriza y desarrolla en caso de que exista alta densidad por parte de la planta, siendo estos los encargados de aportar las características de flotabilidad. Además, tienden a

crecer de forma cercana debido a la fuerza del viento que las lleva a protegerse del exterior. Sus raíces se encuentran sumergidas en el agua, mientras que las hojas e inflorescencias se encuentran en la parte superior de la planta y estas se encuentran expuestas a las condiciones climáticas del medio, tal y como se describe en la figura 2:

## Figura 2

### Características morfológicas de la especie *Eichhornia crassipes*



A) Pecíolo atenuado en forma de rosetón producido bajo condiciones de alta densidad poblacional.

B) Brote axilar en expansión.

C) Un "ramet" en desarrollo.

D) Pecíolo bulboso en forma de rosetón producido bajo condiciones de baja densidad poblacional.

E) Raíz.

#### Abreviaturas:

ar: Raíces adventicias.

in: Inflorescencia.

is: Istmo de las hojas.

la: Hojas.

pl: Hojas primarias.

pd: Pedúnculo de la espiga floral.

pt: Pecíolo de la hoja.

sp: Espatas.

St: Estolones.

Nota. Adaptado de *Morfología del lirio acuático*, por Juárez, 2011.

Además, entre sus características físicas se puede conocer que *Eichhornia crassipes* es capaz de sobrevivir en ambientes acuáticos siendo capaces de extenderse con facilidad lo que impide el paso de la luz hacia las profundidades del lugar, lo que impide el crecimiento

de algas y otras especies de animales marinos tal y como lo señala García (2021), asimismo la tabla 2 destaca las temperaturas óptimas para el crecimiento de la planta:

**Tabla 2**

*Crecimiento de la que Eichhornia crassipes*

Atributos	Min	Max
Temperatura óptima de crecimiento	20°C	30°C
Temperatura no óptima de crecimiento	8°C	15°C
Altura	10cm	1m
Tiempo de crecimiento de la biomasa	6 días	18 días

Nota. Adaptado de *Morfología de Eichhornia crassipes*, por García, 2021.

Por consiguiente, debido a su capacidad de resistencia en medios acuáticos, esta planta *Eichhornia crassipes* se clasifica como una planta invasora, son capaces de habitar en lugares como lagunas, ríos, humedales y otros que se destacan en la tabla 3:

**Tabla 3**

*Ecosistemas acuáticos de supervivencia para Eichhornia crassipes*

Tipos	Ecosistemas acuáticos	Ejemplos
Interiores	Lóticos	Río, arroyo y peten
	Lenticos	Lagos, lagunas, humedales
	Humedales	Marisma, estero, estuario
Costeros	Sistemas de aguas profundas	Laguna costera, bahía
Profundidad		Arrecifes

Nota. Adaptado de *Clasificación de ecosistemas acuáticos*, por Reyes, 2020.

Sin embargo, realizando una exploración por estos ecosistemas acuáticos se ha encontrado la existencia de diversos metales entre sus componentes, siendo los de mayor presencia el cobre, plomo, zinc, hierro, mercurio los cuales son capaces de modificar su composición química, ocasionando una transformación para que estas se conviertan en toxinas que impidan la supervivencia de una gran cantidad de seres vivos, razón por la cual la tabla 4 demuestra que entre los metales detectados en las aguas se encontraron:

**Tabla 4**

*Presencia de metales en aguas residuales*

<b>Fuente</b>	<b>Metales</b>
Aguas y lodos residuales	Cd, Pb, As, Cr, Zn, Fe, Co, B, Ba, Be, Br, Ce, Cu, Mn, Ge, Hg, Mo, Ni, Rb, Sn, Sr, V y Zr
Rellenos sanitarios	Cu, Zn, Pb y Hg
Agua de riego	Cd, Pb y Se
Con fertilizantes	Cd, Pb, As, B, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Sc, Se, Sn, Sr, Te, U, V, Zn y Zr
Con plaguicidas	Pb, As, Hg, Br, Cu, V y Zn
Con abonos	As, Se, Ba, Br, Co, Cr, Cu, F, Ge, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn y Zr
Industria minera y de fundición	Pb, Cd, As, Hg, Sb, Se, Zn, In, Cr, entre otros.

*Nota.* Adaptado de *Metales pesados aportados a ecosistemas acuáticos provenientes de fuentes antropogénicas*, por Reyes, 2020.

Debido a las altas concentraciones de metales en el agua, se ha propuesto realizar una combinación entre las plantas que tienen características invasoras, con la intención de remover los restos de metales que se generan en las aguas residuales, cuya técnica se utiliza la fitorremediación, que de acuerdo a lo señalado por Aguirre et al. (2022) permite aprovechar la capacidad de asimilar, metabolizar y estabilizar los elementos negativos que se alojan en una superficie, con la finalidad de revitalizar el medio, por lo tanto el proceso de remediación comienza desactivando las sustancias tóxicas que contienen altos índices de oxidación, así como también la presencia de oxígeno que requieren los microorganismos para su descomposición, las cuales pueden llegar a ser eliminadas a través de la solidificación, absorción o precipitación, por lo tanto cada etapa que compone la fitorremediación, es capaz de atender contaminantes específicos tales como los que se mencionan en la tabla 5:

**Tabla 5**

*Contaminantes eliminados utilizando Eichhornia crassipes*

TÉCNICA	CONTAMINANTE	PARTE DE LA PLANTA
Fitroextracción	Fósforo, fenoles, nitratos, mercurio, cobalto, plomo, selenio, zinc	Absorbe los contaminantes a través de la raíz y los acumula en tallo y hojas
Fitofiltración	Nitrógeno, fósforo, cobalto, plomo, níquel, isótopos radioactivos	Asimila y elimina los contaminantes a través de sus tejidos y filtra los

---

		sólidos por medio del sistema radicular
--	--	---

---

Fitotransformación	Halógenos orgánicos, compuestos clorados, pesticidas con fósforo, nitrilos, fenoles	Metaboliza contaminantes a través de sus tejidos y acumula en las hojas.
--------------------	---	--

---

Fitovolatilización	Tetraclorometano, mercurio, selenio, tolueno	Absorbe los contaminantes a través de la raíz y libera gases con menor grado de toxicidad empleando sus hojas por medio de la transpiración
--------------------	--	---

---

Fitorestauración	Controla el pH, Coliformes totales, hierro, cobre, fenoles	DQO, SST, a través de la raíz y evita su movilidad
------------------	--	--

---

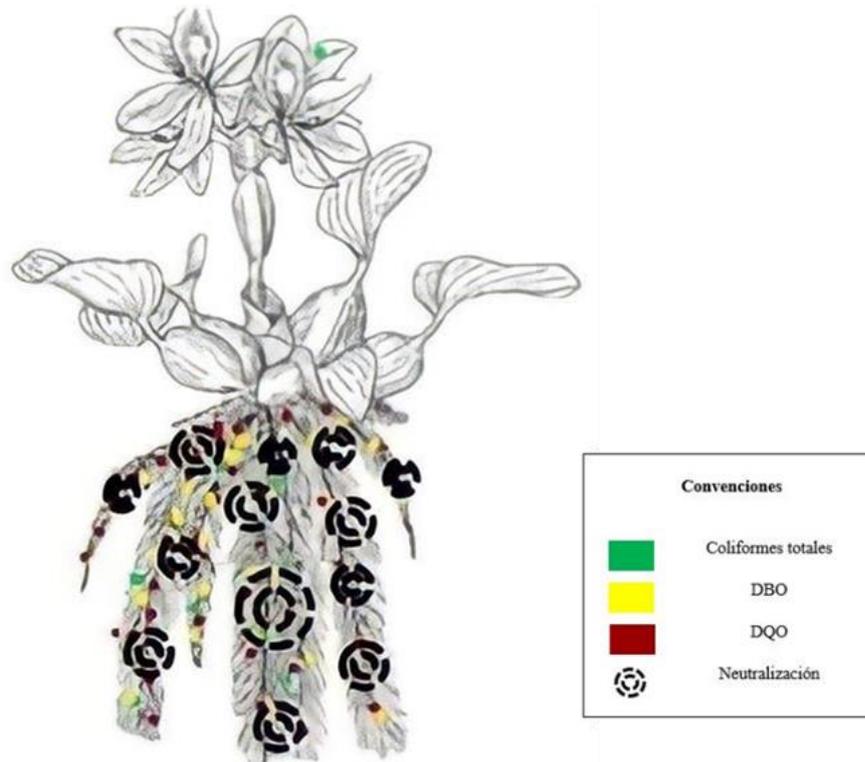
*Nota.* Adaptado de *Reducción de contaminantes según la técnica utilizada* por Jiménez, 2021.

En vista de ello, es importante conocer las características de la planta, para comprender cuál de sus partes es capaz de absorber los contaminantes presentes en el medio a través del contacto de este con sus raíces entre los cuales se encuentra la rizodermis y córtex que contienen en ella gran cantidad de bacterias que forman colonias y éstas permiten la acumulación de dichos contaminantes llegando a ubicarse en la corteza, el tallo (núcleo)

y en las hojas, así como también en tejidos como el epidérmico, xilema y floema tal y como lo demuestra la figura 3:

### Figura 3

*Proceso de Fitorremediación Eichhornia crassipes en aguas residuales*



*Nota.* Adaptado de *Eichhornia crassipes* y su uso en técnicas de fitorremediación en cuerpos de agua, por Jiménez, 2021.

Por consiguiente, la fitorremediación es una técnica que aprovecha las propiedades de esta planta para lograr mejorar su situación y contribuir a reducir los índices de contaminación existentes, debido a ello en cada una de las etapas por las que atraviesa el proceso, se pueden observar cambios en los niveles de concentración de DBO, Coliformes, nutrientes y sólidos (SST) que presentan las aguas residuales al momento de entrar en contacto con *la Eichhornia crassipes* tal y como lo demuestra la tabla 6:

**Tabla 6**
*Eficiencias de reducción según la etapa de fitorremediación*

Nivel de tratamiento	Mecanismo predominante	Contaminantes removidos	Eficiencia de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: <10% DBO: <10% Coliformes: 0% Nutrientes: 0%
Primario	Físico y químico	Sólidos suspendidos Materia orgánica suspendida	SS: 70-85% DBO: 45-55% Coliformes: 60-90% Nutrientes: 50% N 90% P
Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina o soluble Nutrientes parciales Patógenos parciales	SS: 60-99% DBO: 60-99% Coliformes: 60-99% Nutrientes: 10-50%
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica suspendida fina o soluble	SS: >99% DBO: >99% Coliformes: +99% Nutrientes: +90%

Nota. Adaptado de *Niveles de tratamiento en aguas residuales*, por García, 2021.

Además, una forma de evaluar las propiedades que presenta la fitorremediación es posible utilizar herramientas artificiales como los humedales los cuales presentan la posibilidad de evaluar los residuos que se encuentran en las aguas residuales con la finalidad de observar sus características, grado de contaminación, presencia de nutrientes, patógenos, oxígeno, elementos sólidos y otros aspectos que aumenten los niveles de toxicidad. Por consiguiente, los cambios que se apliquen con la finalidad de reducir la cantidad de los residuos podrán ser observados de mejor forma en ambientes controlados como los humedales artificiales, por eso es que la implementación de la *Eichhornia crassipes* como fitoremediador para remover DQO5 de las aguas residuales es ampliamente utilizado por los investigadores, sin embargo estos sistemas poseen ciertas ventajas y desventajas como lo presenta la tabla 7:

**Tabla 7**

*Ventajas y desventajas que presentan los humedales artificiales*

<b>VENTAJAS</b> (Chang y Huamán, 2019)	<b>DESVANTAJAS</b> (Carhuaricra, 2019)
No requiere de gran inversión de tiempo ni material para su elaboración	Requiere de gran extensión de superficies (entre 20 y 80 veces más grande)
Mantiene un gasto energético Mínimo (Max 0,19 kWh/m <sup>3</sup> )	El nivel de eficiencia puede perdurar unos meses
No mantiene contacto con los residuos	Su diseño se realiza con base a las características particulares del proyecto

No interfiere con el medioambiente

La acumulación de los elementos

contaminantes hace que se vea rebosada su capacidad con cierta facilidad

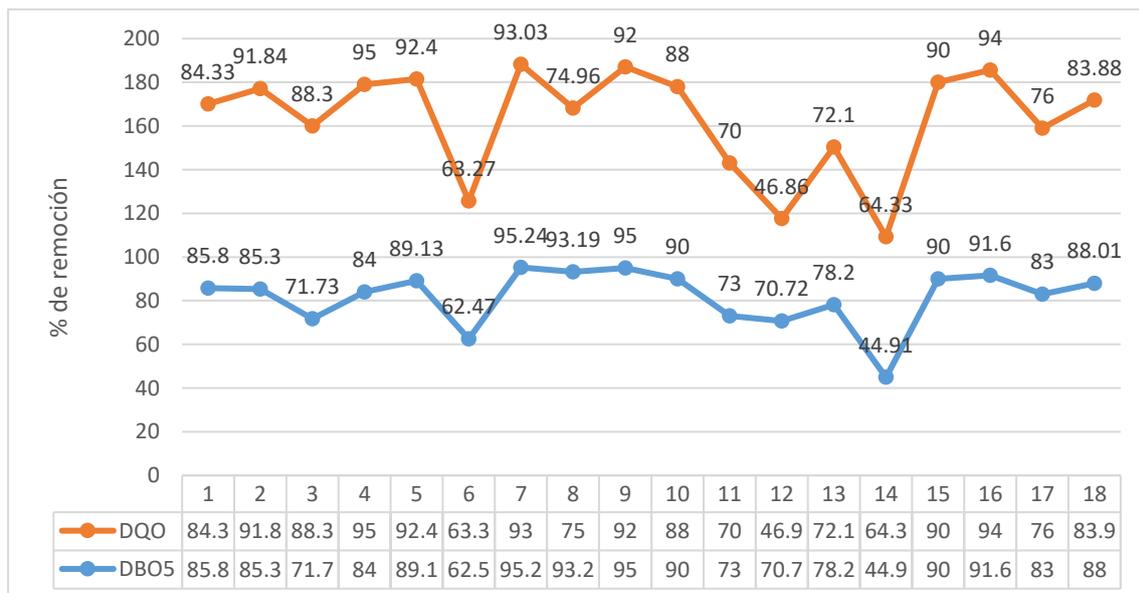
Logra recuperar y construir zonas húmedas

*Nota.* Adaptado de *Ventajas e inconvenientes que presentan los humedales construidos artificialmente*, por Lujan y Sánchez, 2020.

Por lo tanto, el nivel de eficiencia fitorremediadora que presenta la especie *Eichhornia Crassipes* puede ser determinada mediante la remoción de DBO5 y DQO como resultados obtenidos en estudios científicos que muestran los porcentajes de remoción, los cuales aportan valores máximos próximos a 99,99% o por el contrario se pueden obtener valoraciones muy bajas que varían entre 10% y 50%. El resultado obtenido para la remoción de DQO fue de 81,12%, mientras que la remoción de DBO5 se ubicó en 81.73 %:

**Figura 4**

*Eficiencia de la fitorremediación de *Eichhornia crassipes* en aguas residuales domésticas*

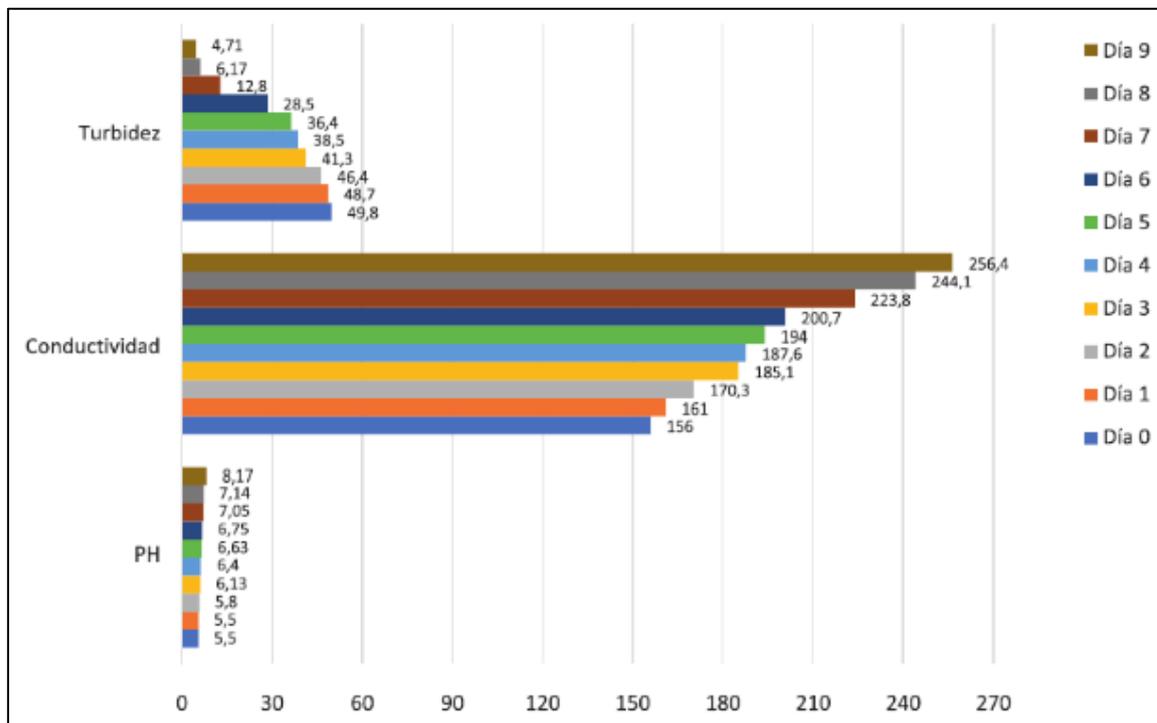


Nota. Adaptado de *Eficiencia de la especie macrófitas Eichhornia crassipes para la remoción fisicoquímica en una laguna experimental*, por Quispe et al., 2021.

Asimismo, el tiempo es otro elemento que influye en la producción de cambios a los que se ve sometida la planta debido a la influencia de la fitorremediación utilizando la *Eichhornia crassipes*, donde es posible observar una reducción de los niveles de pH (día 0: 5,5/día 9: 8,17) y turbidez (día 0: 49,8/día 9: 4,71), así como también un aumento de la conductividad (día 0: 156/día 9: 256,4) de las aguas residuales a medida que estas se ven sometidas a la acción de la planta durante el transcurso de los días, estableciendo un control sobre los niveles que deben presentar las aguas para ser consideradas entre los valores normales. Al respecto la figura 5 establece lo siguiente:

**Figura 5**

*Valoración de los parámetros según el tiempo de influencia de la fitorregulación*



Nota. Adaptado de *Parámetros fisicoquímicos de turbidez, conductividad y pH durante los días de estudio*, por Durán y Lino, 2023.

Asimismo, en lo que se refiere a la remoción de las partículas existen elementos permiten conocer el nivel de concentración que estas tendrán antes y después de que las aguas residuales se sometan al tratamiento utilizando la fitorremediación con *Eichhornia crassipes* donde se pudo conocer que alcanzó mayor porcentaje de remoción de desechos sólidos, turbidez, la demanda bioquímica de oxígeno y la remoción de la bacteria *Escherichia Coli* durante las primeras 24 horas de haber estado expuesta a la planta, tal y como lo demuestra la tabla 8:

**Tabla 8**

*Evaluación de parámetros según el tiempo inicial y final*

Parámetro	Concentración		% de Remoción	Tiempo de Retención Hidráulica (TRH)
	Inicial	Final		
DBO	135 mg/L	22,00 mg/L	83,7%	24 h
DQO	228 mg/L	82,30 mg/L	63,9%	
SST	384 mg/L	0 mg/L	100%	
ST	549 mg/L	196,54 mg/L	64,2%	
Turbidez	243 mg/L	44,22 mg/L	81 ,8%	
TN	42,6 mg/L	14,22 mg/L	66,6%	
PO2	11,6 mg/L	9,28 mg/L	20%	

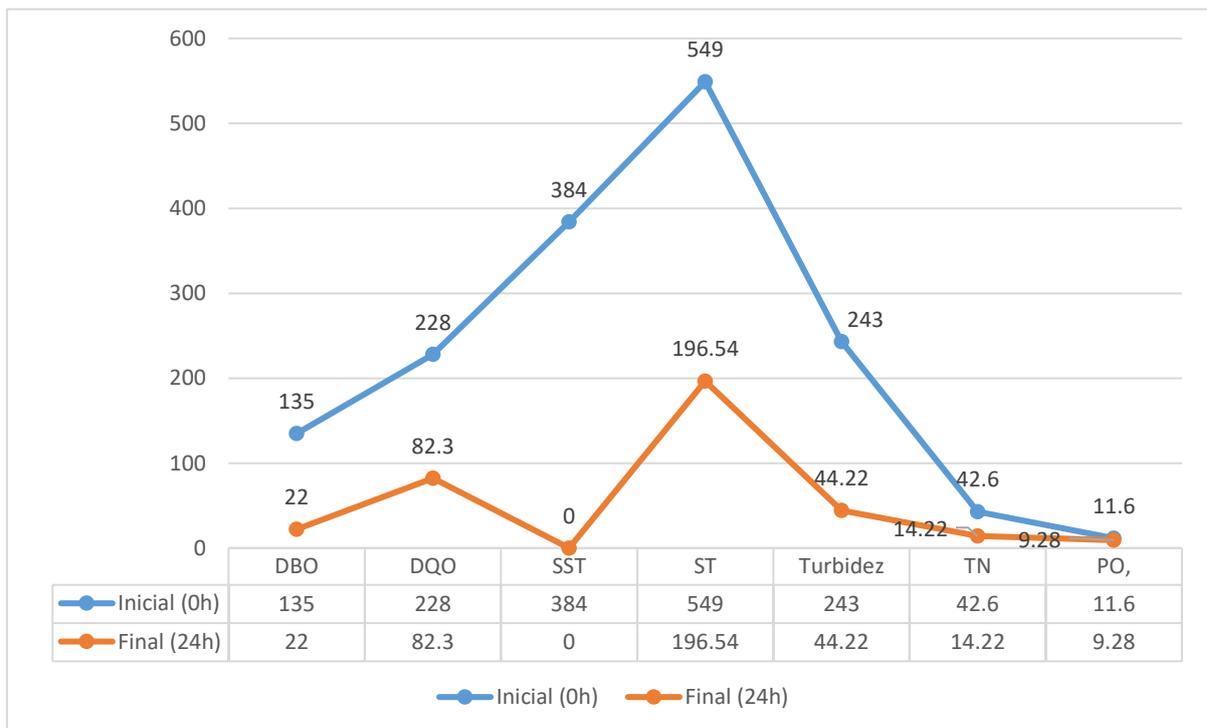
*Nota.* Adaptado de *Remoción de elementos contaminantes*, por Vanegas, 2020.

Del mismo modo, los valores pertenecientes a la tabla 8 que reflejaron los niveles de contaminación con elementos como DBO, DQO, ST, Turbidez, TN uy PO2 fueron medidos durante la etapa inicial y luego de finalizar el tratamiento fitorremediador, cuya concentración más alta la alcanzó el ST con 549 mg/L, mientras que la más baja fue PO2

con 11,6 mg/L, por consiguiente los resultados obtenidos en las siguientes 24 horas, determinaron que la concentración más alta obtenida de acuerdo a todos los parámetros medidos fue del ST con 196,54 mg/L y la más baja correspondió al SST con 0 mg/L. Dichos resultados arrojaron grandes diferencias en lo que respecta a la reducción de todos los parámetros capaces de medir la contaminación en las aguas residuales, los cuales pueden ser visualizados a través de la figura 6:

**Figura 6**

*Evaluación de parámetros fisicoquímicos en etapa inicial y final*



Nota. Adaptado de *Remoción de elementos contaminantes*, por Vanegas, 2020.

Todos estos valores son comparados con los valores referenciales que son medidos a través del decreto supremo N° 003-2010-MINAM emitidos por el Ministerio del ambiente del Perú, tal y como lo menciona Chenta y Vásquez (2018) el cual permite conocer los

límites Máximos Permisibles (LMP) para la cantidad componentes físicos, químicos y biológicos que deben estar en las aguas residuales, los cuales se encuentran definidos en la tabla 9:

**Tabla 9**

*LMP emanados por el MINAM*

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	ms/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda bioquímica de oxígeno	ms/L	100
Demanda química de oxígeno	ms/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mUL	150
Temperatura	°C	<35

*Nota.* Adaptado de *Límites máximos permisibles para efluentes de PTAR*, por Chenta y Vásquez, 2018.

Seguidamente tomando en consideración los valores de la LMP se puede describir que la especie macrófita *Eichhornia crassipes* posee valores permisibles recomendados, los cuales permiten conocer con exactitud cuáles los valores generales de tolerancia que tengan las aguas residuales en el municipio de Cajamarca tal y como lo muestra Valdivia (2019)

quienes consideran que en un ambiente controlado la planta es capaz de alcanzar ciertos valores como lo demuestra la tabla 10:

**Tabla 10**

*Valores de la Eichhornia crassipes vs valores aportados por la LMP*

PARÁMETROS	RESULTADO	LMP
pH	7	6.5 – 8.5
T°	15.7 C°	35
Conductividad	490 $\mu S/cm$	2 500
Ox. Disuelto	12ppm (1256 mg/L)	4 mg/L
Solidos Totales	230 mg/L	-
Turbiedad	12 UNT	-
DBO5	7.93ml/L	15 mg/L
DQO	36.03ml/L	40mg/L
Fosfato	0.9ml/L	-
Plomo total	0.115 ml/L	0.05ml/L

*Nota.* Adaptado de *Parámetros fisicoquímicos y metal pesado*, por Valdivia, 2019.

Todos estos resultados mencionados anteriormente permitieron evidenciar la situación general de las aguas residuales lo que da paso a la generación de una propuesta de implementación de un sistema humedal artificial con el propósito de mejorar la calidad de las aguas residuales en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca, por lo tanto, la propuesta se organizará en función de la ubicación, los alcances y objetivos que permitirán establecer una serie de etapas necesarias para la implementación, así como también contará con un prototipo de planta general que dispondrá de humedales

distribuidos equitativamente para realizar el tratamiento de las aguas residuales, por ello,  
ambos serán estructurados de la siguiente manera:

**Tabla 11**

*Esquema de propuesta para la selección y diseño de humedales artificiales para la recuperación de aguas residuales domésticas en beneficio del Centro Poblado Polloc ubicado en la Provincia de Cajamarca*

<b>TÍTULO:</b> Propuesta tecnológica para tratar aguas residuales domésticas con <i>Eichhornia crassipes</i> empleando humedales artificiales de flujo libre en centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.			
<b>RUBRO</b>	<b>LUGAR</b>	<b>OBJETIVO</b>	<b>ALCANCE</b>
Contaminación por aguas residuales domésticas	Centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca	Proponer una alternativa ecoamigable para tratar aguas residuales domésticas con <i>Eichhornia crassipes</i> empleando humedales artificiales de flujo libre en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.	Proponer una alternativa metodológica para tratar aguas residuales domiciliarias en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.
<b>PLAN DE TRABAJO Y RESULTADOS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diagnóstico general del entorno</li> <li>- Diagnóstico del efluente a tratar (aguas residuales domésticas)</li> <li>- Caracterización de contaminantes</li> <li>- Selección del tipo de humedal – Humedal tipo superficial.</li> <li>- Selección de especie fitorremediador - <i>Eichhornia crassipes</i></li> <li>- Evaluación técnica y económica</li> <li>- Estrategia de revalorización de residuos</li> </ul>		

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En vista de las deficiencias que presentan los sistemas de aguas residuales en Cajamarca, los cuales impiden que estas fluyan correctamente hacia los lugares destinados al alcantarillado, esto puede ocasionar que el agua se dirija a lugares incorrectos propiciando que lleguen a acumularse o mezclarse con otras aguas que si mantengan cierto grado de pureza, sin embargo una alternativa que logre revertir esta situación sería reutilizar estas aguas para la ejecución de otras actividades especialmente en momentos de sequía o en actividades que requieran de un uso constante de este recurso hídrico, pero antes es necesario reducir el grado de contaminación que presentan las aguas residuales.

Por lo tanto, como una alternativa a ello, se encuentra el tratamiento de las aguas residuales con técnicas de fitorremediación utilizando plantas consideradas como invasoras para generar un efecto que logre propiciar la reducción de los niveles DQO y DBO5 que contribuyen significativamente a elevar los niveles de contaminación, razón por la cual el objetivo general consistió en describir el nivel de eficiencia fitorremediadora con *Eichhornia crassipes* en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas considerando las investigaciones científicas, donde se pudo conocer que en la tabla 5 que demuestra las investigaciones realizadas por Vanegas (2020), se pudo encontrar que el porcentaje obtenido luego de la aplicación del tratamiento para determinar el DBO5 fue de 83.07% cuyo resultado en la fase inicial fue de 135,00 mg/l y el resultado luego de aplicar la fitorremediación se obtuvo 22,03 mg/l y respecto al DQO este último alcanzó el 63.09% teniendo como resultado en la etapa inicial 228,00 mg/l y como luego de finalizar el tratamiento se obtuvo 82,30 mg/l, lo que simboliza la eficiencia significativa respecto a la disminución de actividad microbiana y oxidación presente en el agua contaminada. No

obstante, la investigación desarrollada por Delgado (2021) alcanzó un mayor porcentaje de remoción, ya que para el DBO5 se obtuvo el 90% y el DQO el 90%, en ambos casos se observó una cifra mayor de contaminación inicial llegando a obtener 268.1 mg/l para BBO5 y 527.3 mg/l para DQO, lo que quiere decir que el nivel de contaminación del agua fue superior, sin embargo, al finalizar el tratamiento fitorregulador los resultados finales obtenidos fueron 126.2 mg/l (DBO5) y 215 mg/l (BDO).

Además, dichos resultados son corroborados con la investigación realizada por Quispe et al. (2017) evidenciados en la figura 4 quienes concluyeron que los efluentes tratados con especies orgánicas como la *Eichhornia crassipes* presentaron una reducción del 78% en DBO5 y el 80% en DQO, sin embargo estos valores son establecidos en función de los parámetros generales emanados por los organismos gubernamentales encargados del ambiente, con la finalidad de comprender si estos niveles arrojan resultados normales o por el contrario superan y alcanzan la contaminación, por lo tanto la tabla 6 establece los Límites Máximos Permisibles (LPM) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales según el decreto supremo N° 003-2010-MINAM establecido en el año 2010, lo que permitió indicar que los resultados obtenidos luego de haber sometidos a las aguas a un proceso de tratamiento, alcanzaron un rango de normalidad especialmente en valores como DBO5 y DQO, lo que quiere decir que mientras la cantidad de ellos sea menor, mayor será la eficiencia. Además, esto se puede verificar con la investigación realizada por Amaringo y Quispe (2019) la cual logró mantener el LMP reglamentario que actualmente se ubica en 100 mg/l, para DBO5 y 200 mg/l para DQO, por consiguiente, en este caso particular, los porcentajes de DBO5 luego de la remoción, alcanzaron el 65.3 mg/l para BBO5, mientras que el DQO se ubicó en 89.62 mg/l.

Asimismo, como primer objetivo específico se estableció describir las características morfológicas de *Eichhornia crassipes* "jacinto de agua", lo cual se pudo conocer en la figura 1 donde se estableció el origen de las plantas macrófitas, así como también en la tabla 1 se definió el origen de la misma, con la finalidad de conocer si es posible que estas puedan ser capaces de resistir estar expuestas a metales y otros elementos que elevan la contaminación, por lo tanto esta información fue relacionada con las investigaciones llevadas a cabo por Jiménez (2021) quien asegura que en las raíces de *Eichhornia crassipes* ocurre el proceso de remediación absorbiendo y asimilando los contaminantes del agua a través del cúmulo de bacterias que establecen colonias. Asimismo, Aguirre et al. (2022) establece que esta planta tiene entre sus raíces bacterias que contienen propiedades para reducir la carga de nutrientes y metales pesados que se encuentran en el ambiente, especialmente en las aguas debido a que estas tienen como hábitat diferentes entornos acuáticos, como se evidencia en la tabla 3 que indican que la planta macrófita *Eichhornia crassipes* es capaz de sobrevivir en diversos entornos como ríos, lagunas, arroyos, humedales, lagunas, bahías, entre otros.

De igual forma, entre sus características la tabla 2 definió que la especie *Eichhornia crassipes* es capaz de sobrevivir en temperaturas entre 20 y 30 °C, lo cual es un indicativo de que son plantas que proliferan con facilidad en zonas con climas tropicales, donde en condiciones normales pueden alcanzar una altura de 1 metro y dependiendo de las condiciones climáticas en las que se encuentre estas pueden aumentar su tamaño entre 6 y 18 días. Al mismo tiempo, entre sus características físicas, se encontró el hecho de que mantienen sus raíces en el agua, mientras que el tallo y las hojas se encuentran en la parte exterior del entorno acuático, como lo señala la figura 2. En tal sentido, es posible decir que

la macrófita *Eichhornia crassipes* mantiene la estructura morfológica que se requiere para ser usada en la fitorremediación.

En cuanto al segundo objetivo específico que fue analizar los procesos para fitorremediación de *Eichhornia crassipes*, en principio se pudo conocer que dicha planta tiene la capacidad de acumular los metales pesados y otros residuos como se señala en la figura 3, donde se ha encontrado grandes concentraciones de metales como hierro, cobre, zinc, mercurio, plomo y otros que son capaces de impedir la subsistencia de especies de flora y fauna, ocasionando un desequilibrio al ambiente, lo cual se relaciona con la investigación realizada por Carrillo et al. (2019) quienes especificaron que entre las formas de evaluar el estado de las aguas residuales es al conocer la presencia de ciertos componentes químicos, creados a partir de la interacción entre los metales, donde surgen sulfatos, nitratos y otros elementos por separado como hierro, zinc, plomo y otros.

Por consiguiente, la técnica de fitorremediación que se emplea utilizando la especie *Eichhornia crassipes* es la fitorestauración la cual mediante la acumulación bacteriana a través de las raíces que ayuda a mantener un equilibrio en los elementos sólidos, partículas, metales y otros aspectos que pueden ser los causantes de la contaminación de las aguas residuales, lo cual se relaciona con la investigación planteada por Jiménez (2021) quien señala que de acuerdo con las características morfológicas de la *Eichhornia crassipes* son capaces de retener todos los agentes contaminantes utilizando sus raíces para retener todos estos agentes, evitando que estos se expandan hacia otros lugares y puedan causar mayores daños en otras aguas que tengan cierto grado de purificación.

De igual forma, la tabla 6 que expresó la capacidad de reducción de elementos contaminantes de las aguas cuando entran en contacto con la planta *Eichhornia crassipes* en

cada una de las etapas de la fitorremediación, donde predominan ciertos contaminantes, por ello esta información se relaciona con las investigaciones realizadas por García (2021) en lo que se refiere a la evaluación de los niveles oxígeno (DBO) que son capaces de removerse, donde se pudo conocer que en la etapa preliminar los elementos sólidos y grasas mantienen un nivel de DBO menor al 10%, seguidamente a nivel primario, donde los contaminantes se encuentran suspendidos, el nivel de DBO alcanzado se encontró entre el 45 y 55% de efectividad en la remoción. Del mismo modo, la investigación realizada por Aranda y Pinchi (2020) mantuvo un tiempo de duración aproximado de dos meses donde se conoció que el porcentaje de remoción obtenido fue de 83% para BDO5 y 76% para BQO, indicando así la efectividad del tratamiento utilizando la especie *Eichhornia crassipes*.

Seguidamente, en el nivel secundario donde persisten los sedimentos, materia orgánica, nutrientes y otros patógenos, mantuvieron un nivel de reducción entre 60 y 99% , mientras que en la etapa terciaria donde se mantuvo la presencia de ciertos contaminantes y de materia orgánica suspendida, los niveles de remoción de DBO alcanzados fueron superiores al 99%, los cuales al ser comparados con los resultados de la investigación realizada por Perales (2018) se pudo conocer que con la implementación de la fitorremediación, los valores de BDO5 lograron reducirse hasta un 93%, lo cual indica que con la presencia de *Eichhornia crassipes* son altos los porcentajes de remoción, llegando a eliminar hasta el 99% de los elementos físicos, químicos o biológicos contaminantes.

Por otra parte, el último objetivo específico fue proponer una alternativa eco amigable para tratar aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* en la ciudad de Cajamarca por lo tanto, se realizó una propuesta con la elaboración de humedales artificiales con la finalidad de lograr el flujo de aguas residuales domésticas, los cuales al ser

comparados con las investigación llevada a cabo por Vásquez (2018) la elaboración de los humedales artificiales permitió mantener un control en la proliferación de la siembra de *Eichhornia crassipes*, aportando además resultados satisfactorios en lo que se refiere a los valores normales según los parámetros de LMP, especialmente en valores como DBO (15%) y SST (11%).

Además, para Chang y Huamán (2019) los humedales de flujo superficial son herramientas que aportan grandes ventajas ya que permiten tener menores costos de instalación, operación, así como buena adaptación al ecosistema, sin embargo, Carhuaricra (2019) consideran que entre las desventajas que presentan estos sistemas se encuentra el poco uso de la tecnología lo que hace que se vean limitadas algunas funciones, menor tolerancia a las bajas temperaturas y además requieren de mayor extensión de superficie necesaria para la implementación. Debido a ello, se pudo conocer que el uso de los humedales artificiales de flujo superficial presenta ventajas y desventajas, pero sigue siendo un sistema eficiente, contribuyendo a la reducción de costos a largo plazo.

En vista de todo lo mencionado anteriormente se concluye que la especie macrófita *Eichhornia crassipes* posee un alto grado de eficiencia en cuanto a la remoción de la Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO) y en la Demanda Química de Oxígeno (DQO), debido a sus características morfológicas que la hacen ser una planta capaz de absorber, asimilar y metabolizar diversos elementos que presentan componentes químicos, físicos y biológicos que pueden causar contaminación en las aguas residuales.

En el caso particular de la provincia de Cajamarca y el poblado del Rosario de Polloc se puede conocer que las condiciones de las aguas residuales no son las más favorables,

debido a que persisten deficiencias en su tratamiento para lograr su purificación y posible reutilización.

Por lo tanto, como alternativa a esta situación se plantea el uso de la fitorremediación utilizando humedales artificiales de flujo superficial, como una alternativa de gran eficiencia para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, al utilizar un sistema amigable con el medio a través del uso de plantas macrófitas como *Eichhornia crassipes*, por lo que estas ideas planteadas en la investigación pueden servir como base para referencias de otros estudios.

Asimismo, se recomienda ampliar el estudio sobre la efectividad de las *Eichhornia crassipes* como tratamiento de las aguas residuales domésticas para realizar investigaciones exhaustivas que permitan medirlo a través del empleo de instrumentos de laboratorio para obtener resultados más precisos.

## REFERENCIAS

- Aguirre, C., Andrio, E., Arámbula, G., Cervantes, F., Mariscal, L. y Rodríguez, J. (2022). Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*). *Agronomía Mesoamericana*, 33(1).  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/agromeso/index>
- Alarcón, A., Ferrera, R. y Mendante, C. (2020). Fitorremediación: alternativa biotecnológica para recuperar suelos contaminados con DDT. *Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 24. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.326>
- Alvarado, J. y Peralta, J. (2020). *Uso de la Eichhornia crassipes (jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo.  
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60126>
- Amaringo, M. y Quispe, K. (2019). *Utilización de la Eichhornia crassipes y Lemna minor en la remoción de Nitrógeno y Fósforo, de las aguas residuales de la laguna de oxidación de la empresa EMAPACOP S.A - Ucayali 2018* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU.  
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/4238>
- Apezteguía, J. y Recalde, L. (2023). Manejo de aguas residuales domiciliarias urbanas del Municipio de San Estanislao, Departamento de San Pedro, Paraguay, año 2019. *Revista Arandu Poty*, 2(1).  
<http://www.revistarandupoty.com/index.php/AranduPoty/article/view/44/43>
- Aranda, G. y Pinchi, X. (2020). *Eficiencia de las macrófitas Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y repollo de agua (Pistia stratiotes) en la remoción de nutrientes en las*

*aguas contaminadas de la laguna Ricuricocha por los efluentes de la ganadería del Águila. – Morales- San Martín, 2019* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión].

Repositorio de tesis Universidad Peruana Unión.  
<http://hdl.handle.net/20.500.12840/3120>

Ayala, R., Calderón, E., Collazos, R. y Rascón, J. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Revista de investigación agroproducción sustentable*, 2(3), 47-53. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20183.403>

Barriga, W. y Sánchez, H. (2018). *Modelamiento hidráulico de sistema de alcantarillado sanitario y planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del centro poblado Samne - Otuzco –la libertad, aplicando la normatividad del cepis* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Digital de la Universidad Privada Antenor Orrego.

[http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/4449/1/REP\\_ING.CIVIL\\_WILIAM.BARRIGA\\_HAROLD.S%  
c3%81NCHEZ\\_MODELAMIENTO.HIDR%  
c3%81ULICO.SISTEMA.ALCANTARILLADO.SANITARIO.PLANTA.TRATAMI  
ENTO.AGUAS.RESIDUALES.DOM%  
c3%89STICAS.CENTRO.POBLADO.SA  
MNE.OTUZCO.LA.LIBERTAD.APLICANDO.NORMATIVIDAD.CEPIS.pdf](http://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/4449/1/REP_ING.CIVIL_WILIAM.BARRIGA_HAROLD.S%c3%81NCHEZ_MODELAMIENTO.HIDR%c3%81ULICO.SISTEMA.ALCANTARILLADO.SANITARIO.PLANTA.TRATAMIENTO.AGUAS.RESIDUALES.DOM%c3%89STICAS.CENTRO.POBLADO.SAMNE.OTUZCO.LA.LIBERTAD.APLICANDO.NORMATIVIDAD.CEPIS.pdf)

Barrera, A., Dolores, A., Santamaría, J., Munive, J., Rivera A y Ramos, M. (2020). *Modelo de biorremediación de plomo con lirio acuático*.  
[https://www.researchgate.net/publication/340133711\\_4\\_Modelo\\_de\\_biorremediacion\\_de\\_plomo\\_con\\_lirio\\_acuatico\\_Vol\\_5\\_No\\_17](https://www.researchgate.net/publication/340133711_4_Modelo_de_biorremediacion_de_plomo_con_lirio_acuatico_Vol_5_No_17)

- Beltrán, D. y Capristán, C. (2020). *Técnicas de fitorremediación en el tratamiento de la DBO5 y DQO en aguas residuales municipales e industriales* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad César Vallejo. [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49044/Beltran\\_MDA-Caprist%C3%A1n\\_TCM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49044/Beltran_MDA-Caprist%C3%A1n_TCM-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Brutti, L. y Beltrán, M. (2018). *Biorremediación de los recursos naturales*. Ediciones INTA. [https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro\\_biorremediacion\\_de\\_los\\_recursos\\_naturales\\_2.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/libro_biorremediacion_de_los_recursos_naturales_2.pdf)
- Carhuaricra, P. (2019). *Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, *limnobium laevigatum* y *eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa, distrito de Santa María del Valle (Huánuco), agosto – setiembre 2018* [Tesis de grado, Universidad de Huánuco]. Repositorio Institucional Universidad de Huánuco. <http://repositorio.udh.edu.pe/123456789/1598>
- Carrillo, W., Loor, X., Negrete, J. y Riera, E. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento*, 6 (3), 228-245. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7926905>
- Chang, K. y Huamán, C. (2019). *Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, plantas típicas de la Selva Peruana* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión] Repositorio de tesis Universidad Peruana Unión. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/3230>

- Chenta, K., y Vásquez, L. (2018). *Las aguas residuales domésticas y su impacto ambiental-social en el sector Juan Antonio, Moyobamba, 2018* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo] Repositorio de la Universidad César Vallejo.  
[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32046/V%c3%a1squez\\_PJh-Chenta\\_GK.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32046/V%c3%a1squez_PJh-Chenta_GK.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Cortés, P. y Colet, M. (2018). *Tratamiento de lixiviados de un relleno sanitario: propuesta y evaluación de un sistema de humedales artificiales* [Tesis de grado, Universidad de Chile] Repositorio académico de la Universidad de Chile.  
<http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/152920>
- Delgado, J. (2021). *Evaluación del aporte de las plantas acuáticas pistia stratiotes y eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de reque provincia de Chiclayo* [Tesis de grado, Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo] Repositorio de Tesis USAT. <http://hdl.handle.net/20.500.12423/3965>
- Durán, B. y Lino, M. (2023). Fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en aguas residuales del cantón Jipijapa, Ecuador. *Revista Iberoamericana Ambiente & Sustentabilidad*, 6. <https://doi.org/10.46380/rias.v6.e221>
- García, J. (2020) *Perú anuario de estadísticas ambientales 2020*.  
[https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf](https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1704/libro.pdf)
- García, S. (2021). *Evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de

- grado, Universidad Nacional de Ingeniería] Repositorio Nacional de Trabajos de Investigación. [https://www.lima-water.de/documents/zgarcia\\_tesis.pdf](https://www.lima-water.de/documents/zgarcia_tesis.pdf)
- Guzmán, T. y Madroñero, S. (2018). Desarrollo sostenible. Aplicabilidad y sus tendencias. *Revista Tecnología en Marcha*, 31(3). <http://dx.doi.org/10.18845/tm.v31i3.3907>
- Jiménez, J. (2021). *Eichhornia crassipes* y su uso en técnicas de aprovechamiento y fitorremediación de cuerpos de agua [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia]. Repositorio Institucional Universidad Nacional Abierta y a Distancia. <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/40340/jajimenezrodr.pdf?sequence=1&isAllowed>
- Juárez, G. (2011). *Cambios en la composición de Lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) debido a su grado de madurez y a su transformación biotecnológica* [Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional Escuela Nacional de Ciencias Biológicas] Imbe. [https://www.imbe.fr/IMG/pdf/re-33\\_2011-12-04\\_tesis\\_juarez\\_luna\\_gregorio.pdf?934/9d5626268ded3409c045036c01dc8edf9a4faf38](https://www.imbe.fr/IMG/pdf/re-33_2011-12-04_tesis_juarez_luna_gregorio.pdf?934/9d5626268ded3409c045036c01dc8edf9a4faf38)
- Lebrón, C. (2020). *Análisis del uso de agua reciclada en España, Europa y el mundo: implicaciones económicas y medioambientales del uso para regadío* [Tesis de grado, Universidad de Sevilla] Depósito de Investigación de la Universidad de Sevilla. <https://hdl.handle.net/11441/104604>
- Lujan, M. y Sánchez, O. (2020). *Revisión sistemática – eficiencia de humedales artificiales en el tratamiento de lixiviados generados en la planta de residuos sólidos, Cajamarca-2020* [Tesis de grado, Universidad Privada del Norte]. Repositorio

Institucional de la Universidad Privada del Norte.

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/25912/Trabajo%20de%20investigaci%C3%B3n.pdf?sequence=1>

Menéndez, C. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3). <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>

Nazir, M., Idrees, I., Danish, P., Ahmad, S., Ali, Q. y Malik, A (2020). Potential of water hyacinth (*Eichhornia crassipes l.*) For phytoremediation of heavy metals from waste water. *Biological and Clinical Sciences Research Journal*. <https://bcsrj.com/wp-content/uploads/2020/04/BCSRJ2020e006.pdf>

Núñez, E. (2019). *Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, Zantedeschia aethiopica y Eichhornia crassipes en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión] Repositorio de Tesis Universidad Peruana de Unión. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1797>

Paredes, K. y Ramírez, M. (2019). *Evaluación de dos especies macrófitas pistia stratiotes y eichhornia crassipes en la remoción de contaminantes microbiológicos y químicos a través de un sistema de biofiltro en aguas residuales domésticas, Tarapoto – 2018* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional de la Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/39476>

Pedroza, J., Polanco, M. y Tirado, D. (2021). Aprovechamiento sostenible de especies vegetales para fitorremediación de vertidos en la producción porcícola del Sena Clem

Tuluá. *Publicaciones e investigación*, 15(2).

<https://doi.org/10.22490/25394088.4835>

Perales, K. y Rodríguez, L. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por fitorremediación con Eichhornia Crassipes en la zona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto] UNSM-Institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/2734>

Quispe, L., Arias, J., Martínez, C. y Cruz, M (2021). 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 adopción al medio en una laguna experimental. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*. 3(1).  
[https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yEefnsy7basJ:https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri\\_ctd/article/view/650/pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe](https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:yEefnsy7basJ:https://revistas.upeu.edu.pe/index.php/ri_ctd/article/view/650/pdf+&cd=2&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe)

Reyes, M. (2020). *Factor de bioconcentración y traslocación de metales pesados en eichhornia crassipes de la laguna olmeca en Veracruz* [Tesis de maestría, Instituto Tecnológico de Boca del Río]. Repositorio Institucional del Tecnológico Nacional de México.  
<https://rinacional.tecnm.mx/bitstream/TecNM/2558/4/TESIS%20MARIA%20PERLITA%20REYES%20VASQUEZ.pdf>

Rodríguez, N., McLaughlin, M. y Pennock, D. (2019). *La contaminación del suelo: Una realidad oculta. Roma*. <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>

- Rodríguez, D., Serrano, H., Delgado, A., Nolasco, D. y Saltiel, G. (2020). *De residuo a recurso: Cambiando paradigmas para intervenciones más inteligentes para la gestión de aguas residuales en América Latina y el Caribe*. <http://hdl.handle.net/10986/33436>
- Schmelzle, M. y Routier, M. (2021). Diseño y monitoreo de un sistema de depuración natural de aguas residuales. Experiencia en una PyME metalúrgica de la ciudad de Rafaela. *Revista Pymes, Innovación y Desarrollo*, 6(1), 44-59. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6546463>
- Vanegas, E. (2020). *Eficiencia del Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*) en la Fitodepuración de Aguas Residuales Domésticas (ARD) y Aguas Residuales no Domésticas (ARnD)* [Tesis de grado, Universidad Nacional Abierta y A Distancia]. Repositorio de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/35009/evvanegasg.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Valdivia, C. (2019). *Eficiencia de *eichhornia crassipes* (mart.) solms laub pontederiaceae y *nasturtium officinale* w.t. aiton – brassicaceae en la remoción de *dbo5* y *dqo* del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca] Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Cajamarca. <http://hdl.handle.net/20.500.14074/3458>
- Vásquez, J. (2018). *Remoción de materia orgánica de las aguas residuales de la universidad cesar vallejo - Trujillo utilizando jacinto de agua (*eichhornia crassipes*) en humedales artificiales* [Tesis de grado, Universidad César Vallejo]. Repositorio

Institucional de la Universidad César Vallejo.

[https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33468/vasquez\\_chj.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/33468/vasquez_chj.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de consistencia

**TÍTULO:** FITORREMIEDIACIÓN CON *EICHHORNIA CRASSIPES* (JACINTO DE AGUA) EN LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO5 EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CAJAMARCA, 2021

PROBLEMA	OBJETIVOS	VARIABLES	METODOLOGÍA	POBLACIÓN
<p>¿Cuál es el nivel de eficiencia Fitorremediadora con <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas teniendo como base resultados de trabajos de investigación?</p>	<p><b>General:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Describir el nivel de eficiencia Fitorremediadora con <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas teniendo como bases resultados de trabajos de investigación.</li> </ul> <p><b>Específicos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Describir las características morfológicas de <i>Eichhornia crassipes</i> "Jacinto de agua".</li> <li>Analizar los procesos para fitorremediación de <i>Eichhornia crassipes</i>.</li> <li>Proponer una alternativa ecoamigable para tratar aguas residuales domésticas con <i>Eichhornia crassipes</i> en la ciudad de Cajamarca.</li> </ul>	<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p><i>Eichhornia crassipes</i></p> <p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas.</p>	<p><b>Tipo de investigación:</b></p> <p>Descriptiva</p> <p><b>Diseño:</b></p> <p>No experimental</p> <p><b>Técnica:</b></p> <p>Revisión documental.</p> <p><b>Instrumento:</b></p> <p>Matrices de recolección de datos.</p> <p><b>Método de análisis de datos:</b></p> <p>Mixto</p>	<p><b>Población</b></p> <p>Dentro del marco de esta investigación se tomó en cuenta como población de estudio a Todos los estudios de análisis científicos sobre investigaciones realizadas sobre fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p><b>Técnica de muestreo:</b> No probabilístico - por conveniencia</p> <p>Se encuentra integrada por un total de 18 estudios de análisis científicos sobre investigaciones realizadas sobre fitorremediación con <i>Eichhornia crassipes</i> en la remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas.</p>

Anexo 2. Matriz de operacionalización de variables

TITULO: FITORREMEDIACIÓN CON *EICHHORNIA CRASSIPES* (JACINTO DE AGUA) EN LA REMOCIÓN DE DQO Y DBO5 EN AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS CAJAMARCA, 2021

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
<p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p><i>Eichhornia crassipes</i></p>	<p>La especie <i>Eichhornia crassipes</i> "Jacinto de agua", microfito flotante tropical y subtropical (PENFOUND y EARLE, 1948). Constituye una herramienta complementaria de muy bajo costo y apropiada bajo el enfoque de recuperación de sistemas de humedales artificiales por su alta tolerancia fisiológica en el tratamiento de aguas residuales. (MURAMOTO y OKI, 1983; CORDES et al., 2000)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CARACTERISTICAS</li> <li>• PROCESOS</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CRECIMIENTO</li> <li>• REPRODUCCIÓN</li> <li>• ADAPTACIÓN</li> <li>• PROCESO BIOLÓGICO</li> </ul>	<p><b>Escala Nominal</b></p>
<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b></p> <p>Remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas.</p>	<p>Demanda Bioquímica de Oxígeno, permite conocer la cantidad de materia orgánica que los microorganismos son capaces de degradar en un tratamiento biológico. (Menéndez, 2018). Por otro lado, la Demanda Química de Oxígeno, Es el fraccionamiento de la materia orgánica de las aguas residuales en términos de DQO, fue inicialmente desarrollado por Ekama et al. (1986).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• DQO</li> <li>• DBO5</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de materia orgánica.</li> <li>• cantidad de oxígeno.</li> </ul>	<p><b>Escala Nominal</b></p> <p>Adecuado</p>

### Anexo 3. Matriz de instrumentos

VARIABLE	DIMENSIÓN	INDICADOR	TÉCNICA	INSTRUMENTO
VARIABLE DEPENDIENTE	Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento</li> <li>• Reproducción</li> <li>• Proceso biológico</li> <li>• Adaptación</li> </ul>	Revisión Documental	Ficha Resumen
VARIABLE INDEPENDIENTE	DBO y DQO	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cantidad de materia orgánica.</li> <li>• cantidad de oxígeno.</li> </ul>	Revisión Documental	Ficha Resumen

Anexo 4. Concentración inicial y final de DQO y DBO5 en aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes*.

N°	AUTORES	AÑO	TIEMPO	CONCENTRACION INICIAL (mg O2/L)		CONCENTRACION FINAL (mg O2/L)	
				DBO5	DQO	DBO5	DQO
1	Valdivia	2019	1 mes	3.4	354.2	5.8	51.1
2	Barrera, Dolores, Santamaría, Munive, Rivera y Ramos	2020	15 días	20.5	26.9	12.7	18.4
3	Pedroza, Polanco y Tirado	2021	6 h	24.76	86.40	10.12	15.32
4	Schmelzle y Routier	2021	12 días	30.19	23.78	13.33	12.90
5	Chenta y Vásquez	2018	3 días	45	108	10.46	17.68
6	Vásquez	2018	15 días	74.54	148.65	56.34	112.63
7	Perales y Rodríguez	2018	86 días	1 235	1748,2	100	200,3
8	Paredes y Ramírez	2019	216 h	339.4	468.9	23.1	117.4
9	Núñez	2019	6 días	437	687.8	24	54.3
10	Quispe, Arias, Martínez y Cruz	2021	40 días	117.3	280.5	19.2	43.1
11	García	2021	28 días	17.6	49.4	4.75	23.8
12	Chang y Huamán	2019	24 días	25	211	26.7	57.3
13	Carhuaricra	2019	46.8 h	12.5	412.5	36.5	166.9
14	Vanegas	2020	45 días	253.46	654.59	21.29	39.93
15	Delgado	2021	21 días	268.1	527.3	126.2	215
16	Amaringo y Quispe	2019	4 meses	168	350	65.34	89.65
17	Aranda y Pinchi	2020	1 mes	11.11	17.58	4.5	9.1
18	Ayala, Calderón, Collazos, Rascón	2018	2 meses	71.57	79.52	10.93	12.11

Nota. Cada fila corresponde a los datos extraídos por los documentos de fitorremediación con *Eichhornia crassipes* para la remoción inicial y final del DQO y DBO5 en aguas residuales domiciliarias y realizar una comparación.

Anexo 5. Nivel de eficiencia fitorremediadora de *Eichhornia crassipes* en el % de remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domiciliarias.

N°	AUTORES	AÑO	DBO5	DQO
1	Valdivia	2019	85.80	84.33
2	Barrera, Dolores, Santamaría, Munive, Rivera y Ramos	2020	85.30	91.84
3	Pedroza, Polanco y Tirado	2021	71.73	88.30
4	Schmelzle y Routier	2021	84.00	95.00
5	Chenta y Vásquez	2018	89.13	92.40
6	Vásquez	2018	62.47	63.27
7	Perales y Rodríguez	2018	95.24	93,03
8	Paredes y Ramírez	2019	93.19	74.96
9	Núñez	2019	95.00	92.00
10	Quispe, Arias, Martínez y Cruz	2021	90.00	88.00
11	García	2021	73.00	70.00
12	Chang y Huamán	2019	70.72	46.86
13	Carhuaricra	2019	78.20	72.10
14	Vanegas	2020	44.91	64.33
15	Delgado	2021	90.00	90.00
16	Amaringo y Quispe	2019	91.60	94.00
17	Aranda y Pinchi	2020	83.00	76.00
18	Ayala, Calderón, Collazos, Rascón	2018	88.01	83.88

*Nota.* Cada fila corresponde a los datos extraídos por los documentos de fitorremediación con *Eichhornia crassipes* en el % de remoción de DQO y DBO5 en aguas residuales domiciliarias.

## Anexo 6. Propuesta Ambiental

### **Título**

Propuesta tecnológica para tratar aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* empleando humedales artificiales de flujo libre en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.

### **Objetivo**

Proponer una alternativa eco amigable para tratar aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* empleando humedales artificiales de flujo libre en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.

### **Introducción**

La contaminación de Aguas, por diferentes contaminantes provenientes de aguas residuales domésticas es cada vez más preocupante en la provincia de Cajamarca. Esto se debe a los vertimientos de agua directo al río sin tratamiento previo. Para llegar a la recuperación de estos efluentes es necesario la determinación de los agentes contaminante, la minimización de sustancias altamente nocivas para la calidad del agua y su posterior tratamiento. El objetivo de este trabajo es proponer una alternativa eco amigable para tratar aguas residuales domésticas con *Eichhornia crassipes* empleando humedales artificiales de flujo libre en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.

### **Antecedentes**

Ayala et al. (2018), En la tesis titulada "Fitorremediación de aguas

residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinal*" tuvo como objetivo general implementar un sistema artificial de fitorremediación para evaluar la eficiencia de remoción de agentes contaminantes. Los principales resultados obtenidos fueron DBO5, Coliformes Fecales y SST con 10,93 mg/L, 20 NMP/100 ml y 0,49 mg/L, en todos los casos se cumplió con las exigencias de los Límites Máximos Permisibles de la Clase IV, de agua para su reutilización en el riego de áreas verdes, plantaciones forestales y ornamentales.

Chilcon y Peralta (2020), En la tesis titulada "Uso de la *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales". La metodología aplicada En el proyecto de investigación es aplicada con un diseño cualitativo. Tuvo como objetivo principal sintetizar información del uso de la *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales domésticas en humedales artificiales. Teniendo como resultados la reducción de los parámetros tales como la Demanda biológica de oxígeno (DBO) y la Demanda química de oxígeno (DQO) en un 92%, solidos suspendidos 90%, fósforo 97%, nitrógeno 96%.

### **Alcance del proyecto**

El alcance de este proyecto es proponer una alternativa metodológica para tratar aguas residuales domiciliarias en el centro poblado Rosario de Polloc ubicado en la provincia de Cajamarca.

## Localización del estudio

El centro poblado Rosario de Polloc es un centro poblado cercano a la localidad de La Encañada. Ubicado en la zona norte de la provincia de Cajamarca en la región de Cajamarca a una altitud de 3107 msnm altitud tomada en la plaza de armas de la localidad de La Encañada. La localidad tiene las siguientes coordenadas UTM: N= 9216018, E=793543 y N= 9212402, E= 795358.

## Periodo de ejecución

El periodo de ejecución tiene una duración de 1 año, gracias al promedio de tiempo de los estudios encontrados.

## Metodología

Se realizó un esquema para la selección y diseño de humedales artificiales para la recuperación de aguas contaminadas. El primer paso es el Diagnóstico general del entorno, donde se analizan los aspectos geográficos, flora, fauna y características atmosféricas del área donde se implementará el humedal. El segundo paso es el Diagnóstico del efluente, donde se encuentra el tipo de efluente a tratar y el caudal. El tercer paso es definir el tipo de contaminante a tratar, esta etapa es importante porque nos ayuda a definir el tipo de planta que se usara para el diseño del humedal. El cuarto paso es la selección del tipo de humedal, el cual está ligado al tipo de planta en este caso *Eichhornia crassipes* es una macrófita flotante; por esa razón se determinó que el tipo de humedal artificial de flujo libre.

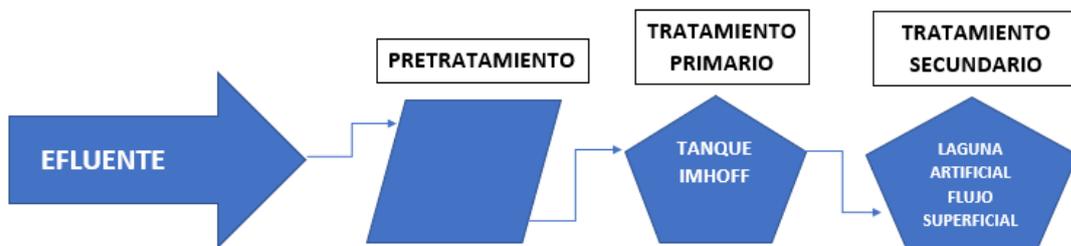
Asimismo, se define la viabilidad económica y técnica de la propuesta.

Finalmente se propone una estrategia de revalorización de recursos donde la biomasa obtenida después del proceso puede ser utilizada para compostaje para disposición posterior sobre el suelo, ya que la producción de biomasa (*Eichhornia crassipes*) puede ser muy abundante.

### Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas

**Figura 7**

*Diagrama de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas*

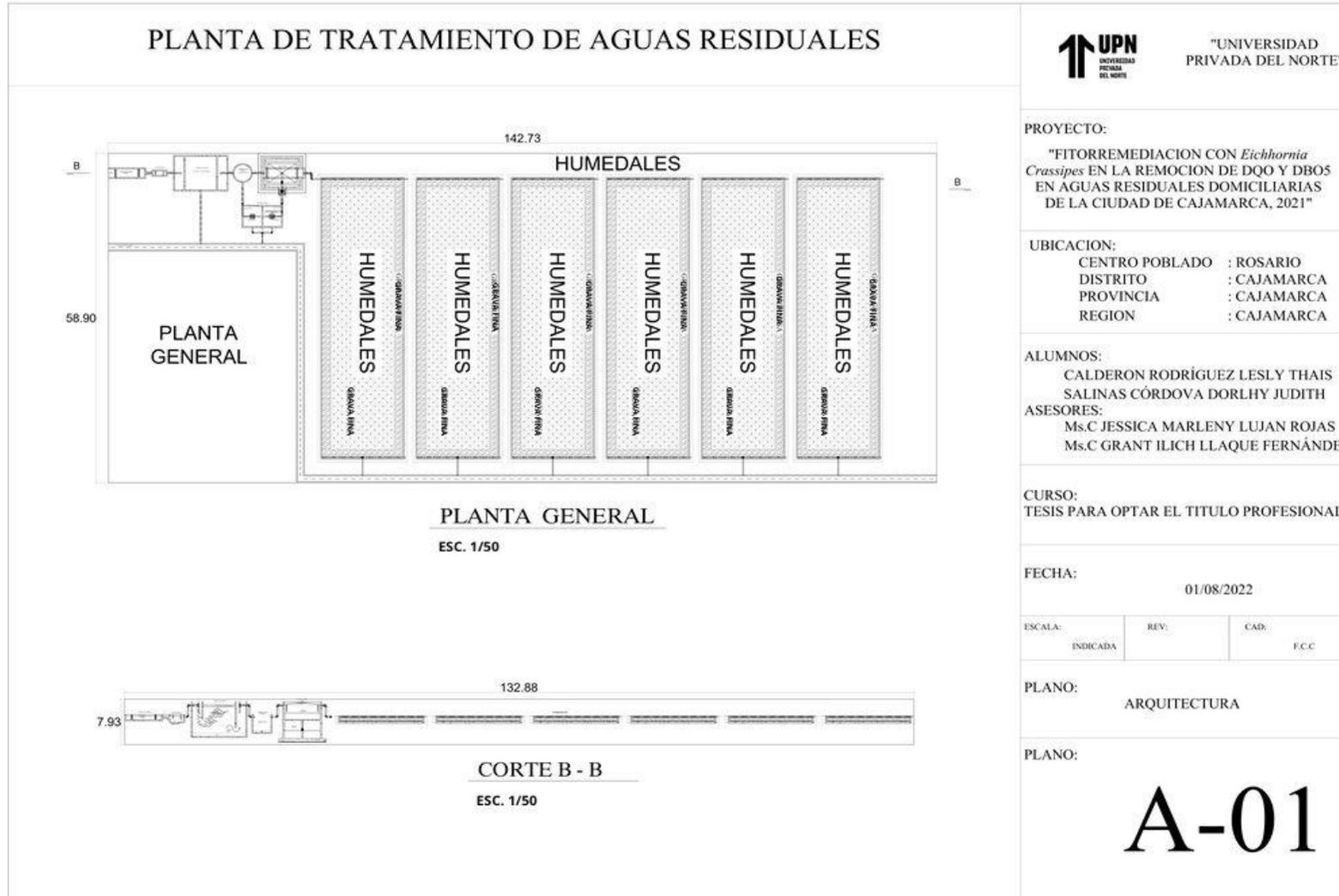


*Nota.* Elaboración propia.

### Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento

**Figura 8**

*Planta de tratamiento de aguas residuales*



Los datos recopilados para el dimensionamiento de la PTAR (Ver figura 6), se obtuvieron del Expediente técnico para el “Mejoramiento y Ampliación del sistema de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de las aguas residuales de la Localidad de la Encañada – Polloc.”. Asimismo, se obtuvo información de la tesis titulada “Eficiencia en la reducción del DBO5 Y DQO en la PTAR en la Encañada Cajamarca 2021” y Datos actualizados del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI).

**Tabla 10**

*Caracterización del Lugar de Estudio*

<b>Datos</b>	<b>Detalle</b>
<b>T °C</b>	23
<b>DBO (mg/l)</b>	315.8
<b>DQO (mg/l)</b>	632.7
<b>Caudal (m<sup>3</sup>/s)</b>	1.76
<b>Dotación (l/Ha/Día)</b>	150
<b>Población Actual (Hab)</b>	1601
<b>Población Futura ( Hab)</b>	1642
<b>Tasa de Crecimiento (%)</b>	0.31
<b>Periodo (Años)</b>	11

*Nota.* Elaboración propia.

## **Cálculos para el diseño de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

El diseño se realizó en base a los criterios de la Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones “Planta de Tratamiento de Aguas Residuales”.

CALCULO DEL DISEÑO					
<b>POBLACION ACTUAL:</b>	1601	Hab*Viv.	<b>DOTACION:</b>	150	L/HAB/D
<b>TEMPERATURA:</b>	23	T Max.	<b>% DE CONTRIBUCION:</b>	0.8	%
<b>TASA DE CRECIMIENTO:</b>	0.31	%			
<b>PERIODO DE DISEÑO:</b>	11	años			

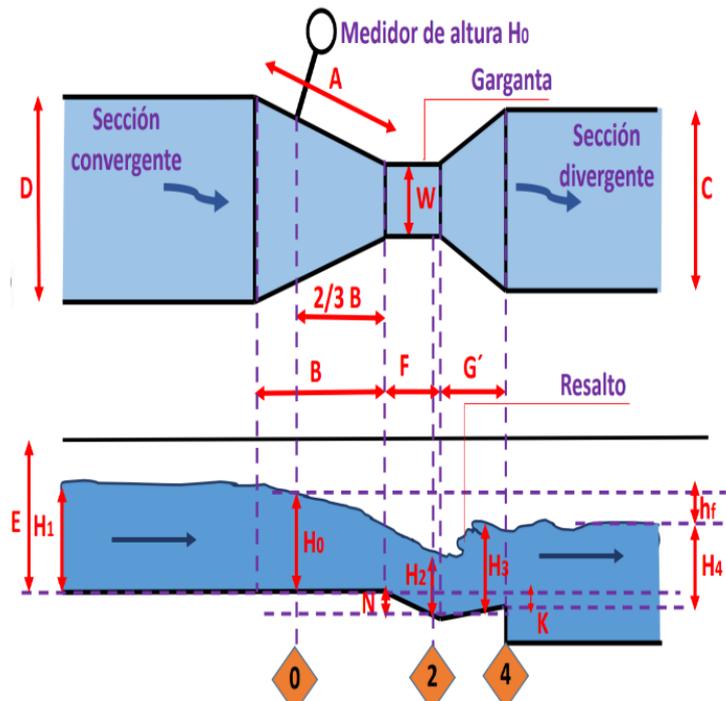
## 1. Pre Tratamiento

ESTRUCTURAS DE PRETRATAMIENTO			
Datos de diseño:			
<b>Caudal medio:</b>	<b>Q<sub>m</sub> =</b>	<b>2.30</b>	<b>lps = 199 m3/d</b>
<b>Caudal máximo de diseño:</b>	<b>Q<sub>max</sub> =</b>	<b>5.66</b>	<b>lps = 489 m3/d</b>
<b>Caudal mínimo;</b>	<b>Q<sub>mín</sub> =</b>	<b>1.15</b>	<b>lps = 99 m3/d</b>
<b>Velocidad máxima en el canal desarenador:</b>	<b>v<sub>máx</sub> =</b>	<b>0.30 mts/seg</b>	

1.1. Canaleta Parshall:

Para realizar el dimensionamiento de Canaleta Parshall, se considera una canaleta Parshall prefabricada utilizando la resina reforzada con fibra de vidrio del tipo Warminster Fiberglass o semejante, de 3" de garganta.

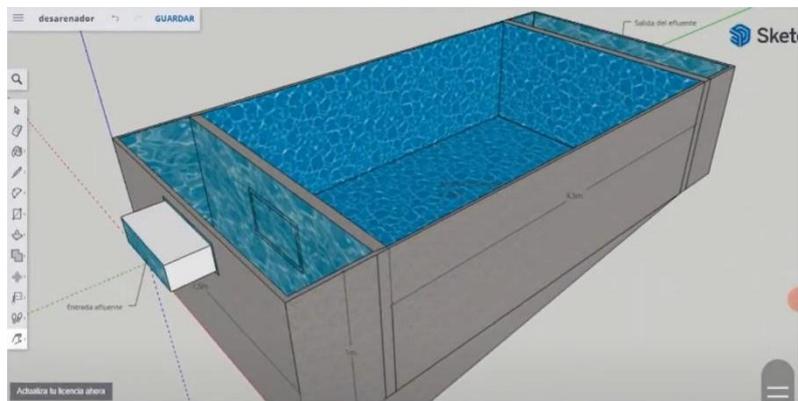
DATOS		ALTURAS	
W(m)	0.076	H0	0.19
A(m)	0.466	H2	0.038
B(m)	0.457	H3	0.15
C(m)	0.178	H4	0.12
D(m)	0.259	Hf	0.06
E(m)	0.381		
F(m)	0.152		
G(m)	0.305		
K(m)	0.025		
N(m)	0.057		
R(m)	0.406		
M(m)	0.305		
P(m)	0.768		
X(m)	0.025		
Y(m)	0.038		



### 1.2. Sistema de Cribado Desbaste Rejillas

DATOS		
CAUDAL	5.66 lts/s	0.006 m3/s
VELOCIDAD APROXIMADO	0.18 m/s	
MELOCIDAD EN LAS REJILLAS	0.14 m/s	
COEFICIENTE DE RIGUSIDAD	0.013	

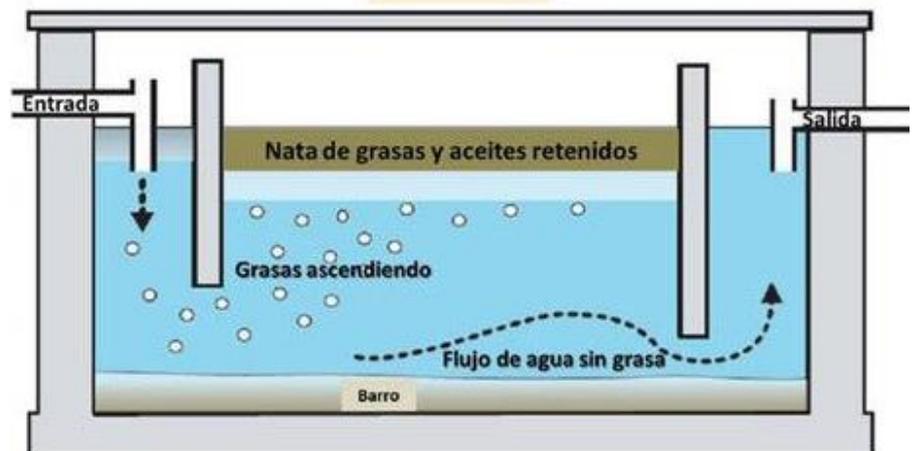
DATOS	
LARGO	2.25
ANCHO	0.75
ALTO	0.5



### 1.3. Trampa de grasa

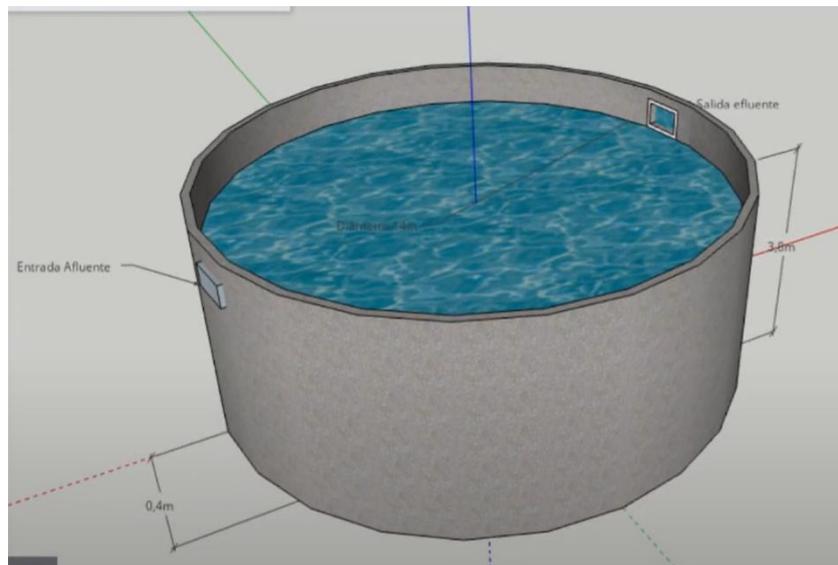
DATOS		
CAUDAL DE ENTRADA	2.30 l/s	0.0023 m3/s
GRASAS	62 mg/l	
MATERIAL	CONCRETO	

DATOS	
LARGO	9
ANCHO	15
ALTO	8



#### 1.4. Sedimentador primario

DATOS	
DIAMETRO	3 m
PENDIENTE DE FONDO	0.20 %
PROFUNDIDAD	2.5 m
TRH	2700 s
PROFUNDIDAD DE ALMACENAMIENTO DE LODOS	0.3 m



## 2. Tratamiento Secundario

### Tanque Imhoff

- Caudal de diseño m<sup>3</sup>/hora

$Q_p = (\text{Poblacion} * \text{Dotacion} * \% \text{Conti bucion}) / 1000$	198.67	m <sup>3</sup> /dia
$Q_d =$	8.28	m <sup>3</sup> /hora

- Area del sedimentador ( $A_s$ , en m<sup>2</sup>)

$A_s = Q_p / C_s$	$C_s =$ Carga superficial, igual m <sup>3</sup> /x(m <sup>2</sup> /h)		
	$C_s =$	1	m <sup>3</sup> /x(m <sup>2</sup> /h)
	$A_s =$	8.28	m <sup>2</sup>

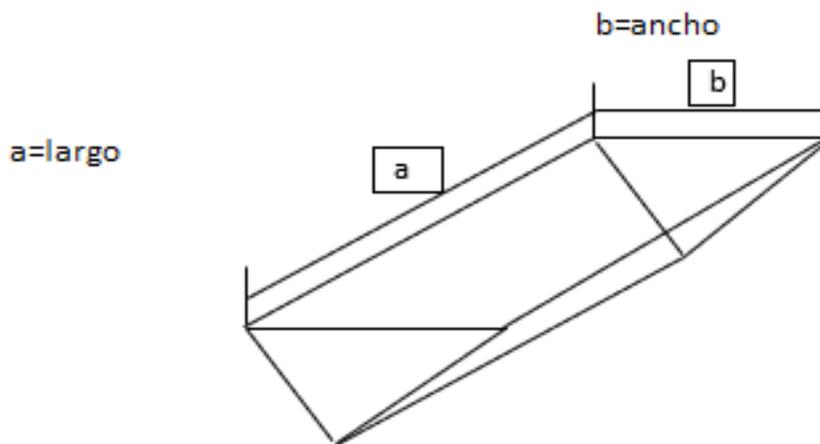
--	--	--	--

- volumen del sedimentador (VS, EN m3)

$V_s = Qd * R$	$V_s =$	16.56	m3
----------------	---------	-------	----

- El fondo del tanque tendrá una sección transversal con forma de v y la pendiente de los lados, con respecto al eje horizontal, tendrá entre 50 y 60 grados.

La relación entre longitud y ancho del sedimentador es = 4 por lo tanto



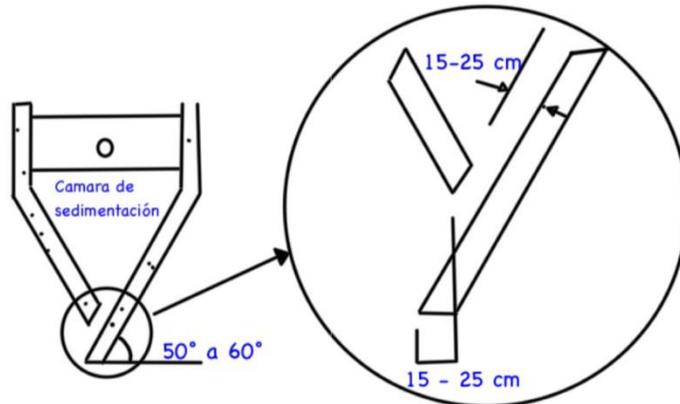
$a/b=4$	-->	$a=4b$
---------	-----	--------

$Area = a * b = 4b * b = 4b^2$
--------------------------------

Luego:

$b =$	<b>1.5</b>	m min
$b = (Area/4)^{(1/2)}$	<b>1.44</b>	m
1.44	$a =$	<b>6</b> m

En la arista central será colocada una abertura destinada al paso de sólidos de 0,15 m a 0,20 m. Uno de los lados deberá encontrarse prolongado con la finalidad de que impida el paso de gases hacia el sedimentador. Por lo tanto, dicha prolongación tendrá una proyección horizontal desde 0,15 a 0,20 m.

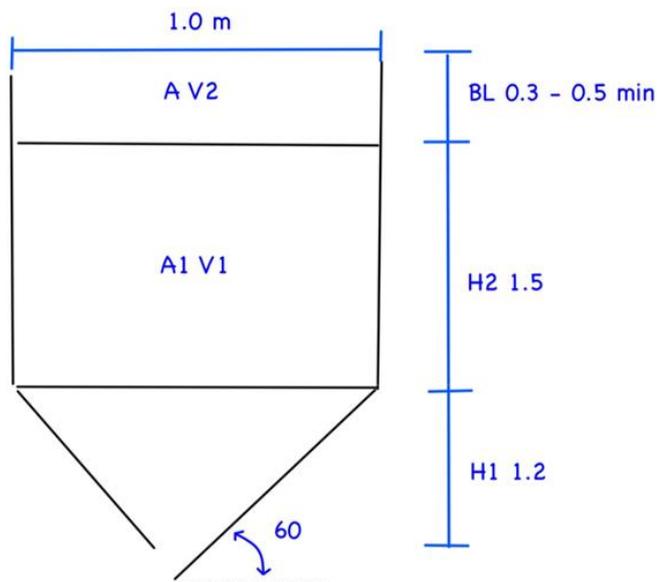


- **Cálculo de alturas cámara de sedimentación**

Donde:

<b>V=</b>	<b>16.56</b>	<b>m3</b>
<b>a=</b>	<b>6</b>	<b>m</b>
<b>b=</b>	<b>1.44</b>	<b>m</b>

$tg60=(v3)/1=h1/(b/2)$	$V=V1+V2$	$V2=h2*a*b$
$h1=(v3)*(b/2)$	$V1=h1*a*b/3$	$h2=(V-V1)/(a*b)$
1.2	3.6	1.5



- **Diseño del digestor**

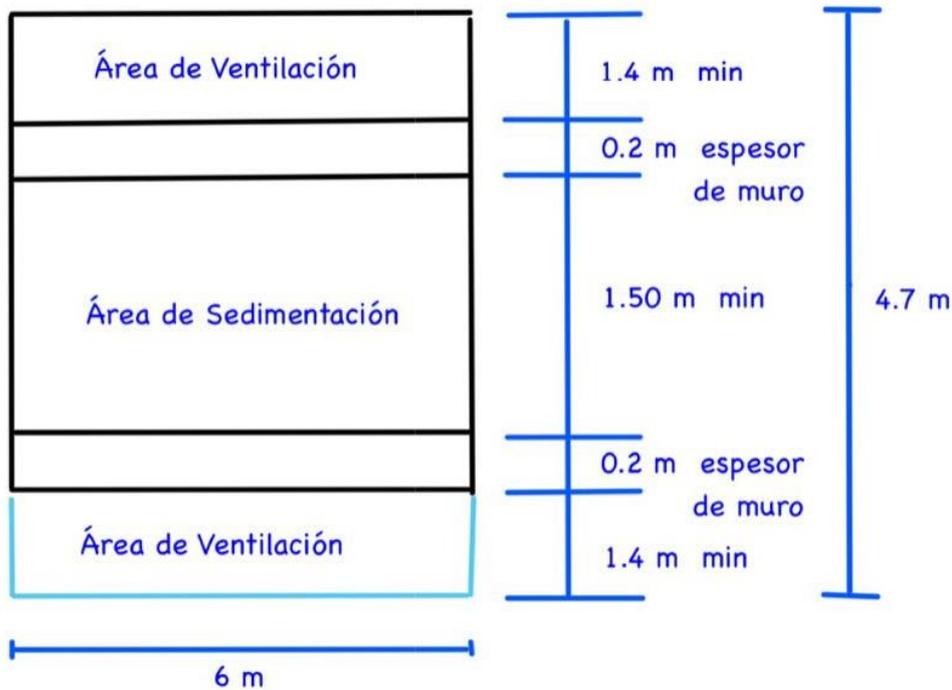
Volumen necesario para el almacenamiento y digestión (Vol. en m3)

**Para el almacenamiento y la digestión de lodos (Cámara inferior) se considerarán los siguientes valores:**

TEMPERATURA (° C)	FACTOR DE CAPACIDAD RELATIVA
5	2
10	1.4
15	1
20	0.7
>25	0.5

$$V_d = (70 * P * f_{cr}) / 1000 = 58 \text{ m}^3$$

DONDE:  
fcr= Factor de Capacidad Relativa  
P= Población  
Temperatura= C°= 23



- **Área de ventilación y cámara de natas**

Para elaborar la superficie libre que se encuentran entre las paredes del digestor y las del sedimentador (zona de espumas) se aplicarán los siguientes valores:

- a) El espaciamento libre se ubicará en 1,00 m como mínimo
- b) La superficie libre total tendrá como mínimo un 30% de la superficie total del tanque.

El fondo de la cámara de digestión tendrá la forma de un tronco de pirámide invertida (tolva de lodos), esto con la finalidad de facilitar el retiro de los lodos digeridos

Las Paredes de esta tolva contará con una inclinación aproximada de 15° a 30° a la horizontal

La altura máxima de los lodos deberá estar ubicada en 0.50m en la parte inferior del fondo sedimentador

Área Superficial = $a \cdot LB =$	28.2	m <sup>2</sup>
Área de Ventilación (AV)=	16.8	m <sup>2</sup>

Es necesario verificar si Av es superior al 30% del total del tanque

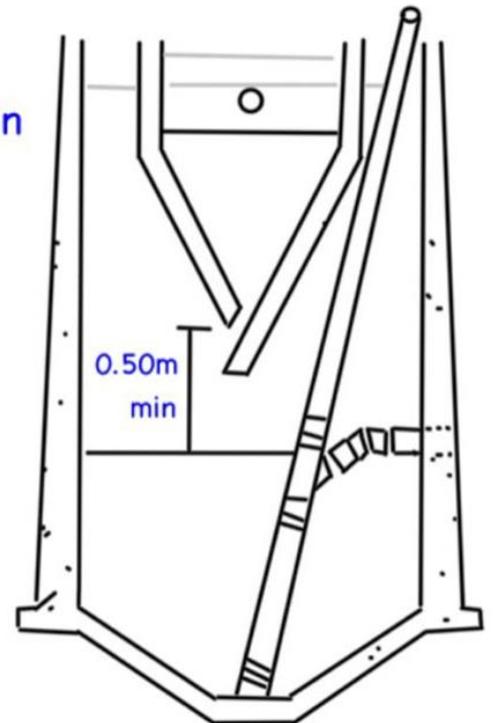
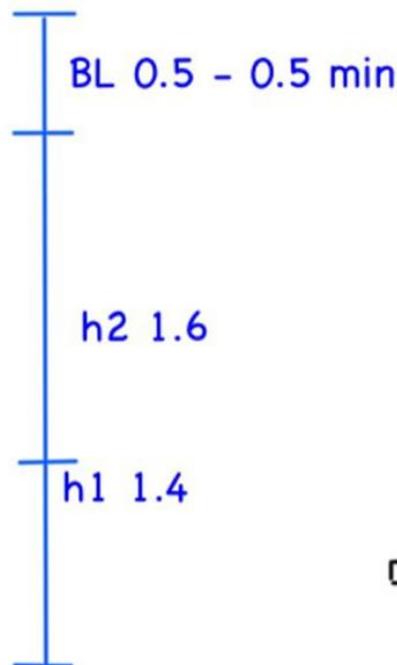
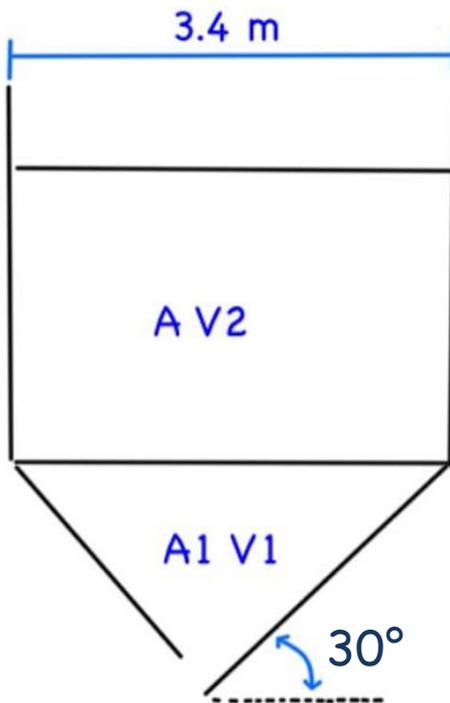
$AV/\text{Área Superficial} =$	0.60 %	<b>si cumple</b>
--------------------------------	--------	------------------

• **Cálculo de alturas con respecto al digestor (Angulo Diferente)**

Donde:

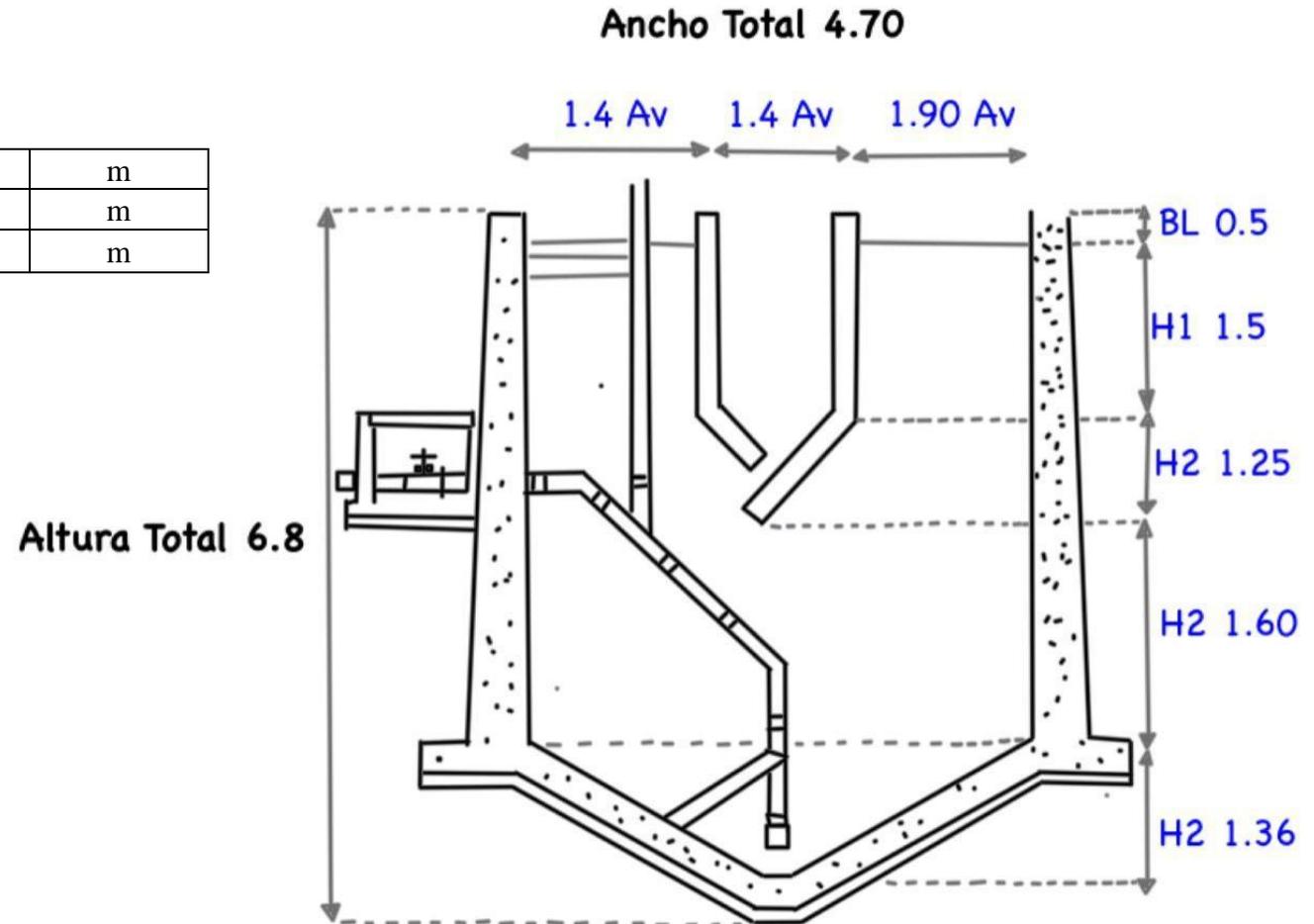
V=	58	m <sup>3</sup>
a=	6	m
b=	4.7	m

$tg30 = (\sqrt{3})/3 = h1/(b/2)$	$V = V1 + V2$	$V2 = h2 * a * b$
$h1 = ((\sqrt{3})/3) * (b/2)$	$V1 = h1 * a * b / 3$	$h2 = (V - V1) / (a * b)$
1	12.75	1.6



• Esquema grafico

Muro de tanque IMHOF	0.3	m
Volado de cimentación	1.4	m
Espesor de Cimentación	0.6	m

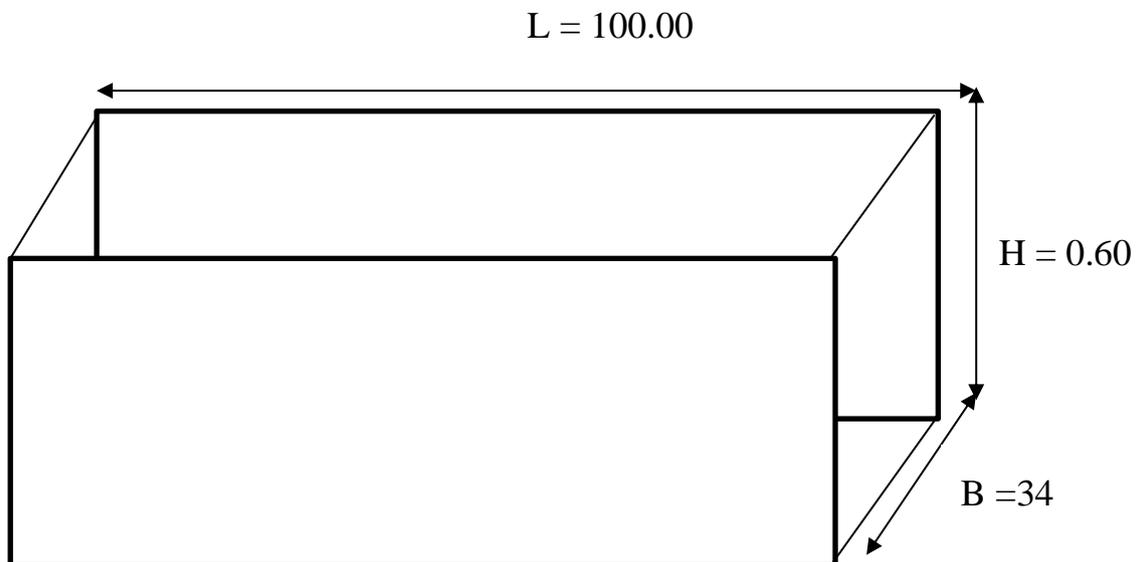


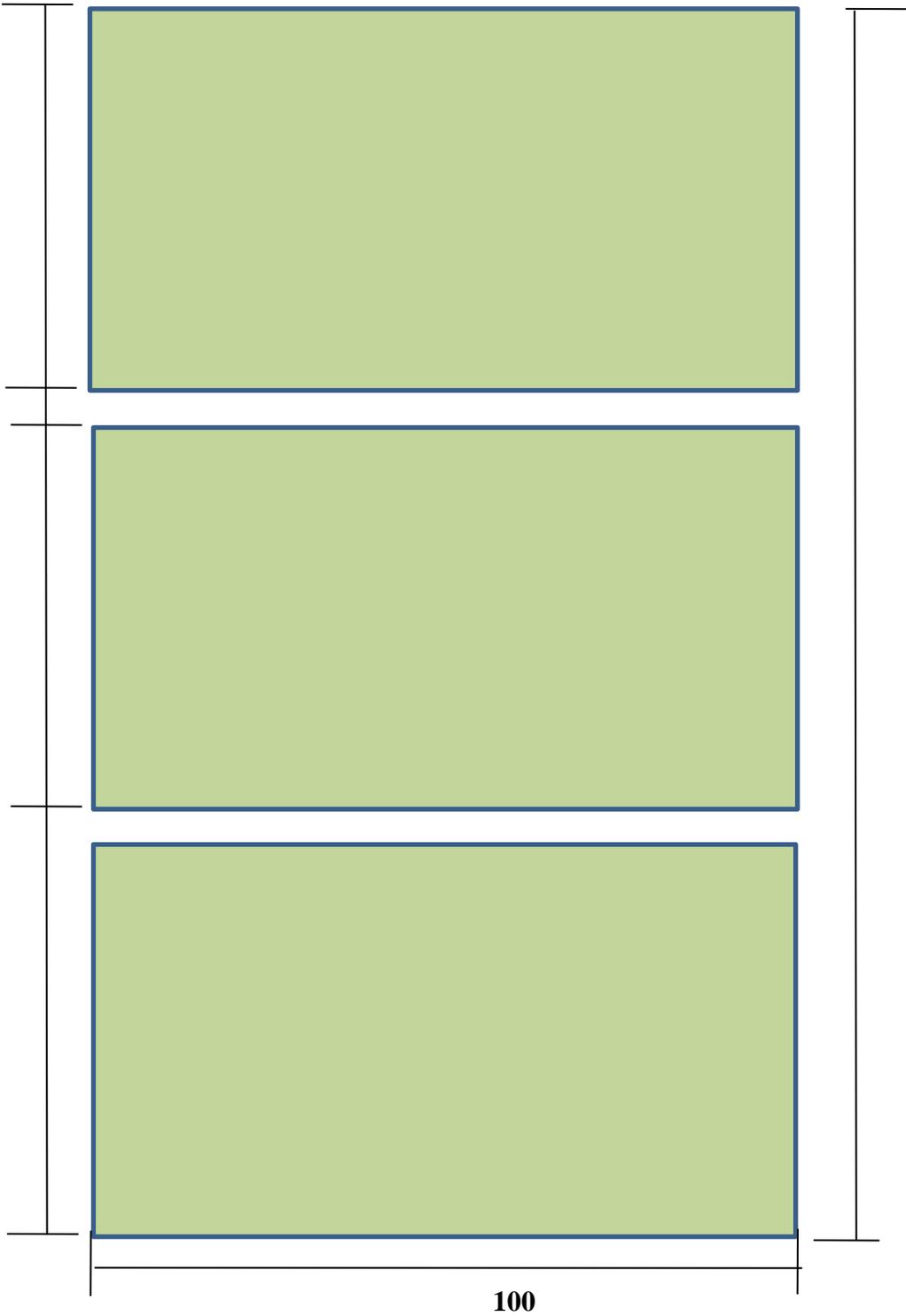
### 3. Tratamiento Secundario

#### 3.1. Humedales Artificiales de Flujo Libre

DATOS DE PARTIDA:			
POBLACIÓN	P =	0	hab
CARGA ORGÁNICA DEL AFLUENTE	DBO <sub>AF</sub> =	254.0	g/m <sup>3</sup>
CAUDAL DE DISEÑO	Q =	489	m <sup>3</sup> /d
TIEMPO DE RETENCION	R =	5	días
TEMPERATURA	C°	23	°

DIMENSIONES MINIMAS RECOMENDADAS	
NUMERO DE HUMEDALES	N= 3.00
AREA POR HUMEDAL	Ah= 3,393.97 m <sup>2</sup>
RELACION L/B ADOPTADA	L/B= 3.00
ANCHO	B= 33.94
LONGITUD	L= 100.00
PROFUNDIDAD EFECTIVA	H= 0.60 m





**101.819**

## REVALORIZACIÓN DE RECURSOS

*Eichhornia crassipes* es una planta que mantiene una alta tasa de crecimiento, lo que significa que es capaz de invadir ecosistemas en poco tiempo en casos donde su crecimiento no sea controlado. Sin embargo, utilizada de forma correcta dicha especie mantiene grandes beneficios, como por ejemplo la remediación de efluentes de origen doméstico, los cuales pueden ser aplicados en prototipos como los que se realizan en los humedales artificiales de flujo superficial libre debido a las características morfológicas que presenta esta planta macrófita. Por consiguiente, se plantea la revalorización de los recursos disponibles utilizando la biomasa de *Eichhornia crassipes* para el aprovechamiento energético de este organismo como fuente de energía que represente una alternativa y sostenibilidad.

Al mismo tiempo, los lodos generados como residuos en la planta de tratamiento pueden ser transformados en biogás el cual se obtiene como subproducto en la digestión anaerobia de dichos residuos, ayudando así a la optimización de los recursos de manera que se logren reducir los costos de operación, evitando ocasionar daños al medio ambiente.

## PROPUESTA ECONOMICA

<b>RESUMEN DE ACTIVIDADES Y COSTOS</b>	
<b>GASTOS DIRECTOS + GASTOS INDIRECTOS</b>	
<b>MANO DE OBRA</b>	<b>S/ 657,924.96</b>
<b>PERSONAL TECNICO</b>	<b>S/ 118,935.07</b>
<b>TUBERIAS</b>	<b>S/ 3,279.50</b>
<b>PLANTAS</b>	<b>S/ 636.74</b>
<b>MATERIALES</b>	<b>S/ 176,145.11</b>
<b>HERRAMIENTAS MANUALES</b>	<b>S/ 28,698.20</b>
<b>MAQUINARIA Y EQUIPOS</b>	<b>S/ 246,806.20</b>
<b>SUBCONTRATOS</b>	<b>S/ 75,860.00</b>
<b>EXPEDIENTE TECNICO</b>	<b>S/ 50,000.00</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO</b>	<b>S/ 1,358,285.78</b>

**PERFIL DE COSTOS DE VIDA UTIL DEL SISTEMA**

<b>COSTO DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	<b>1 AÑO</b>	<b>2 AÑOS</b>	<b>3 AÑOS</b>	<b>4 AÑOS</b>	<b>5 AÑOS</b>	<b>TOTAL</b>
<b>PERSONAL DE MANTENIMIENTO</b>	S/ 60,000.00	S/ 300,000.0 0				
<b>MONITOREO DE CALIDAD DE AGUA</b>	S/ 30,000.00	S/ 150,000.0 0				
<b>MANTENIMIENTO Y REPARACION DE EQUIPOS</b>	S/ 36,000.00	S/ 180,000.0 0				
<b>MATERIALES MANTENIMIENTO INSTALACIONES</b>	S/ 24,000.00	S/ 120,000.0 0				
<b>COSTOS TOTALES PROYECTADOS</b>	S/ 150,000.00	S/ 150,000.00	S/ 150,000.00	S/ 150,000.00	S/ 150,000.00	S/ 750,000.0 0
<b>COSTOS TOTALES ACUMULADOS</b>	S/ 150,000.00	S/ 300,000.00	S/ 450,000.00	S/ 600,000.00	S/ 750,000.00	

## CRONOGRAMA

Actividad	MES 1				MES 2				MES 3				MES 4				MES 5			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	2	3
Planteamiento del problema	■	■																		
Recopilación de información			■	■																
Elaboración del título y objetivos					■	■	■													
Redacción de la introducción							■													
Desarrollo del proyecto								■	■	■	■	■	■							
Redacción del método y procedimientos														■	■					
Elaboración de la propuesta económica																■	■	■	■	■