

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**

**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**UTILIZACION 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 PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**KATIA LISBETH QUISPE BENAVIDES**

**MARISOL KELLY AYALA AMARINGO**

**PUCALLPA – PERÚ**

**2019**



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES**



**COMISIÓN DE GRADOS Y TÍTULOS**

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 92**

En el auditorio de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la UNU, siendo las 11:34 horas del día lunes 22 de abril del presente año, se reunieron los miembros del jurado evaluador designado con memo múltiple N° 057-2019-UNU-FCFYA-CGT, conformado por los siguientes docentes:

Dr. Carlos Panduro Carbajal	Presidente
Dr. Fernando Velásquez de la Cruz	Miembro
Ing. MSc. Fermín Campos Solórzano	Miembro

Para evaluar la sustentación de tesis titulada “**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**” presentado por las bachilleres **KATIA LISBETH QUISPE BENAVIDES** y **MARISOL KELLY AYALA AMARINGO**, asesorado por el **Dr. David León Moreno**.

Terminada la sustentación, se procedió a realizar las preguntas por parte del jurado evaluador, siendo absueltas satisfactoriamente por las sustentantes, por lo que el jurado evaluador aprobó por **UNANIMIDAD**, obteniendo un calificativo **BUENO**.

En consecuencia, las sustentantes se encuentran aptas para obtener el Título de **INGENIERO AMBIENTAL**, previamente subsanando las observaciones hechas por el jurado evaluador.

Siendo las 12:24 horas del mismo día se da por concluido el acto académico.

  
Dr. Carlos Panduro Carbajal  
Presidente.

  
Dr. Fernando Velásquez de la Cruz  
Miembro.

  
Ing. MSc. Fermín Campos Solórzano  
Miembro.

## ACTA DE APROBACIÓN

Esta tesis fue sometida a consideración para su aprobación ante el Jurado Evaluador de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales de la Universidad Nacional de Ucayali, como requisito para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

Dr. Carlos Panduro Carbajal

  
.....  
Presidente

Dr. Fernando Velásquez de la Cruz

  
.....  
Miembro

Ing. M.Sc Fermin Campos Solórzano

  
.....  
Miembro

Dr. David León Moreno

  
.....  
Asesor

Bach. Katia Lisbeth Quispe Benavides

  
.....  
Tesisista

Bach. Marisol Kelly Ayala Amaringo

  
.....  
Tesisista



UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
DIRECCION GENERAL DE PRODUCCION INTELECTUAL

## Constancia

N° 227

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO URKUND

La Dirección General de Producción Intelectual, hace constar por la presente, que el Informe Final (Tesis) titulado:

**UTILIZACION DE LA *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* EN LA REMOCION DE NITROGENO Y FOSFORO, DE LAS AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACION DE LA EMPRESA EMAPACOP S.A - UCAYALI 2018.**

Cuyos autores son :

- QUISPE BENAVIDES, KATIA LISBETH
- AYALA AMARINGO, MARISOL KELLY

Facultad : CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES

Escuela profesional : INGENIERÍA AMBIENTAL

Asesor : Mg. LEÓN MORENO, DAVID

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 10 %.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecidos en el artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO, el cual indica que no se debe superar el 10%. Se declara, que el trabajo de investigación: SI Contiene un porcentaje aceptable de plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.

Fecha: 17/07/2019

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

DINA PARI QUISPE  
Direc. Gral. Prod. Intel.

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Katia Lisbeth Quispe Benavides

Autor de la TESIS titulada:

" UTILIZACIÓN DE LA Eichhornia crassipes y Lemna minor  
EN LA REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FOSFORO, DE LAS AGUAS  
RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE LA EMPRESA  
EMAPACOPS.A. - UCAYALI 2018"

Sustentada el año: 2019

Con la asesoría de: Dr. David León Moreno

En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales

Carrera Profesional de: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).  
 Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 05/08/19

Email: Katia.9689@gmail.com

Firma: 

Teléfono: 924771120

DNI: 46042123

REPOSITORIO DE TESIS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI  
AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE TESIS

Yo, Marisol Kelly Ayala Amaringo  
Autor de la TESIS titulada:

"UTILIZACIÓN DE LA Eicchoria crassipes y Lemna minor  
EN LA REMOCIÓN DE NITROGENO Y FOSFORO, DE LAS  
AGUAS RESIDUALES DE LA LAGUNA DE OXIDACIÓN DE  
LA EMPRESA ENAPACOP S.A.-UCAYALI 2018"

Sustentada el año: 2019  
Con la asesoría de: Dr. David León Moreno  
En la Facultad de: Ciencias Forestales y Ambientales  
Carrera Profesional de: Ingeniería Ambiental

Autorizo la publicación de mi trabajo de investigación en el Repositorio Institucional de la Universidad Nacional de Ucayali, bajo los siguiente términos: Primero: otorgo a la Universidad Nacional de Ucayali licencia no exclusiva para reproducir, distribuir, comunicar, transformar (únicamente mediante su traducción a otros idiomas) y poner a disposición del público en general mi tesis (incluido el resumen) a través del Repositorio Institucional de la UNU, en forma digital sin modificar su contenido, en el Perú y en el extranjero; por el tiempo y las veces que considere necesario y libre de remuneraciones. Segundo: declaro que la tesis es una creación de mi autoría y exclusiva titularidad, por tanto me encuentro facultado a conceder la presente autorización, garantizando que la tesis no infringe derechos de autor de terceras personas. Tercero: autorizo la publicación,

- Total (significa que todo el contenido de la tesis en PDF será compartido en el repositorio).  
 Parcial (significa que solo la carátula, la dedicatoria y el resumen en PDF serán compartidos en el repositorio).

De mi TESIS de investigación en la página web del Repositorio Institucional de la UNU.

En señal de conformidad firma la presente autorización.

Fecha: 05 / 08 / 19

Email: ayalamaringo@hotmail.com

Firma: 

Teléfono: 94482325382

DNI: 47583362

## DEDICATORIA

A nuestro creador, por darnos la fuerza de voluntad para alcanzar las metas planteadas y guiarnos en nuestro mundo laboral, por fortalecer nuestros conocimientos e inspirarnos en nuestras decisiones, para alcanzar los éxitos planteados como profesionales.

A nuestros padres: Héctor José Quispe Cerna y Mery Lisbeth Benavides Reátegui; Domingo Edgardo Garay y Micaela Clotilde Ayala, por creer en nosotras, por motivarnos a ser mejores profesionales cada día, por ese amor y cariño que ellos nos brindan.

## **AGRADECIMIENTO**

A la primera persona, que agradecemos es a nuestro asesor, Dr. David León, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto.

A nuestro Co-Aesor Ing. Enrique Barrantes Santillán, por los conocimientos y el apoyo al momento de la realización de la tesis.

A nuestros padres, por habernos proporcionado la mejor educación y lecciones de vida.

A nuestros compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegría y tristezas, y a todos a aquellas que durante estos cinco años estuvieron a nuestro lado apoyándonos y lograron que este sueño se haga realidad.

## ÍNDICE

	<b>Pág.</b>
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
LISTA DE TABLAS.....	xiii
LISTA DE FIGURAS.....	xiv
LISTA DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	5
1.2.1. Problema General.....	5
1.2.2. Problemas específicos.....	5
CAPÍTULO II. BASES TEÓRICAS.....	6
2.1. ANTECEDENTES.....	6
2.1.1. Internacional.....	6
2.1.2. Nacional.....	8
2.1.3. Local.....	11
2.2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.2.1. Contaminación de los cuerpos de agua.....	12

2.2.2.	Nutrientes en las aguas residuales domésticas.....	13
2.2.3.	Indicadores de la Eutrofización.....	13
2.2.4.	Sistema de tratamientos de aguas residuales.....	14
2.2.5.	Tratamiento de las aguas residuales.....	15
2.2.6.	Límites máximos permisibles para descarga de PTAR.....	16
2.2.7.	Tratamiento biológico.....	17
2.2.8.	Sistema de plantas flotantes.....	17
2.2.9.	Clases de plantas acuáticas.....	18
2.2.10.	Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento.....	19
2.2.11.	Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.....	20
2.2.11.1.	Aspectos generales de <i>Lemna minor</i> (lenteja de agua).....	20
2.2.11.2.	Ubicación Taxonómica.....	22
2.2.11.3.	Aspectos generales de <i>Eichhornia crassipes</i> .....	23
2.2.11.4.	Factores reguladores del crecimiento.....	24
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	26
	CAPÍTULO III. METODOLOGÍA.....	31
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	31
3.2.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	32

3.4. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS.....	33
3.4.1. Sistemas de tratamiento.....	33
3.4.2. Dimensionamiento de los sistemas.....	34
3.4.3. Construcción de los estanques.....	35
3.4.4. Acondicionamiento del lugar.....	35
3.4.5. Recolección de las especies de plantas acuáticas.....	35
3.4.6. Instalación de los sistemas.....	36
3.4.7. Instrumentos de recolección de datos.....	37
3.4.8. Toma de muestra.....	39
3.4.9. Análisis de las muestras.....	40
3.4.10. Tratamiento de los datos.....	41
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
4.1. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE PLANTAS ACUÁTICAS <i>E. crassipes</i> y <i>L. minor</i> .....	43
4.2. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO.....	45
4.3. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE REMOCIÓN DE N Y P.....	47
4.4. DISCUSIÓN.....	48
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	50
5.1. CONCLUSIONES.....	50
5.2. RECOMENDACIONES.....	50

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	51
ANEXOS.....	57

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR.....	16
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía de la especie Lenteja de agua ( <i>Lemna minor</i> )....	22
<b>Tabla 3.</b> Taxonomía de la especie Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	23
<b>Tabla 4.</b> Puntos de Muestreo.....	33
<b>Tabla 5.</b> Tratamientos aplicados en el proceso de aguas residuales...	34
<b>Tabla 6.</b> Crecimiento de plantas acuáticas <i>E. crassipes</i> y <i>L. minor</i> .....	44
<b>Tabla 7.</b> Promedio de los resultados por sistemas de estanques.....	45
<b>Tabla 8.</b> Parámetros de remoción de nitrógeno y fósforo.....	47

## LISTA DE FIGURAS

<b>En el Texto:</b>		<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b>	Planta acuática Lenteja de agua ( <i>Lemna minor</i> ).....	22
<b>Figura 2.</b>	Planta acuática Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	24
 <b>En el Anexo:</b>		
<b>Figura 3.</b>	Dimensionamiento de los estanques.....	58
<b>Figura 4.</b>	Toma de muestra de agua residual para el análisis en el laboratorio.....	63
<b>Figura 5.</b>	Cálculos de parámetros de la planta de tratamiento.....	63
<b>Figura 6.</b>	Recolección de plantas acuáticas.....	64
<b>Figura 7.</b>	Sembrío de plantas acuáticas en las peceras <i>Lemna minor</i> .....	64
<b>Figura 8.</b>	Sembrío de plantas en las peceras de <i>Eichhornia crassipes</i> .....	65
<b>Figura 9.</b>	Monitoreo de crecimiento de especies acuáticas.....	65
<b>Figura 10.</b>	Crecimiento de especies acuáticas <i>Lemna minor</i> .....	66
<b>Figura 11.</b>	Monitoreo de nitrógeno y fósforo.....	66

## LISTA DE ANEXOS

	<b>Pág.</b>
<b>Anexo 1.</b> Dimensionamiento de los estanques para el sembrío de las especies.....	58
<b>Anexo 2.</b> Condiciones de cultivo de plantas acuáticas <i>E. crassipes</i> y <i>L. minor</i> .....	59
<b>Anexo 3.</b> Análisis de SPSS de N y P de las plantas acuáticas.....	59
<b>Anexo 4.</b> Constancias de laboratorio.....	60
<b>Anexo 5.</b> Panel fotográfico.....	63

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad de remoción de nitrógeno (N) y fósforo (P) en Aguas Residuales Municipales (ARM), por plantas acuáticas emergentes. Se utilizaron plantas nativas de la región en los efluentes de la Planta de Recuperación de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado S.A. (Pucallpa, Perú), aplicando dos métodos de investigación experimental y aplicada; se evaluó la capacidad de remoción de N y P durante 5 días, a nivel laboratorio, en ARM. La *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, tuvieron un buen crecimiento en ARM. El cultivo de plantas acuáticas emergentes, se realizó con 4 meses de crecimiento en condiciones controladas de luz, temperatura y pH. El cultivo de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, reportó valores altos de remoción, entre 70%-80%, y 55%-60%, sucesivamente. La cantidad óptima de plantas acuáticas emergentes, para tratar aguas residuales y disminuir el exceso de nutrientes causantes de eutrofización o hipoxia, es de 60 muestras a tratar 80 litros de agua cruda, dio como resultado que disminuyó desde 0,35 mg/l hasta 0,09 mg/l de nitrógeno y de 5 mg/l hasta 0,53 mg/l de fósforo.

**Palabras clave:** Aguas residuales, eutrofización, especies acuáticas, cantidad óptima, remoción.

## ABSTRACT

The objective of this study was to determine the nitrogen (N) and phosphorus (P) removal capacity in Municipal Wastewaters (ARM), by emerging aquatic plants. Native plants of the Region from the tributaries of the Recovery Plant of the Drinking Water and Sewer Municipal Company S.A (Pucallpa, Perú) were used, applying two research methods, experimental and applied; its N and P removal capacity was evaluated during 5 days, at laboratory level, in ARM. The *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*, had a good growth in ARM. The cultivation of emergent aquatic plants was carried out with 4 months of growth under controlled conditions of light, temperature and pH. The cultivation of *Eichhornia crassipes* and *Lemna minor*, reported high values of removal, between 70%-80%, and 55%-60%, successively. The optimal amount of emerging aquatic plants to treat wastewater and decrease the excess of nutrients that cause eutrophication or hypoxia, is 60 samples to treat 80 liters of raw water, this resulted in a decrease from 0,35 mg/l to 0,09 mg/l of nitrogen and from 5 mg/l to 0,53 mg/l of phosphorus.

**Keywords:** Wastewater, eutrophication, aquatic species, optimal quantity, removal.

## INTRODUCCIÓN

El tratamiento de los efluentes domésticos es una necesidad que tiene la sociedad para proteger su medio ambiente y garantizar el bienestar humano, pues éstas configuran un peligro potencial para la salud pública, ya que a través de las mismas se pueden transmitir innumerables enfermedades; lo cual genera impactos negativos a la población y la economía de los países.

La degradación ambiental causada por los efluentes domésticos, es hoy en día uno de los aspectos de mayor atención. El efluente doméstico puede contener una variedad de exceso de nutrientes que podrían causar impactos negativos al ambiente cuando son liberados.

El exceso de nutrientes, es el principal causante del deterioro de la calidad del agua, generando eutrofización en cuerpos receptores de agua natural. Los nutrientes en los efluentes domésticos provienen de los fertilizantes, baños, entre otros. En su gran mayoría el fósforo viene de los detergentes y el nitrógeno a través de la urea de las heces a la orina.

Uno de los mayores problemas del tratamiento de efluentes en el Perú es que no contempla el exceso de nutrientes en la salida de plantas de tratamientos de aguas residuales. El agua que sale de las plantas de tratamientos va hacia un cuerpo natural, propagando alteraciones físicas y químicas de agua.

Este estudio se realizó en el laboratorio de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Ucayali, el efluente a tratar se recolectó de la planta de tratamiento de oxidación de la Empresa Municipal de Agua y Alcantarillado

de Coronel Portillo del sector 14.

Cabe mencionar que se trabajó con las especies acuáticas emergentes, *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, para saber cuál de las dos especies remueve más rápido el exceso de nutrientes, el objetivo principal de este estudio es determinar la 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.

# CAPÍTULO I

## EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

### 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El veloz incremento de la población mundial y la mejora de los niveles de vida en ciertas regiones del planeta han incrementado el consumo per cápita del agua (Biswas, 2010). Generando efluentes domésticos que son vertidos a los cuerpos de agua ocasionando graves problemas de contaminación y procesos de eutrofización que pueden llevar a la destrucción completa de ecosistemas, al superar la capacidad normal de autodepuración de los mismos (Rodríguez, 2009).

Sin embargo, en muchos casos los efluentes domiciliarios sin un control terciario adecuado de una planta de tratamiento de aguas residuales contienen una alta concentración de nitrógeno (N) y fósforo (P) lo cual puede causar eutrofización de los cuerpos receptores y generar otros problemas a largo plazo (Escorihuela, 2007).

El nitrógeno y el fósforo son elementos químicos que en su mayoría se genera de manera antrópica y son considerados como exceso de nutrientes y sin un control medido de depuración pueden hacer crecer plantas acuáticas capaces de secar cuerpos naturales de agua que son utilizados por diversos microorganismos.

La depuración de las aguas residuales domésticas, es una de las necesidades principales de la sociedad moderna debido al peligro que significan el vertimiento de estas aguas al ambiente sin recibir un

tratamiento adecuado, capaz de modificar sus condiciones físicas, químicas y microbiológicas que eviten problemas graves de contaminación (Santana, 2010).

En la actualidad, el tratamiento convencional de aguas residuales domésticas enfrenta el reto de disminuir dicho exceso de nutrientes a niveles normales. Los métodos químicos y físicos, que son los más utilizados a nivel mundial, son costosos, no tan efectivos y al ser no naturales, tienen un impacto considerable en el ecosistema. El Tratamiento Terciario Biológico (TBT) usando plantas acuáticas de manera eficiente como *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* tiene la ventaja de ser un método natural, manteniendo un adecuado manejo eficiente y productivo (elaboración de biosol y biol), Constituyéndose en un manejo eficiente como alternativa para mejorar la calidad de los efluentes de la laguna de oxidación del SECTOR 9, del distrito de Manantay, administrado por EMAPACOP S.A. Manejar de manera eficiente las plantas de agua flotantes como *Eichhornia crassipes* y *Lemna Minor* permite remover el exceso de nutrientes, así mismo llevar un control adecuado del tiempo de crecimiento de las plantas en aguas residuales y el tiempo de depuración para remover el exceso de nutrientes.

Por otra parte, la Amazonía dispone de varias especies de plantas acuáticas de agua dulce, muchas de ellas ya identificadas y estudiadas, se identifican como una alternativa eficiente para afrontar el problema ambiental en el caso de las aguas servidas.

Finalmente nos encontramos frente a una situación especial para la gestión ambiental, pues actualmente no se dispone de un estándar de

calidad o un Límite Máximo Permisible para el exceso de nutrientes (fósforo y nitrógeno) saber con cuanto deben salir los efluentes para que no causen eutrofización de los cuerpos naturales de aguas dulces.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1. Problema general**

- ¿Será posible utilizar 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?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- ¿Cuál es el tiempo de crecimiento de la especie de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en aguas residuales domésticas del estudio?
- ¿Cuál es el tiempo de remoción del exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en las aguas residuales domésticas en el estudio?
- ¿Cuál es la cantidad optima de plantas acuáticas con tres repeticiones de la especie de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, para remover el exceso de nutrientes de aguas residuales domésticas la Empresa Municipal de Agua Potable Alcantarillado S.A.?

## CAPÍTULO II

### BASES TEÓRICAS

#### 2.1. ANTECEDENTES

##### 2.1.1. Internacional

Cevallos (2015), quien investigó remediar el agua residual pecuaria, utilizaron plantas acuáticas, estas se recolectaron y se sometieron al proceso de aclimatación. Las plantas acuáticas que se colocaron en el Humedal artificial piloto fueron: *Eichhornia crassipe*, *Lemna minor* y *Salvinia Biloba*, el tiempo de retención del agua residual pecuaria dentro del Humedal fue de 18 horas. El Humedal Artificial Piloto en conjunto con el filtro de grava logró ser un 78% eficiente. Se tomaron muestras a las que se les practicaron análisis físico-químicos y microbiológicos en un laboratorio acreditado, las muestras fueron tanto del agua residual pecuaria como del agua tratada por el humedal artificial piloto, los parámetros seleccionados para los análisis físico-químicos y microbiológicos fueron en función de los Límites Máximos Permisibles (L.M.P.)

Valderrama y Campos (1999), quienes integraron un equipo de la Universidad Javeriana (Colombia) para investigar “La Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp.* y *L. Laevigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas”. Esta investigación, se evaluó a escala de laboratorio el efecto de tres tratamientos con plantas acuáticas *Eichhornia*

*crassipes*, *Lemna sp.* y *Limnobium laevigatum*- y de un tratamiento con microalgas en la remoción de indicadores de contaminación fecal (Coliformes fecales, *E. coli* y colifagos somáticos) en aguas residuales domésticas. Se evaluó la posible relación entre los tratamientos. La remoción no se pudo asociar a ningún tratamiento en particular. *E. crassipes* fue la especie más eficiente en la remoción de fagos (91%, a diferencia de 75% en los otros tratamientos) y esta remoción estuvo asociada a las mismas variables fisicoquímicas anteriores (60-90% de correlación).

La remoción en sistemas con plantas hidrófilas se atribuye a procesos de sedimentación, adsorción y remoción de sólidos suspendidos y materia orgánica. Los valores de pH oscilaron entre 6.8 y 8.1 en todos los tratamientos. *Eichhornia crassipes* presentó valores más bajos y cercanos a la neutralidad (pH final de 7,4). Esto puede explicarse por el efecto de la fotosíntesis dentro de la columna de agua, que remueve CO<sub>2</sub> y eleva el pH.

Haustein (2004), indica que: Las lentejas de agua se encuentran restringidas a hábitats resguardados o bordeando los ríos de flujo lento, en las zonas bien abrigadas y particularmente en la Bahía interior de Puno. Se encuentran también donde los totorales son muy densos. En las condiciones ideales de protección, ellas pueden constituir un lecho plurilaminar de 0.5 a 1 cm de espesor, más generalmente las especies se disponen en un solo espesor y son a veces mezclados y otros separados.

La eficiencia de los micrófitos flotantes en el tratamiento de aguas residuales en presencia de materia orgánica y nutriente ha sido estudiada

por varios investigadores. En el año de 1973 en la Universidad de la Florida, Harvey y Fox ensayaron con *Lemna minor* en la remoción de nutrientes, 14 obteniendo resultados de 89% y 67% de remoción para nitrógeno y fósforo, respectivamente (Martelo & Lara Borrero, 2012).

### **2.1.2. Nacional**

Castro (2006), en el presente estudio se determinó la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. El agua residual, el cual fue previamente tratada en un filtro de grava para atrapar los residuos sólidos existentes se depositó en tres estanques de vidrio con *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* y un control de agua residual sin planta acuática. El tiempo que permaneció el agua residual en los estanques fue de diez días, y se cambió de efluente por cuatro veces. Para determinar la eficiencia de remoción de las plantas acuáticas flotantes se analizó la concentración de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual que ingresó a los tratamientos y después de los diez días de estancado. Obteniendo como resultado que la planta *Eichhornia crassipes* es más eficiente en el tratamiento de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas con un porcentaje promedio de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del 88,24%, mientras que *Lemna minor* obtuvo un promedio de remoción del 81,24%.

García (2012), en su trabajo de Investigación "Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales Domésticas, Lima -Perú" llegaron a la conclusión que el sistema por tandas la capacidad de remoción de la turbiedad fue de 52% en el control, en el reactor con lenteja de Agua de un 72% y en el reactor con Jacinto de agua un 65%. Con respecto al parámetro de oxígeno disuelto, solo hubo presencia de remoción en un 73% en el reactor cubierto con Jacinto de agua, mientras que el control y lenteja de agua existió un incremento de 35% y 24% respectivamente. La remoción de la Demanda Bioquímica de oxígeno, DB05 fue del 96.75 y la capacidad de remoción de nutrientes fluctuó de un 50% a un 100%, con un periodo de retención de 5 días utilizando *Lemna minor*. El tratamiento con *Eichhornia crassipes* mostró una remoción de nutrientes que osciló entre los 5% al 86% con un periodo de retención de 5 días, mientras que el DB05 presentó una remoción de 26.7% en un periodo de 2.5 días.

Flores (2014), en su trabajo de investigación "Aplicación de humedal artificial con macrófitas flotantes en la recuperación de las aguas residuales domésticas, Moyobamba - San Martín". Afirma que en su trabajo de investigación durante la etapa de caracterización fisicoquímica y microbiología del agua residual proveniente de la Urb. Las Flores, la temperatura oscila entre 21 y 23 °C el cual hace propicio el crecimiento de la *Eichhornia crassipes*, la turbiedad del efluente del humedal varía entre 5 y 32 UNT, dependiendo del comportamiento del agua y las condiciones climáticas, el DB05 de salida llega a bajar hasta 25 mg/1, en cuanto a los

Colifonnes fecales los valores son reducidos hasta 550 UFC/1 00 ml y para los sólidos suspendidos totales los valores se alternan entre 30 y 100 mg/1.

Garcia (2012), en su trabajo de investigación "Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba". En su investigación llegaron a la conclusión de que la *Eichhornia crassipes* ("Jacinto de agua") fue la especie más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a las altas remociones alcanzadas en la mayoría de los parámetros como, 85.5% para Coliformes Totales, 77.7% para Nitratos, 73.5% para Coliformes termo tolerantes, 66.1% para la DB05, 60% para Sólidos Suspendidos Totales; además esta especie es de fácil adaptación, habilidad que le permite habitar en distintos medios acuosos, sobre enriquecidos de nutrientes.

Otro antecedente de investigación es el artículo "La depuración de aguas residuales mediante plantas acuáticas en humedales artificiales que representa una alternativa eficiente, de bajo coste y respetuosa con el medio ambiente". De la Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica (2004). Donde menciona que la "Fito depuración" aprovecha la capacidad de reducir o eliminar contaminantes de algunas plantas presentes en humedales, por medio de una serie de complejos procesos biológicos y fisicoquímicos. Estas plantas acuáticas ejercen una depuración directa de sustancias contaminantes, como nitratos y fosfatos, o microorganismos patógenos (Torres, 2007).

Un estudio realizado en el Perú demostró que el uso de la macrófita *Lemna minor* es eficiente en la remoción de materia orgánica y nutrientes alcanzando una remoción de DQO en 56.10%, Nitrógeno Total (Nt) en 13.55% y Fósforo Total (Pt) de 25.40% (Madueño y Sandoval, 2009).

### **2.1.3. Local**

Panduro (2008), quien investigó acerca de “Sistema de descontaminación de las aguas residuales mediante el uso de plantas acuáticas, en la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali” en esta investigación se evaluó la influencia depuradora de cinco plantas hidrófilas de las especies *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes*, *Azolla microphylla*, *Ipomoea aquatica*, *Salvinia minima*, el Diseño empleado fue el de Bloques Completos al Azar, donde los bloques estaban constituidos por las especies de plantas acuáticas y los tratamientos por la procedencia de las aguas contaminadas. Para analizar el efecto depurador de las plantas se realizó los análisis físico - químico y microbiológico de dichas aguas, además se efectuó un análisis microbiológico de las especies hidrófilas. Los resultados obtenidos demuestran que mediante el uso de estas plantas se pueden obtener una buena eficiencia en la remoción de los contaminantes.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Contaminación de los cuerpos de agua**

La contaminación de los cuerpos de agua es una consecuencia inherente de la operación y desarrollo de las sociedades y/o comunidades actuales. Los residuos líquidos o sólidos de composición variada acarreados por las aguas provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, domésticos, mineros y en general de cualquier otro uso, así como la mezcla de ellas son llamadas aguas residuales (Norm-001-Semarnat, 1996). Ya que cualquier comunidad humana debe finalmente regresar sus desechos líquidos a un cuerpo de agua receptor, la contaminación de los cuerpos de agua (subterráneos o de superficie) se produce cuando, las descargas de aguas residuales alcanzan los cuerpos naturales de agua mediante el drenaje o a través del alcantarillado. De esta manera el término contaminación del agua puede ser definido como la acción y el efecto de introducir materias o formas de energías, o inducir condiciones en el agua, que de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con los usos posteriores o con su función ecológica (Metcalf, *et al.* 2002). Es crucial mantener la calidad de las aguas naturales lo mejor posible, con el fin de conservar su función ecológica o poder darle un uso posterior.

El agua residual doméstica es una combinación excreta (heces y orina) animales y humanas con aguas grises resultantes del lavado, bañado y cocinado. Las personas excretan 100-500 g en peso húmedo de

heces y entre 1 a 1.3 l de orina per cápita por día, contribuyendo con 15 a 20 g de la demanda bioquímica de oxígeno al quinto día (DBO5) por día (Bitton, 2005).

### **2.2.2. Nutrientes en las aguas residuales domésticas**

Los nutrientes forman parte de la composición química de cualquier agua residual doméstica. Los nutrientes son elementos indispensables que pueden ser asimilados y metabolizados para el crecimiento de los organismos vivos. Los principales nutrientes o llamados macronutrientes son C, N, O, P y se requieren en grandes cantidades. Estos nutrientes se encuentran en forma de compuestos. Los compuestos que contienen cadenas de 2 o más átomos de carbono son llamados compuestos orgánicos y constituyen la llamada materia orgánica (MO). Los compuestos orgánicos asimilables por los organismos son los llamados nutrientes orgánicos. Los compuestos que no contiene carbono como los formados por moléculas con nitrógeno y fósforo que son asimilables por los organismos son llamados nutrientes inorgánicos (Madigan, 2004).

### **2.2.3. Indicadores de la Eutrofización**

Son parámetros químicos que proporcionan una alteración a ecosistemas acuáticos las cuales son ricas en nutrientes contribuyendo al cambio trófico del cuerpo del agua receptor (Moreno, 2010).

Los principales parámetros de análisis son los siguientes:

**Nitrógeno.** El nitrógeno existente en el agua es, habitualmente, consecuencia de una nitrificación del nitrógeno orgánico o proceden de la

disolución de los terrenos atravesados por el agua. Como contaminantes debido a actividades humanas provienen de contaminación orgánica o de la contaminación por abonos químicos. La eutrofización de aguas residuales. La descarga de nitrógeno a los cuerpos de agua receptores puede estimular el crecimiento masivo de algas y plantas por asimilación autotrófica.

**Fósforo:** El parámetro de la concentración de fósforo en aguas domésticas es fundamental para evaluar el riesgo de eutrofización. Este elemento suele ser el factor limitante en los ecosistemas para el crecimiento de los vegetales, y un gran aumento de su concentración puede provocar la eutrofización de los cuerpos de aguas. Así, los fosfatos están directamente relacionados con la eutrofización de ríos, pero especialmente de lagos y embalses. En lo referente a las aguas de consumo humano, un contenido elevado modifica las características organolépticas y dificulta la floculación - coagulación en las plantas de tratamiento (Moreno, 2010).

#### **2.2.4. Sistema de tratamiento de aguas residuales**

De acuerdo a la EPA (Environmental Protection Agency, 2000), los procesos que comprenden en el tratamiento de las aguas residuales encierran las siguientes fases:

**Recolección de las aguas residuales:** En zonas donde el incremento poblacional es constante y donde las condiciones topográficas

lo permiten, este proceso se permite a través de sistemas de alcantarillado (EPA, 2000).

**Pre tratamiento de las aguas residuales:** Consiste en retirar los sólidos de grandes tamaños, y en la mayoría de casos se realiza en estanques desarenadores. La finalidad es hacer más favorable el proceso de tratamiento biológico de aguas residuales (EPA, 2000).

### **2.2.5. Tratamiento de las aguas residuales**

El objetivo de las aguas residuales es remover sólidos, grasas, aceites y otros materiales flotantes o sedimentables para que el agua residual pueda ser tratada eficientemente y reutilizada o vertida sin ningún riesgo (EPA, 2000).

**Tratamiento primario:** En el tratamiento primario se elimina una fracción de los sólidos en suspensión y de la materia orgánica. Suele llevarse a cabo mediante sedimentación y tamizado. El efluente del tratamiento primario suele contener una cantidad considerable de materia orgánica y una DBO alta. Cabe destacar que, aunque en muchos lugares el tratamiento primario es el único que se le da al agua residual, este es únicamente un tratamiento previo al secundario (EPA, 2000).

**Tratamiento secundario convencional:** El tratamiento secundario esta principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a

menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento. Se llama tratamiento secundario convencional a la combinación de diferentes procesos para la eliminación de estos constituyentes, e incluye el tratamiento biológico con lodos activados, reactores de lecho fijo, los sistemas de lagunaje y la sedimentación (EPA, 2000).

### **2.2.6. Límites máximos permisibles para descarga de planta de tratamiento de aguas residuales**

Según, el Decreto Supremo N°003-2010-Minam, los límites máximos permisibles (LMP), se define como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida puede traer daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente.

**Tabla 1.** Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR

<b>Parámetros fisicoquímicos</b>	<b>Unidad</b>	<b>Datos generales</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/L	100
Demanda química de oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5-8.5
Sólidos totales en suspensión	(mL/L)	150
Temperatura	°C	<35

**Fuente:** Decreto supremo N°003-2010-Minam.

### **2.2.7. Tratamiento Biológico**

Según León y Lucero (2009), el tratamiento biológico se basa en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que la actividad microbiológica y plantas acuáticas actúan asociadas, en el proceso de depuración de las aguas disminuyendo los contaminantes. El tratamiento biológico incluye tres tipos: Lagunajes, humedales y cultivos acuáticos (Sistema de plantas acuáticas flotantes).

### **2.2.8. Sistema de plantas acuáticas flotantes**

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son una variación de los humedales artificiales en el que el agua está en contacto con la atmósfera y constituye la fuente principal de oxígeno para aireación; en la que se introduce un cultivo de plantas acuáticas flotantes como *Eichhornia Crassipes* y *Lemna sp*, cuya finalidad es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces que constituyen un buen sustrato responsable del tratamiento. Aunque una de las desventajas que presenta este tipo de sistemas es la proliferación de larvas e insectos (León y Lucero, 2009).

Para mejorar el tratamiento y asegurar el mantenimiento de las condiciones aerobias necesarias para el control biológico de los mosquitos, en los sistemas de plantas acuáticas flotantes se han empleado sistemas complementarios de aireación (León y Lucero, 2009).

Según Celis *et al.* (2005) los sistemas emplean plantas acuáticas como *Eichhornia Crassipes* de agua están diseñados para proporcionar

niveles de tratamientos secundarios. Estos sistemas han sido utilizados como medios de producción de proteínas para las grandes cantidades de biomasa que se generan.

En los últimos años el tratamiento de aguas residuales por medio de estanques con plantas acuáticas ha despertado un gran interés, por el potencial que han presentado para la depuración de las mismas. Algunos de estos sistemas han logrado proporcionar un tratamiento integral en donde no solamente se remueven eficientemente material orgánico y sólidos suspendidos, sino que también se logran reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y patógenos (García, 2012).

#### **2.2.9. Clases de plantas acuáticas**

Las plantas acuáticas son aquellas que requieren una gran cantidad de agua en sus raíces para vivir, crecen en medios muy húmedos y completamente inundados, básicamente tienen los mismos requerimientos nutricionales de las plantas terrestres. Se pueden clasificar en flotantes, sumergidas y emergentes (Caicedo, 1995 citado por León y Lucero, 2009).

**Flotantes:** Son aquellas que tienen sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes de agua sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos. Impiden la penetración de la luz evitando que crezcan algas en la profundidad. En las plantas flotantes podemos

encontrar al Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*); helecho de agua (*Salvinia sp* y *Azolla sp*), lechuga de agua (*Pistia sp*) y lentejas (*Lemna sp*; *Wolffia sp* y *Wolffiella sp*) (Garcia, 2010).

**Sumergidas:** Son aquellas que no flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua o arraigadas en el fondo. Sirven principalmente para oxigenar el agua y nunca se las encuentra en sitios donde existen plantas flotantes, debido a que estas impiden el ingreso de luz y las plantas sumergidas dejarían de realizar la fotosíntesis (León y Lucero, 2009).

**Emergentes:** Estas plantas crecen enraizadas en el fondo y sus hojas sobresalen de la superficie del agua, entre las más comunes para América del Sur se encuentran el carrizo (*Phragmites sp*), junco (*Juncus sp*) y la espadaña (*Typha sp*); estas especies de plantas son más usadas en humedales artificiales en los que adiciona un medio de soporte para el enraizamiento de las mismas (León y Lucero 2009).

#### **2.2.10. Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento**

Según León y Lucero (2009) las plantas juegan un papel fundamental en estos sistemas siendo sus principales funciones:

- Airear el sistema radicular y facilitar oxígeno a los microorganismos que viven en la rizósfera.
- Absorción de nutrientes (nitrógeno y fósforo).

- Eliminación de contaminantes asimilándolos directamente en sus tejidos.
- Filtración de los sólidos a través del entramado que forma su sistema radicular.

### **2.2.11. Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales**

Se han estudiado distintas plantas acuáticas en sistemas de depuración de aguas residuales, algas u otras sumergidas, con vistas a explorar su posible valor; sin embargo las plantas acuáticas flotantes como la lenteja de agua o Lemna (*Lemna* spp), azolla (*Azolla* spp) y Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) son las que han sido evaluadas con más intensidad en el trópico como posibles integrantes de sistemas de recirculación de nutrientes a través de su cultivo en estanques cargados con efluentes provenientes de biodigestores anaeróbicos, en lagunas, o simplemente colectadas en su medio natural (García, 2012).

#### **2.2.11.1. Aspectos Generales de *Lemna minor* (Lenteja de Agua)**

Demitri (2004), indica que la lenteja de agua es una planta flotante aérea reunida en número de 2-4 orbiculares de 3,5 a 6 mm de largo por 2,5 - 5 mm de ancho, parte superior o inferior plana, raíces sin ramificaciones, se reproducen de forma vegetativa.

Wetzel (1981), describe a la *Lemna minor* como plantas que en su mayor parte de las hojas flotantes tienen poco tejido lignificado, la rigidez

y flotabilidad de sus hojas son mantenidas por la turgencia de sus células vivas y por el gran desarrollo del tejido lagunar del mesófilo (muchas veces más del 70% del volumen está ocupado por aire, su propagación es vegetativa, que da lugar a nuevas rosetas. Las macrofitas juegan un papel importante en el flujo de energía y los ciclos de nutrientes en los sistemas lacustres. Durante la fotosíntesis son capaces de incorporar energía en forma de materia orgánica y durante este proceso toman nutrientes del agua y de manera importante fósforo y nitrógeno. Por otra parte debido a la captación de nutrientes, modificaciones del medio circundante o por liberación de sustancias antibióticas, son capaces de inhibir el crecimiento y reproducción de otros organismos, entre los que se cuentan algas microscópicas y grupos bacterianos. El fósforo y algunas formas químicas del nitrógeno son considerados contaminantes cuando se presentan en el agua en concentraciones elevadas, su presencia favorece el crecimiento de fitoplancton y la proliferación de organismos potencialmente patógenos por lo que es deseable disminuir su concentración y para esto se han desarrollado diferentes métodos de tratamiento que incluyen procedimientos químicos y biológicos.

Haustein (2002), dice que las lentejas de agua se encuentran restringidas a hábitats resguardados y bordeando los ríos de flujo lento, en las zonas bien abrigadas y particularmente en la Bahía interior de Puno. Se encuentran también donde los totorales son muy densos. En las condiciones ideales de protección, ellos pueden constituir un lecho plurilaminar de 0,5 a 1 cm. de espesor y son a veces mezclados y otros separados.

Palacios (2011), argumenta que la totalidad de nutriente que absorben estas plantas proviene del lago; la mayoría de estos micrófitos se encuentran en aguas ricas en sales disueltas, aguas servidas, con alto contenido de nutrientes, a la que mediante investigaciones se le consideró como un indicador de la contaminación y/o eutrofización de aguas.

### 2.2.11.2. Ubicación Taxonómica

Collot (2004) dice que la *Lemna minor* o lenteja de agua tiene la siguiente ubicación taxonómica.

**Tabla 2.** Taxonomía de la especie Lenteja de agua (*Lemna minor*).

Reino	Vegetal
Sub reino	Fanerogamae
División	Angiospermae
Clase	Monocotiledóneas
Orden	Espatífloras
Familia	Lemnaceae
Genero	Lemna
Especie	<i>Lemna spp.</i>
Nombre Común	Lenteja de agua

Fuente: León y Lucero, 2009.



Fuente: Jaramillo y Flores, 2012.

**Figura 1.** Planta acuática Lenteja de agua (*Lemna minor*).

### 2.2.11.3. Aspectos generales de *Eichhornia crassipes* o Jacinto de agua

Pertenece a la familia *Pontederiaceae*, es una macrofita acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce (Camacho y Ordoñez 2008). Puede vivir en aguas dulces tranquilas o de ligero movimiento, como zanjas, canales, presas, arroyos, ríos y pantanos; es considerado como la maleza acuática. Se originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo (Jaramillo y Flores, 2012). Tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30 °C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15 °C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, retienen en sus tejidos metales pesados (Cd, Hg, As).

Además, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Metcalf y Eddy, 1995 citado por Celis, *et al.* 2005).

**Tabla 3.** Taxonomía de la especie Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

Reino	Planta
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Commelinales
Genero	Eichhornia
Especie	<i>E. crassipes</i> .
Nombre Común	Jacinto de agua

**Fuente:** León y Lucero, 2009.



Fuente: Jaramillo y Flores, 2012.

**Figura 2.** Planta acuática Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

#### **2.2.11.4. Factores reguladores del crecimiento**

Ciertas condiciones ambientales, como la luz, temperatura, pH, entre otras pueden afectar el crecimiento y la asimilación de los nutrientes por parte de las plantas acuáticas, necesitándose más nutrientes cuando la luz y la temperatura son menores a los valores óptimos para su crecimiento (Stevenson, 1996).

La luz es la fuente de energía que lidera las reacciones fotosintéticas, por lo que la calidad, cantidad y fotoperiodo deben ser considerados al trabajar con plantas acuáticas ya que estas características varían de acuerdo al tipo de microalga a ser cultivada afectando al crecimiento y a la síntesis de compuesto orgánicos como lípidos, carbohidratos, proteínas, entre otros. Asimismo, si la intensidad de la luz es muy fuerte puede darse el efecto de fotoinhibición, ocasionando,

entre otros efectos, disminución en el crecimiento (Barsanti, 2006).

La temperatura también regula el metabolismo de las plantas acuáticas, así como también la composición de la biomasa y la velocidad de crecimiento, siendo el rango óptimo para la mayoría de las plantas acuáticas, entre 18 y 22 °C (FAO, 2008). Con respecto al pH, el rango óptimo de la mayoría de las plantas acuáticas se encuentra entre 7 y 9 (FAO, 2009), siendo soportables valores mayores a éstos, ya que valores ácidos generalmente causan muerte de las microalgas (Richmond, 2004). También afecta a la solubilidad de varios compuestos en el medio de cultivo, por lo que a un pH elevado disminuye la asimilación de ciertos metales traza. Diversos valores de pH ocasionan disociación de ciertas sales en sus componentes, pudiendo estos últimos tener efecto tóxico o inhibitorio para el crecimiento plantas acuáticas (Gonzales, 2000).

La turbulencia en el medio de cultivo es de gran relevancia ya que permite una distribución homogénea de las plantas acuáticas en su medio, facilita la asimilación de nutrientes y captación de la luz, mejora el intercambio gaseoso y posee función termoreguladora. La salinidad regula el crecimiento principalmente en base a la ósmosis, siendo muy variable entre microalgas y puede ocasionar efectos letales en el cultivo (González, 2000).

Dentro de los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas acuáticas, se destaca el nitrógeno, fósforo y potasio, cuya fuente principal es el dióxido de carbono, el cual representa aproximadamente el 50% en peso seco de las plantas (Chisti, 2009). El nitrógeno representa el 7-10% en peso seco y forma parte de moléculas esenciales como

proteínas, clorofila, ácidos nucleicos, entre otros. El fósforo también es otro macronutriente importante que interviene en los procesos metabólicos para un crecimiento y desarrollo normal de las microalgas, generalmente constituye el 1% en peso seco. Otros macronutrientes son el azufre, potasio, sodio, hierro, magnesio y calcio; mientras que los elementos trazan pueden ser boro, cobre, manganeso, zinc, molibdeno, cobalto, vanadio y selenio (Richmond, 2004).

La concentración de los nutrientes en el medio de cultivo también regula el metabolismo y la composición de la biomasa de las plantas acuáticas, siendo conocidas las deficiencias de nitrógeno que provoca un aumento en la síntesis de lípidos o la deficiencia de fósforo un aumento en carbohidratos, sin embargo no siempre ocurre esto y los efectos son muy variados por lo que no es posible generalizar este comportamiento en todas las plantas acuáticas (Richmond, 2004). A pesar de contar con rangos óptimos para los factores de crecimiento, es necesario estudiar las interacciones de los mismos y sus efectos sobre una determinada en plantas acuáticas.

### **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

#### **- Aguas residuales domésticas**

Se define como las aguas procedentes de los vertidos de las actividades humanas. Su composición es muy variable dependiendo del uso que se le dé, a su vez estas pueden clasificarse en:

- **Aguas de cocina**

(Sales, materia, grasa, sólidos etc.). Aguas blancas de baño y lavado (jabones, detergentes, líquido de limpieza etc.) (Fidel, 2012).

- **Aguas negras**

Procedente de la defecación del ser humano. Para definir el sistema de depuración a aplicarse es necesario conocer la composición del agua residual y los parámetros de contaminación (Máximo, 2012).

- **Cuerpo receptor de agua dulce**

Se define como todo río, lago, laguna, aguas subterráneas, cauce, depósito de agua, corriente, zona marina, estuarios, que sea susceptible de recibir directa o indirectamente la descarga de aguas residuales (Muñoz, 1996).

- **Eutrofización**

Se define como el enriquecimiento excesivo de los elementos nutritivos del agua, que da lugar a una serie de cambios sistemáticos indeseables, entre ellos la producción perjudicial de algas y otras plantas acuáticas, el deterioro de la calidad de agua, la aparición de malos olores y sabores desagradables y la muerte de peces en el cuerpo de agua. La floración excesiva de algas y plantas acuáticas es un fenómeno visible que puede complicar considerablemente la utilización y la calidad estética de las masas de agua (García, 2012).

- **Fósforo**

Es importante en el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales y de escorrentía natural.

Las aguas residuales deben contener entre 4 y 12 mg/L de fósforo expresado como compuestos fosfatados (García, 2012).

- **Límites máximos permisibles**

Se define como la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos, y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible por el MINAM y los organismos que conforman el sistema de gestión ambiental (MINAN, 2010).

- **Nitrógeno**

Es un nutriente esencial para el crecimiento de algas y plantas en el agua. El nitrógeno total está compuesto por nitratos, nitritos, nitrógeno amoniacal y nitrógeno orgánico. El nitrito no debe exceder de 1 mg/L en las aguas residuales y 0,1 mg/L en las aguas superficiales y subterráneas. Los nitritos son muy importantes en el estudio de aguas residuales, dada su toxicidad para gran parte de la fauna piscícola y demás especies acuáticas (Rojas, 2004 citado por

Londoño y Marín, 2009). En tanto los nitratos no deben superar los 45 mg/L en el agua potable dada sus graves y fatales consecuencias sobre los niños. Las concentraciones de nitratos en efluentes de aguas residuales pueden variar entre 0 y 20 mg/L, con valores típicos entre 15 y 20 mg/L (Metcalf y Eddy, 1995 citado por Londoño y Marín, 2009).

- **Normas Nacionales**

Para evitar consecuencias del uso del agua contaminada se ha ido ideando mecanismos de control temprano de la contaminación. Existen normas que establecen los rangos permisibles de contaminación, que buscan asegurar que el agua que se utiliza no sea dañina. Cada país debe tener una institución que se encargue de dicho control. La calidad del agua residual depende del uso de las aguas del cuerpo receptor al cual se vierte, o del uso directo de las aguas residuales tratadas. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

- **Normas para descargas de Aguas Residuales en el Perú**

Según el Ministerio del ambiente de acuerdo al Decreto Supremo N° 003-2010. Esta es una Norma ambiental en la que establece los Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales**

Se define como una Infraestructura y procesos que permiten la

depuración de aguas residuales, para su disposición final en un cuerpo receptor de agua (Morales, 2016).

- **Organismos Patógenos**

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente, pocos y difíciles de aislar e identificar. Por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismo indicador de contaminación. Los grupos de coliformes más estudiados en las aguas residuales son los totales y fecales o también llamado termotolerantes (Galvis y Rivera, 2013).

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se realizó en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología, perteneciente a la Universidad Nacional de Ucayali, a la Facultad de Ciencias de Salud, en el distrito de Callería, provincia de Coronel Portillo, departamento de Ucayali.

Las aguas residuales utilizadas en el presente estudio, tanto para la remoción del exceso de nutrientes, fueron obtenidas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado S.A, ubicada en el sector catorce del distrito de Manantay. Esta planta recibe las aguas contaminadas del sector nueve del Distrito de Manantay para someterlas a un pre- tratamiento a base de lagunas de oxidación, es un proceso natural de autodepuración, donde un proceso físico de remoción de materia suspendida. (Sedimentación) y proceso químico que mantiene las condiciones adecuadas para que los organismos puedan realizar la estabilización, transformación, y remoción de contaminantes orgánicos biodegradables (Emapacopsa, 2015).

Así mismo el Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) también se obtendrá la planta y la lenteja de agua (*Lemna minor*) del Parque Natural de Pucallpa.

### 3.2. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

En el presente estudio se utilizaron 2 métodos de investigación: Experimental y evaluación.

- **Experimental:** Debido a que en la presente investigación determino cuáles de las dos especies de plantas acuáticas remueve más rápido el exceso de nutrientes (nitrógeno y fósforo) en condiciones controladas Coral (2002).
- **Evaluación:** Debido a que los resultados obtenidos van a ser evaluados para solucionar el problema del exceso de nutrientes que causan la eutrofización en cuerpos receptores en cuerpos naturales, utilizando plantas acuáticas, así mismo estas plantas acuáticas tienen un tiempo de absorción a través de su metabolismo absorben nitrógeno y fósforo (Coral, 2002).

### 3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.3.1. Población

Para la ejecución del proyecto se tomó los afluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector nueve del distrito de Manantay, que tiene la siguiente Latitud: 8°25'49' y Longitud: 74°34'29' de ubicación, esta planta funciona bajo la tecnología de lagunas de oxidación, administrado por la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado S.A, lo cual poseen 4 lagunas primarias, de 120 metros de largo x 50 metros de ancho y 2.80 metros de profundidad por cada laguna, con una

velocidad de entrada de afluente de 10 l/s con una 1500 m<sup>3</sup> de volumen al día y 4 secundarias, 90 de largo x 30 metros de ancho y 1.5 metros de profundidad por cada una con una velocidad de salida del efluente de 5 l/s (Control de Calidad Emapacopsa, 2015).

### 3.3.2. Muestra

Los efluentes muestreados fueron tomados de las salidas de las lagunas 1 y 2, el día 10 de octubre del 2018 a las 11:00 am, debido a que las lagunas 3-4 son utilizadas para el tratamiento de aguas residuales de derivados de petróleo. Los análisis se realizaron consecutivamente una vez inmovilizado y sembrado las plantas acuáticas en los estanques de vidrio en el laboratorio a condiciones normales de temperatura, pH y oxígeno, para saber cuánto por día disminuye el exceso de nutrientes por un periodo de 10 días.

**Tabla 4.** Puntos de Muestreo

<b>Puntos de muestreo</b>	<b>Codificación</b>
Efluente de la laguna primaria 1 de oxidación	PM01
Efluente de la laguna primaria 2 de oxidación	PM02

## 3.4. PROCEDIMIENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

### 3.4.1. Sistemas de tratamiento

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó tres tratamientos de flujo discontinuo o también llamado por tandas; que constó de un estanque para cada sistema, el cual simuló a una laguna pequeña con

agua estancada.

En los sistemas se realizaron por triplicado con tres repeticiones de 10 días, con las siguientes cantidades de plantas; el primer sistema fue de 20, 40 y 60 plantas de Lenteja de agua (*Lemna minor*), el segundo sistema fue de 20, 40 y 60 plantas de Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el tercer sistema fue un estanque sin planta acuática al cual se le llamó control como se muestra en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Tratamientos aplicados en el proceso de aguas residuales.

N° DE TRATAMIENTO			COMPONENTES (Especies)
T1 =20	T2=40	T3=60	Estanque con <i>Eichhornia crassipes</i>
T1=20	T2=40	T3=60	Estanque con <i>Lemna minor</i>
T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	Estanque sin plantas acuática flotantes

Los estanques con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* se utilizaron como tratamiento secundario debido a que el agua residual primeramente fue tratada en un filtro de grava por motivos que contenían residuos orgánicos, bolsas y papeles.

### 3.4.2. Dimensionamiento de los sistemas

En el estudio de (Coral, 2002) el diseño de los sistemas que se establece cómo la relación (largo: ancho) de 10:1 para que el flujo del agua residual cumpliera la teoría del flujo pistón. Sin embargo, cuando el sistema de tratamiento es a nivel piloto, (García, 2012) estableció una

relación (largo: ancho) de 2,7; para que el flujo se aproxime a un pistón. Para determinar las dimensiones de los estanques, se estimó un volumen para los estanques de 80 litros (0,08 m<sup>3</sup>), altura de los estanques de 30 cm y un tiempo de retención hidráulica (TRH) de 10 días. (Ver anexo 1).

### **3.4.3. Construcción de los estanques**

Se construyeron 9 estanques de material de vidrio, para el tratamiento de las aguas residuales, con dimensiones (31,5 cm de ancho, 85,05 cm de largo y 30 cm de profundidad) y con una capacidad de almacenamiento de 80 litros.

### **3.4.4. Acondicionamiento del lugar**

El espacio que se acondicionó para la instalación de los sistemas de tratamiento y el desarrollo de esta investigación, se ubicó en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad Nacional de Ucayali.

### **3.4.5. Recolección de las especies de plantas acuáticas**

Las plantas de *Eichhornia crassipes*, y *Lemna minor* fueron recolectados de la planta de tratamiento de aguas residuales, de la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Coronel Portillo, ubicada en el sector 14, a temperatura promedio anual de 26 °C.

Las plantas recolectadas fueron sometidas a un período de aclimatación, para evitar que su crecimiento se vea afectado al momento

de ser trasplantadas al sistema piloto, por lo cual se destinó un tiempo de 5 días. El intervalo de tiempo propuesto para la aclimatación de las plantas se estimó tomando en consideración la investigación de (Leal, 2006).

#### **3.4.6. Instalación de los sistemas**

Se utilizó nueve (09) estanques de vidrio de las siguientes dimensiones: 30 cm de profundidad, 31,5 cm de ancho y 85,05 cm de largo. El volumen de los estanques fue de 80 litros (0,08 m<sup>3</sup>). Los estanques fueron alimentados del agua residual de la planta de tratamiento de aguas residuales del sector 14, hasta el 85% de su altura haciendo un volumen 76,5 litros (0,0765 m<sup>3</sup>), el cual fue previamente filtrado en un filtro de grava para quitar los residuos sólidos orgánicos, las bolas y papeles que contenía el agua.

Para la selección de las Macrofitas, se utilizó el método utilizado el método de (Lucero, 2009) que consistió en: Seleccionar los hijuelos de plantas de *Eichhornia crassipes* y las plantas más jóvenes que tienen color más verde de *Lemna minor*.

En la siembra de las Macrofitas, se utilizó el método utilizado por García (2012), que consistió en: Lavar las Macrofitas con agua corriente y colocarlos en los estanques hasta cubrir la mitad del área.

### **3.4.7. Instrumentos de recolección de datos**

#### **3.4.7.1. Materiales, herramientas y equipos de gabinete**

##### **Equipos**

- Laptop HP Core i5
- Calculadora
- USB 32GB

##### **Materiales**

- Lapicero
- Libreta
- Botellas de plástico
- Botellas de vidrio
- Grava
- Estanques de vidrio
- Marcador
- Cinta masking tape
- Papel toalla

##### **Herramientas**

- Machete
- Baldes de 80 litros

##### **Reactivos**

- Agua desionizada
- Alcohol etílico 90°

### **3.4.7.2. Materiales, herramientas y equipos de campo**

#### **Herramientas**

- Microsoft 2013
- ArcGis 10.3
- Autocad 2014.
- Pico
- Aplanador de concreto
- Nivel
- Balde y tina de plástico
- Cinta métrica
- Peceras de vidrio de capacidad de 80 litros
- Florescentes (Philips) de 30 watts

#### **Equipos**

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica
- Multiparámetro de nitrógeno y fósforo
- Turbidímetro
- Botellas Winkler
- Probetas
- Picetas
- Pipetas
- Tubos de vidrio
- Gradillas
- Cronómetro

- Celdas
- Filtro de membrana de vidrio
- Marcador
- Cinta masking tape
- Espectrofotómetro
- Balanza analítica
- Equipo de filtración
- Equipo de titulación graduado
- Estufa

#### **Insumos**

- Plantas acuáticas *Eichhornia crassipes*
- Plantas acuáticas *Lemna minor*

#### **3.4.8. Toma de muestra**

Según García (2012), recomienda tomar las muestras en las horas donde hay cambio de radiación y por lo tanto variación de la actividad fotosintética en el agua a tratar, todo esto involucra el grado de tratamiento en horas críticas.

Para determinar el horario de muestreo se tomaron las muestras y se realizó el análisis de DQO en las siguientes horas: 9:00, 12:00 y 16:00 horas; ya que según Madueño y Sandoval (2009) se debe elegir la hora donde existe un mayor valor de DQO, y en este caso será a las 9 de la mañana.

La temperatura y pH de las muestras se tomaron de forma inmediata. 50 ml de las aguas residuales se colocarán a 4 °C para el posterior análisis de los parámetros fisicoquímicos.

Se tomó, por triplicado, 240 litros de aguas residuales domésticas sometidas a pre-tratamiento de la salida de las lagunas de oxidación 1 y 2, del Sector Nueve del distrito de Manantay. Las muestras se pusieron en frascos de vidrio transparentes utilizados para trasladar las muestras al Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Universidad Nacional de Ucayali del distrito de Manantay, en donde se dejó en estantes de vidrio con fluorescentes (Phillips) de 30 watts cada uno, a una distancia de 30 cm y a temperatura ambiente. Dicha iluminación continua se mantuvo durante 10 días que duró la fase de remoción.

El efluente estancado fue cambiado cada 10 días según en tiempo de retención hidráulica elegida para esta investigación; y el periodo de muestreo fue cada primer día que se alimentó con agua residual los estanques (una muestra del efluente), luego se tomaron muestras diferentes para cada estanque al décimo día.

#### **3.4.9. Análisis de las muestras**

Los análisis para determinar la eficiencia y el comportamiento de los sistemas se realizaron en el laboratorio.

#### **Procedimiento en Campo**

Se utilizó un equipo multiparámetro para medir pH, conductividad, oxígeno disuelto y temperatura; además de un turbidímetro para la

medición de turbidez.

Los equipos que se utilizaron para la medición de estos parámetros son del Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Nacional de Ucayali.

### **Procedimiento en laboratorio**

Los análisis de los parámetros químicos como: Nitrógeno y fósforo, además de los parámetros microbiológicos se realizaron en el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad Nacional de Ucayali.

### **Tiempo de crecimiento**

El tiempo de crecimiento de las plantas es de 4 meses y se determinó mediante la biomasa (peso fresco y peso seco) se tomaron al inicio del ensayo tres muestras frescas de 5 g cada una; se llevaron a estufa por 24 horas a una temperatura de 85 °C para calcular el peso seco. Al final del ensayo se recolectó la totalidad de la biomasa en cada réplica de cada estanque y se realizó el procedimiento nuevamente, para determinar la ganancia de biomasa como peso fresco, el peso seco y el porcentaje de peso seco. Así mismo es una herramienta que permitió saber que tanto crecen las plantas de acuerdo a la biomasa.

#### **3.4.10. Tratamientos de los datos**

Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS versión 22,

mediante el cual se determinaron las diferencias significativas entre los tratamientos realizados a través del programa Anova en la etapa de remoción de nitrógeno, fósforo a escala de laboratorio al comparar los valores.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. CRECIMIENTO POBLACIONAL DE PLANTAS ACUÁTICAS *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*

El crecimiento de las plantas acuáticas emergentes *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* da como resultado que para los estanques número uno, para ambas especies la cantidad de muestras óptimas para crecimiento son 20 muestras de plantas, debido a que las especies necesitan un mayor ambiente para su crecimiento a diferencia de las demás peceras dos y tres que también crecieron no en las mismas magnitudes que la primera, esto se debe que a mayor cantidad de muestra necesitan un espacio mayor a un estanque de 80 litros de capacidad. Con un pH 7.01 para *Lemna minor* y 7.56 de pH de *Eichhornia crassipes* y un crecimiento de 3.1 cm de raíz para *Lemna minor* y 18 cm para *Eichhornia crassipes*.

**Tabla 6.** Crecimiento de plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*.

SISTEMAS DE TRATAMIENTOS - Longitud de raíces						
Plantas	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3
	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna minor</i>	<i>Eichhornia</i>	<i>Eichhornia</i>	<i>Eichhornia</i>
	20 número de plantas	40 número de plantas	60 número de Plantas	<i>crassipes</i> 20 número de plantas	<i>crassipes</i> 40 número de plantas	<i>crassipes</i> 60 número de plantas
1 mes	1 cm	1.3 cm	0.8 cm	5 cm	5 cm	3 cm
2 meses	1.3cm	1.8 cm	1 cm	9 cm	7 cm	5 cm
3 meses	2.4 cm	2.2 cm	1.7 cm	16 cm	14 cm	9 cm
4 meses	3.1 cm	3 cm	2.5 cm	18 cm	16 cm	13 cm

#### 4.2. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS ANALIZADOS EN EL LABORATORIO

**Tabla 7.** Promedio de los resultados por sistemas de estanques.

Sistemas de estanques								
Parámetros	Unidades	Datos	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3	Estanque 1	Estanque 2	Estanque 3
		iniciales	<i>Lemna</i>	<i>Lemna</i>	<i>Lemna</i>	<i>Eichhornia</i>	<i>Eichhornia</i>	<i>Eichhornia</i>
			<i>minor</i>	<i>minor</i>	<i>minor</i>	<i>crassipes</i>	<i>crassipes</i>	<i>crassipes</i>
			20 número de plantas	40 número de plantas	60 número de plantas	20 número de plantas	40 número de plantas	60 número de plantas
Turbiedad	UNT	80	52	34.5	26.25	22.34	18.21	13.26
pH	Potencial de hidrógeno	6.64	5.99	6.73	7.01	6.93	7.13	7.56
Sólidos suspendidos Totales	mg/l	110	91.75	69	41.23	54.32	32.33	25.13
Temperatura	°C	23	22.55	22.81	22.6	23.2	22.3	23.1
Oxígeno disuelto	mg/l	2.2	6.75	4.13	3.13	5.64	4.56	2.34
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	168	138.25	113.32	72.25	150.54	134.67	65.34
Demanda química de oxígeno	mg/l	350	339	264.25	190.75	249.25	215.32	89.65

Los parámetros analizados en el laboratorio nos dan como resultados que los estanques número tres tanto para *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor*, son buenos pero la que es más efectiva entre las dos especies es las *Eichhornia crassipes* con mejores resultados prometedores para remediar aguas contaminadas debido a que bajo hasta 25.13 mg/l los sólidos suspendidos totales y una turbiedad de 13.26 UNT como se observa en la tabla 7.

#### 4.3. PROMEDIO DE LOS RESULTADOS DE LOS PARÁMETROS DE REMOCIÓN DE NITRÓGENO Y FÓSFORO

**Tabla 8.** Parámetros de remoción de nitrógeno y fósforo.

Sistemas de Estanques									
Parámetros	Días	Unidades	Datos iniciales de nitrógeno y fósforo	Estanques 1	Estanques 2	Estanques 3	Estanques 1	Estanques 2	Estanques 3
				<i>Lemna minor</i> 20 número de plantas	<i>Lemna minor</i> 40 número de plantas	<i>Lemna minor</i> 60 número de plantas	<i>Eichhornia crassipes</i> 20 número de plantas	<i>Eichhornia crassipes</i> 40 número de plantas	<i>Eichhornia crassipes</i> 60 número de plantas
Nitrógeno		mg/l	0.35	0.28	0.18	0.11	0.25	0.15	0.09
Fósforo	5	mg/l	5	4.6	3.2	1.5	3.56	2.12	0.53

En la tabla 8 se observa cómo han comenzado los análisis de nitrógeno y fósforo con 0.35 mg/l, 5 mg/l respectivamente, para lo cual las peceras número tres de ambas especies tienen buenos resultados, pero la especie que remueve más el exceso de nutrientes causantes de la eutrofización en cuerpos de aguas naturales es la *Eichhornia crassipes* que removi6 en el mismo tiempo más nitr6geno con 0.09 mg/l y 0.53 mg/l de f6sforo.

#### 4.4. DISCUSIÓN

El crecimiento de las plantas acuáticas *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes*, tiene un periodo de aclimataci6n de 5 días, con un periodo de crecimiento de 4 meses de acuerdo al estudio en peceras de tandas, donde no es continuo si no se cambia el agua cada diez días. Así mismo Valderrama y Campos (2002), en su investigaci6n de *Lemna minor* y *Eichhornia crassipes* para tratar aguas residuales dom6sticas, tuvieron un periodo de crecimiento de 2 meses, a diferencia de Cevallos (2015) quien en su estudio utiliz6 plantas acuáticas para remediar aguas residuales pesqueras utilizando *Lemna minor* y *Salvinia*, con un periodo de crecimiento de 1 mes y medio. Por ende, Castro (2006), en su investigaci6n en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodr6guez Mendoza de Amazonas, utiliz6 el Jacinto de agua y lenteja de agua con un periodo de crecimiento de 1 mes.

En la remoci6n del exceso de nutrientes causante de la eutrofizaci6n de nitr6geno y f6sforo en el estudio resulta que disminuy6 para *Lemna minor* de 55% - 60%, y para *Eichhornia crassipes* fue de

70%-80%, Valderrama y Campos (2002) registra una disminución de 60% de nitrógeno y 90% para fósforo, pero Cevallos (2015), en su estudio de parámetros para el tratamiento de aguas residuales el nitrógeno disminuyó en un 78%, Panduro (2008), en su investigación denominado “Sistema de descontaminación de las aguas residuales mediante el uso de plantas acuáticas, en la provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, utilizó *Eichhornia crassipes* determinando una reducción de nitrógeno y fósforo en 78% y 80% en depuración en exceso de nutrientes.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- La remoción de nitrógeno y fósforo de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* es de 70%-80%, y 55%-60%, sucesivamente.
- El tiempo de crecimiento de las plantas acuáticas en condiciones controladas fueron de 4 meses, *Lemna minor* creció un total de 2,55 cm y *Eichhornia crassipes* 13 cm con un periodo de aclimatación de 5 días para ambas especies.
- El tiempo de remoción en condiciones controladas es de 5 días y la cantidad óptima es de 60 muestras para ambas especies. para la especie *Lemna minor* el nitrógeno comenzó con 0,35 mg/l y disminuyó hasta 0,11 mg/l, para el fósforo comenzó con 5 mg/l y bajó a 0,11mg/l. Por ende *Eichhornia crassipes* el nitrógeno comenzó con 0,35 mg/l disminuyó hasta 0,09 mg/l y el fósforo comenzó con 5 mg/l y descendió hasta 0,53 mg/l.

#### 5.2. RECOMENDACIONES

- Las muestras tienen que estar en ambientes controlados a temperatura de 22 a 23 grados centígrados en el laboratorio.
- Los materiales a utilizar tienen que estar debidamente esterilizados para evitar contaminar las muestras en el laboratorio.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Barsanti, G. (2006). Factores que influyen en el crecimiento de las plantas acuáticas.
- Bitton. (2005). Agua Residual Doméstica.
- Castro. (2006). Determinación de la Eficiencia del Jacinto del Agua y Lenteja de Agua. *UTRM*.
- Cevallos. (2015). *Remediación del Agua Residual Pecuaria*.
- Collot. (2004). Ubicación Taxonómica.
- Demitri. (2004). Lenteja de Agua.
- Emapacopsa. (2015). Aguas Residuales.
- Fidel, M. (2012). Aguas de Cocina.
- Flores. (2014). *Aplicación de Humedal Artificial con Macrofitas Flotantes en la Recuperación de las ARD*. San Martín.
- García. (2010). Plantas Flotantes.
- García, R. (2012). *Depuración de Aguas Servidas, Utilizando Especies acuáticas*. Moyobamba.
- García, Z. (2012). *Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas*. Lima.
- Gonzales. (2000). pH en las plantas Acuáticas.
- Haustein. (2004). *Lenteja de Agua Rrestringida*. Puno.
- Leal, G. (2006). Recolección de Especies Acuáticas.
- Lucero. (2009). Selección de Macrofitas.
- Madigan. (2004). Nutrientes en las Aguas Residuales Domésticas.
- MINAN. (2010). Límites Máximo Permisible.
- Morales, B. (2016). Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Moreno. (2010). Indicadores de la Eutrofización.

- Muñoz, H. (1996). Cuerpo Receptor de Agua Dulce.
- Palacios, L. (2011). Nutrientes.
- Panduro. (2008). *Sistema de Descontaminación de las Aguas Residuales Mediante el Uso de Plantas Acuáticas*. Ucayali.
- Richmond. (2004). Concentración de Nutrientes.
- Stevenson. (1996). Factores Reguladores del Crecimiento.
- Wetzel. (1981). Lemna minor.
- Aguilar, N. (2012). Determinación de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para agua apta para el consumo humano de Concepción Quezaltepeque, Chalatenango. San Salvador, El Salvador. Universidad de El Salvador, p. 36.
- British Columbia Ministry of Environment. 2003. Ambient Water Quality Guidelines for Chloride. Lands and Parks (BC MELP), p. 125-141.
- Brix, H. (1994). Use of constructed wetlands in water pollution control: *Historical development, present status, and future perspectives*. Water Science and Technology, p. 209-223.
- Caballero, Y. (2007). Potencial hidrobiológico y calidad de las aguas superficiales en la subcuenca del río Ochomogo. Managua, Nicaragua. Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua, p. 42.
- Camacho, J. y Ordoñez, L. (2008). Evaluación de la eficiencia de un sistema de recuperación de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* para el postratamiento del efluente del reactor anaerobio a flujo pistón de la Universidad Pontificia Bolivariana de Bucaramanga. Bucaramanga, Colombia. Universidad Pontificia Bolivariana, p. 27- 40.
- Celis, J., Junod, J. y Sandoval, M. (2005). Recientes aplicaciones de la

- depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. Vol. 14 (1). Chile, p. 17- 19.
- Coral, J. (2002). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el cultivo de Lenteja de agua (*Lemna sp.*) en la cuenca del lago San Pablo. Barra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte.
- García, Z. (2012). Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Lima, Perú. Universidad Nacional de Ingeniería, p. 9-16.
- Gurrola, N. (2013). Congreso Nacional de Ciencias Ambientales. *Int. Contm. Ambie*, p.443.
- Haustein, A. (2004). Estudio de la Lenteja, de Agua en Aguas Servidas. Investigación y monitoreo de la cuenca de los ríos Carabaya Ramis y Cabanillas en el sector Nor Oeste del Lago Titicaca Universidad Nacional Agraria La Malina Facultad de Ciencias Forestales. Lima-Perú.
- Jaramillo, M. y Flores, E. (2012). Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales *Lemna minor* (Lenteja de agua), y *Eichornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Cuenca, Ecuador. Universidad Politécnica Salesiana, p.40.
- León, M. y Lucero, A. (2009). Estudio de *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Cantón Cotacachi. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte, p. 29-37.
- Santana, M. (2010). Diagnóstico de la contaminación por aguas residuales domésticas, cuenca baja de la quebrada la Macana, San Antonio de

- Prado, Municipio de Medellin.
- Londoño, L. y Marín, C. (2009). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética. Pereira, Colombia. Universidad Tecnológica de Pereira, p. 14- 29.
- Madueño, R. y Sandoval, J. (2009). Evaluación del uso de la planta acuática *Lemna* para determinar la eficiencia remoción de nutrientes a escala reactor del efluente de la laguna Secundaria de la Planta CITRAR. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental. Lima, Perú, p.125-125.
- Panduro, A. (2008). Sistema de descontaminación de las aguas residuales mediante el uso de plantas acuáticas, en la provincia de Coronel Portillo, Región Ucayali.
- Torres, J. (2007). La depuración y regeneración de las aguas mediante el Filtro de Macrófitas en Flotación. Artículo de investigación y desarrollo bajo tecnología FMF. ES. Bol 124p.
- Valderrama, I; Campos, C. (2002). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas.
- Valderrama, L. (2005). Las plantas acuáticas una alternativa para el tratamiento de aguas residuales. Bogotá, Colombia. Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental, p. 3-7.
- Valderrama, L., Campos, C. Velandia, S. y Zapata, N. (2002). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas (*E. crassipes*, *Lemna sp* y *L. Leavigatum*) en la remoción de indicadores de contaminación fecal en

aguas residuales domésticas.

Valero, M. (2006). Aplicación Tecnológica de las macrofitas a la depuración de aguas residuales con la ayuda de microorganismos. Bucaramanga, Colombia. Universidad Industrial de Santander, p. 42.

Rodríguez, C. (2001). Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas residuales. La Habana, Cuba. Instituto Superior Politécnico José A. Echevarría" (ISPJAE), p. 1-5.

Rodríguez, N. (2009). Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrofitas Acuáticas. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, España, p. 175-177.

Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. (1995). American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation. Washington, DC, USA

Biswas, A. (2010). Cambiar el paisaje global de la gestión del agua. Revista Mexicana p.12-15.

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. (2010). Aprueba Límites Máximos.

EPA (Environmental Protection Agency). (2000). Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. *Humedales de flujo libre superficial*. Washington, D.C.

Metcalf y Eddy Inc. (2002). Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Ed. Mc. Graw-Hill. España. 3 volúmenes.

Moreno Franco, D. (2010). Métodos para identificar, diagnosticar y evaluar el grado de eutrofia. Mexico.

NORM-001-SEMARNAT-(1996). Norma Oficial Mexicana que establece los

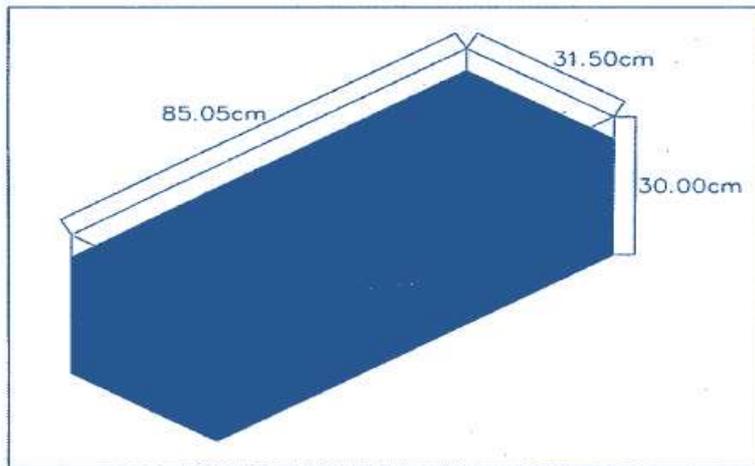
límites permisibles de contaminantes en las descargas residuales en aguas y bienes nacionales. Secretaria del medio ambiente, Recursos Naturales y pesca”, Diario oficial de la Federación México, DF.

Galvis, J. y Rivera, X. (2013). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PT ARI) de la Empresa Jugos Hit de la Ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, p.21-34.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### DIMENSIONAMIENTO DE LOS ESTANQUES PARA EL SEMBRÍO DE LAS ESPECIES



**Figura 3.** Dimensionamiento de los estanques.

$$V = a \times b \times h$$

$$V = a \times 2,7a \times 0,30m$$

$$V = 2,7a^2 \times 0,30m$$

$$2,7a^2 = V / 0,30m$$

$$2,7a^2 = 0,08m^3 / 0,30m$$

$$2,7a^2 = 0,27m^2$$

$$a^2 = 0,27m^2 / 2,7$$

$$a^2 = 0,099$$

$$a = 0,315 \text{ m}; 31,5 \text{ cm.}$$

$$b = 0,8505m; 85,05 \text{ cm.}$$

## ANEXO 2

### CONDICIONES DE CULTIVO DE PLANTAS ACUÁTICAS *Eichhornia*

#### *crassipes* y *Lemna minor*

Parámetros	Condiciones
Temperatura	24 °C
Luz	Fluorescentes de 30 watts
Iluminación	Continua-ciclo 24 horas
Agitación	Aireación constante

## ANEXO 3

### ANÁLISIS DE SPSS DE N Y P DE LAS PLANTAS ACUÁTICAS

<i>Eichhornia crassipes</i>			
Nutriente	Factor	F	P
	Remoción	69,7	<0.001**
	Remoción	79,4	<0.001**
	Crecimiento	69,9	<0.001**
<i>Lemna minor</i>			
Nutriente	Factor	F	P
	Remoción	54,3	<0.001**
	Remoción	59,7	<0.001**
	Crecimiento	64,5	<0.001**

Los asteriscos señalan factores altamente significativos (\*\*).

## ANEXO 4 CONSTANCIAS DE LABORATORIO



**SECCIÓN DE ANÁLISIS  
DE AGUAS Y ALIMENTOS**

### CERTIFICADO DE RESULTADO DE ANALISIS N° 34.03.07

Solicitante	Katia Lisbeth Quispe Benavides Marisol Kelly Ayala Amaringo
Tipo de muestra	Crecimiento de especies acuáticas con aguas residuales
Ingreso de muestra	12 de diciembre del 2018
Fecha de emisión de certificado	15 de enero 2019
Condición de almacenamiento	Condiciones controladas
Responsables	Carlos E. Gayoso Aguirre

### RESUMEN DE RESULTADOS DE CRECIMIENTO DE ESPECIES DE PLANTAS ACUATICAS

SISTEMAS DE TRATAMIENTOS- longitud de raíces						
Plantas	Estanque 1 Lemna Miñor 20 número de plantas	Estanque 2 Lemna Miñor 40 número de plantas	Estanque 3 Lemna Miñor 60 número de plantas	Estanque 1 Eichhornia Crassipes 20 número de plantas	Estanque 2 Eichhornia Crassipes 40 número de plantas	Estanque 3 Eichhornia Crassipes 60 número de plantas
1 mes	1 cm	1.3 cm	0.8 cm	5 cm	5 cm	3 cm
2 meses	1.3cm	1.8 cm	1 cm	9 cm	7 cm	5 cm
3 meses	2.4 cm	2.2 cm	1.7 cm	16 cm	14 cm	9 cm
4 meses	3.1 cm	3 cm	2.5 cm	18 cm	16 cm	13 cm

Nota :Las muestras fueron comparadas con los LMP para los efluentes de PTAR el D.S. N° 003-2010-Minam.



  
**Carlos E. Gayoso Aguirre**  
 BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO  
 C.O.P. 7151

CERTIFICADO DE RESULTADO DE ANALISIS No 34.03.07

Solicitante	Katia Lisbeth Quispe Benavides Marisol Kelly Ayala Amaringo
Tipo de muestra	Aguas residuales tratadas con especies acuáticas
Ingreso de muestra	12 de diciembre del 2018
Fecha de emisión de certificado	15 de enero 2019
Condición de almacenamiento	Condiciones controladas
Responsables	Carlos E. Gayoso Aguirre

RESUMEN DE RESULTADOS DE AGUAS RESIDUALES CON ESPECIES DE  
PLANTAS ACUATICAS.

Sistemas de peceras								
Parámetros	Unidades	LMP	Pecera 1	Pecera 2	Pecera 3	Pecera 1	Pecera 2	Pecera 3
			Lemna Minor	Lemna Minor	Lemna Minor	Eichhornia Crassipes	Eichhornia Crassipes	Eichhornia Crassipes
			20 número de plantas	40 número de plantas	60 número de plantas	20 número de plantas	40 número de plantas	60 número de plantas
Turbiedad	UNT	-	52	34.5	26.25	22.34	18.21	13.26
pH	Potencial de hidrogeno	6.5-8.5	5.99	6.73	7.01	6.93	7.13	7.56
Solidos suspendidos totales	mg/l	150	91.75	69	41.23	54.32	32.33	25.13
Temperatura	°C	< 35	22.55	22.81	22.6	23.2	22.3	23.1
Oxigeno disuelto	mg/l	-	6.75	4.13	3.13	5.64	4.56	2.34
Demanda bioquímica de oxigeno	mg/l	100	138.25	113.32	72.25	150.54	134.67	65.34
Demanda química de oxigeno	mg/l	200	339	264.25	190.75	249.25	215.32	89.65

Nota :Las muestras fueron comparadas con los LMP para los efluentes de PTAR el D.S. N° 003-2010-Minam.



SERVICIOS INTEGRALES  
**BIOVital** S.A.C.  
*Carlos E. Gayoso Aguirre*  
Responsable de Laboratorio

Jr. SINCHI ROCKA N° 243 - Almarinos - Huancayo / RUC: 20573110022 / Telef. #945649948

CERTIFICADO DE RESULTADO DE ANALISIS No 34.03.07

Solicitante	Katia Lisbeth Quispe Benavides Marisol Kelly Ayala Amaringo
Tipo de muestra	Aguas residuales tratadas con especies acuticas
Ingreso de muestra	12 de diciembre del 2018
Fecha de emisión de certificado	15 de enero 2019
Condición de almacenamiento	Condiciones controladas
Responsables	Carlos E. Gayoso Aguirre

RESUMEN DE RESULTADOS DE ANALISIS DE NUTRIENTES

Sistemas de estanques									
Parámetros	Días	Unidades	Datos iniciales de nitrógeno y fosforo	Estanques	Estanques	Estanques	Estanques	Estanques	Estanques
				1 Lemna Minor 20 número de plantas	2 Lemna Minor 40 número de plantas	3 Lemna Minor 60 número de plantas	1 Eichhornia Crassipes 20 número de plantas	2 Eichhornia Crassipes 40 número de plantas	3 Eichhornia Crassipes 60 número de plantas
Nitrógeno		mg/l	0.35	0.28	0.18	0.11	0.25	0.15	0.09
Fosforo	5	mg/l	5	4.6	3.2	1.5	3.56	2.12	0.53

Nota :Las muestras fueron comparadas con los LMP para aguas de consumo humano según el D.S. N° 031-2010-SA .



Carlos E. Gayoso Aguirre  
BIÓLOGO - MICROBIÓLOGO  
COP 7/101

**ANEXO 5**  
**PANEL FOTOGRÁFICO**



**Figura 4.** Toma de muestra de agua residual para el análisis en el laboratorio.



**Figura 5.** Cálculos de parámetros de la planta de tratamiento.



**Figura 6.** Recolección de plantas acuáticas.



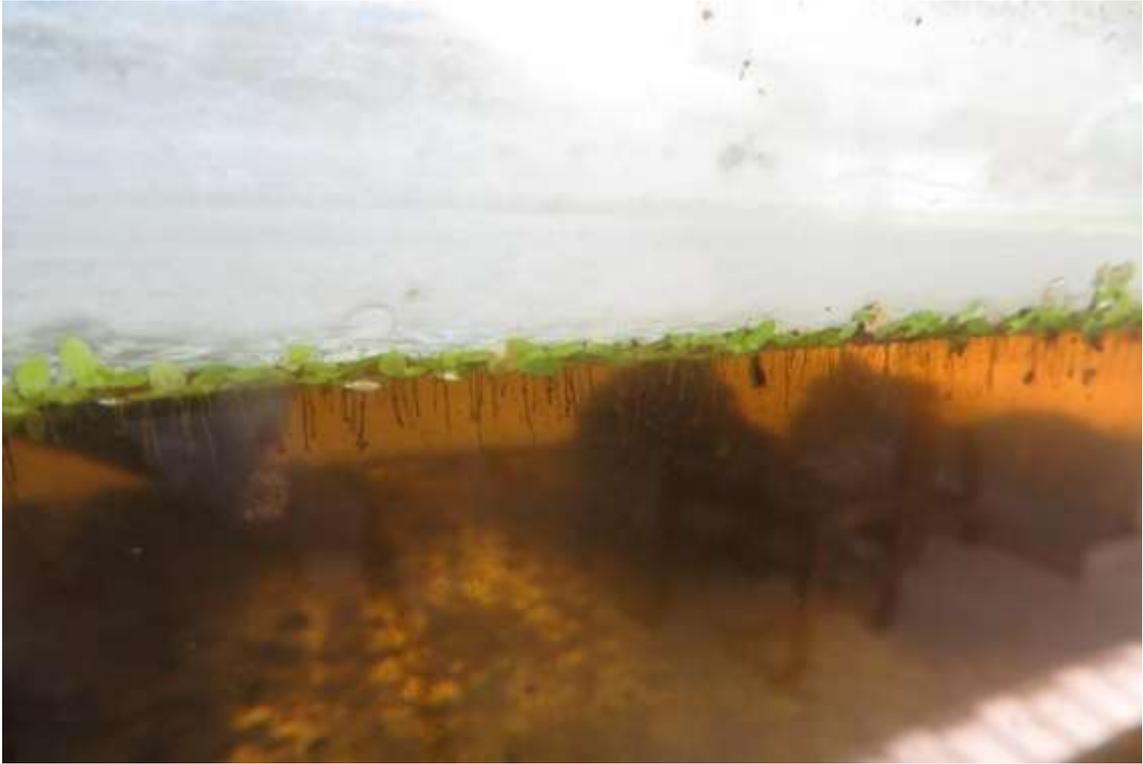
**Figura 7.** Sembrío de plantas acuáticas en las peceras *Lemna minor*.



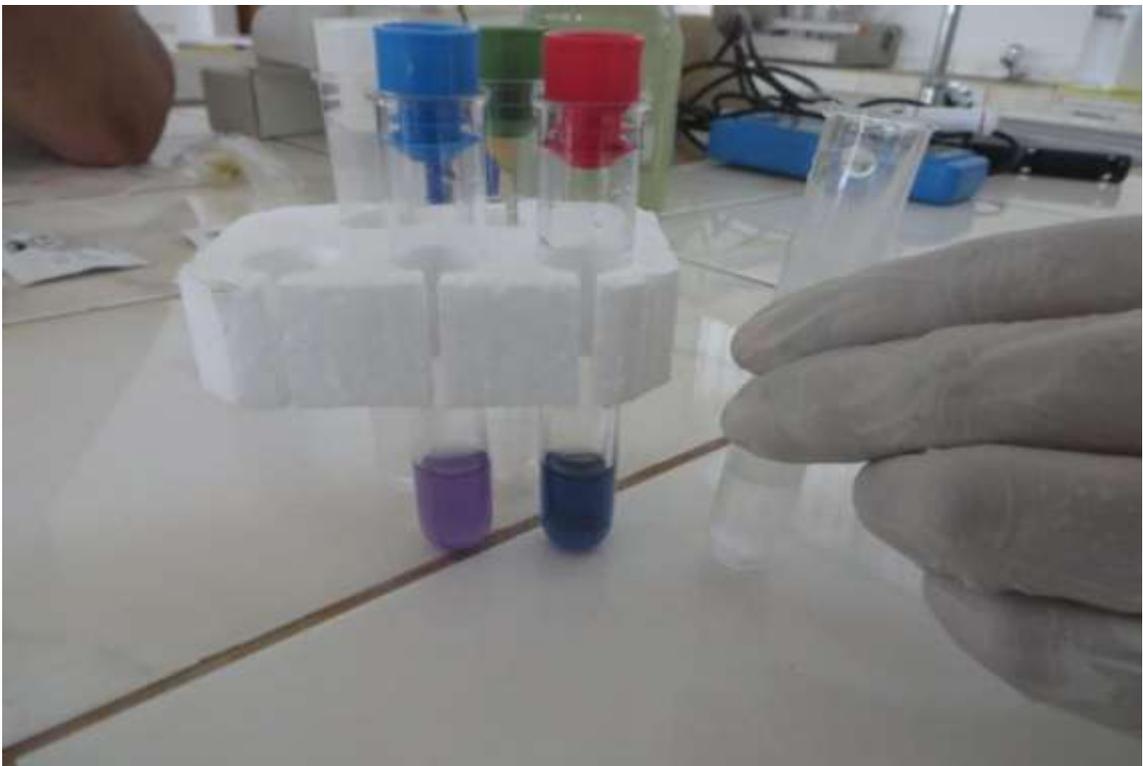
**Figura 8.** Sembrío de plantas en las peceras de *Eichhornia crassipes*.



**Figura 9.** Monitoreo de crecimiento de especies acuáticas.



**Figura 10.** Crecimiento de especies acuáticas *Lemna minor*.



**Figura 11.** Monitoreo de nitrógeno y fósforo.