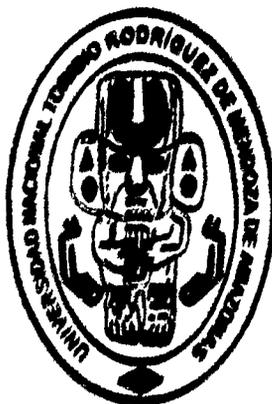


**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**"TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**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 - CHACHAPOYAS,  
2015**

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

**AUTOR:**  
**Bach. Elver Coronel Castro**

**ASESOR:**  
**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2016**



**UNIVERSIDAD NACIONAL  
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA  
DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**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 – CHACHAPOYAS,  
2015**

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

**AUTOR**

**Bach. Elver Coronel Castro**

**ASESOR**

**Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres**

**CHACHAPOYAS - PERÚ**

**2016**

## DEDICATORIA

*A mi Dios por hacerme existir, por su cuidado  
inmerecido y la fortaleza obsequiada para vencer  
los obstáculos*

*A mis Abuelos Noé Castro Arévalo y Edelmira  
Coronel Pérez, por brindarme su amor y el apoyo  
incondicional para lograr este reto.*

*A mi madre Nerly Castro Coronel, por darme la  
vida, y apoyarme económicamente para culminar  
mi carrera.*

*A mis hermanos Donalt, Jhohanen, Lindond,  
Linderd, Dennis, Mirela y Jordan, quienes me  
motivaron y fortalecieron cada día.*

*Elver Coronel.*

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por darme sabiduría para terminar mi carrera profesional y a mis abuelos Noé Castro Arévalo y Edelmira Coronel Pérez, quienes me apoyaron en cada momento.

A mi asesor Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres, por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo.

Al Blgo. Fernando Corroto de la Fuente coordinador del Laboratorio de aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva - INDES-CES de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por brindarme la facilidad para la realización de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos.

A los docentes miembros del jurado Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán, M.Sc. Edwin Díaz Ortiz y al Ing. Jorge Chávez Guivin por sus aportes y recomendaciones a fin de aclarar mejor las ideas y presentar un mejor trabajo.

A todos mis amigos que de una u otra forma me ayudaron en el presente trabajo de investigación.

## AUTORIDADES UNIVERSITARIAS

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

*Rector*

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

*Vicerrector académico*

Dr. MARIA NELLY LUJAN ESPINOZA

*Vicerrector de Investigación*

Dr. EVER SALOMÉ LÁZARO BAZÁN

*Decano de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental*

Dr. WAGNER GUZMÁN CASTILLO

*Director de Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental*

## VISTO BUENO DEL ASESOR

En mi calidad de docente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, yo Dr. Óscar Andrés Gamarra Torres, que suscribo, hago constar que he asesorado la ejecución y elaboración del informe de la tesis titulado “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– Chachapoyas, año 2015” del tesista, Elver Coronel Castro, egresado de la facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNTRM – Amazonas.

Chachapoyas, 05 de abril del 2016



---

DR. ÓSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

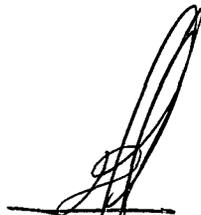
Asesor

**JURADO EVALUADOR**

A handwritten signature in black ink, consisting of several sharp, vertical strokes and a horizontal line, positioned above a horizontal line.

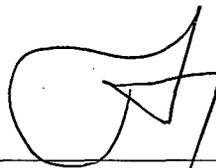
Dr. Ever Salomé Lázaro Bazán

*Presidente*

A handwritten signature in black ink, featuring a large, stylized loop and a vertical stroke, positioned above a horizontal line.

M.Sc. Edwin Adolfo Díaz Ortiz

*Secretario*

A handwritten signature in black ink, with a large, rounded loop and a vertical stroke, positioned above a horizontal line.

Ing. Jorge Chávez Guivin

*Vocal*

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
AUTORIDADES UNIVERSITARIAS.....	iii
VISTO BUENO DEL ASESOR.....	iv
JURADO EVALUADOR.....	v
DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO.....	vi
TABLA DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiv
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS.....	xv
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo general.....	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1. Aguas residuales.....	4
3.2. Clasificación de aguas residuales.....	4
3.2.1. Aguas blancas o de lluvia.....	4
3.2.2. Aguas residuales domésticas.....	4
3.2.3. Aguas residuales industriales.....	4
3.2.4. Aguas residuales agrícolas.....	4
3.2.5. Aguas residuales municipales.....	4
3.3. Constituyentes del agua residual doméstica.....	5

3.4.	Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	5
3.4.1.	Recolección de las aguas residuales. ....	5
3.4.2.	Pre tratamiento de las aguas residuales.....	5
3.4.3.	Tratamiento de las aguas residuales.....	5
3.5.	Tratamiento biológico.....	6
3.5.1.	Sistema de plantas acuáticas flotantes. ....	6
3.6.	Clases de plantas acuáticas.....	7
3.6.1.	Flotantes.....	7
3.6.2.	Sumergidas.....	8
3.6.3.	Emergentes.....	8
3.7.	Propiedades de las plantas acuáticas en sistemas de tratamiento.....	8
3.8.	Plantas acuáticas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales.....	8
3.8.1.	<i>Eichhornia crassipes</i> o Jacinto de agua.....	9
3.8.2.	<i>Lemna minor</i> o Lenteja de agua.....	10
3.9.	Parámetros que se analizan en las aguas residuales.....	10
3.9.1.	Sólidos suspendidos totales .....	10
3.9.2.	Temperatura.....	11
3.9.3.	Conductividad eléctrica .....	11
3.9.4.	Turbidez.....	11
3.9.5.	pH.....	11
3.9.6.	Oxígeno disuelto .....	12
3.9.7.	Cloruros .....	12
3.9.8.	Nitrógeno .....	12
3.9.9.	Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ) .....	13
3.9.10.	Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	13
3.9.11.	Fósforo .....	14
3.9.12.	Sulfatos .....	14
3.9.13.	Organismos patógenos.....	14
3.10.	Normas Nacionales.....	14
3.10.1.	Normas para descargas de aguas residuales en Perú .....	14
IV.	MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
4.1.	Área de estudio.....	16
4.2.	Materiales.....	17

4.2.1. Trabajos de gabinete.....	17
4.2.2. Trabajos en campo.....	17
4.2.3. Análisis en laboratorio.....	17
4.3. Metodología.....	19
4.3.1. Sistemas de tratamiento.....	19
4.3.2. Dimensionamiento de los sistemas.....	19
4.3.3. Construcción de los estanques.....	20
4.3.4. Acondicionamiento del lugar.....	20
4.3.5. Recolección de las especies de plantas acuáticas.....	20
4.3.6. Instalación de los sistemas.....	21
4.3.7. Toma de muestra.....	21
4.3.8. Análisis de las muestras.....	22
➤ Determinación de Solidos Suspendidos Totales (SST).....	23
➤ Determinación de Cloruros.....	24
➤ Determinación de Nitratos.....	24
➤ Determinación de Nitritos.....	25
➤ Determinación de Amonio.....	25
➤ Determinación de Fosfatos.....	25
➤ Determinación de Sulfatos.....	26
➤ Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	26
➤ Determinación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ).....	27
➤ Determinación de los Parámetros Microbiológicos.....	28
V. RESULTADOS.....	31
5.1. Análisis de remoción de contaminantes.....	31
5.2. Comparación de los tratamientos en la remoción de los contaminantes.....	33
5.2.1. Turbidez.....	33
5.2.2. Conductividad eléctrica.....	34
5.2.3. Sólidos suspendidos totales.....	34
5.2.4. pH.....	35
5.2.5. Nitratos.....	35

5.2.6. Nitritos .....	36
5.2.7. Amonio .....	36
5.2.8. Fosfatos .....	37
5.2.9. Sulfatos .....	38
5.2.10. Cloruros .....	38
5.2.11. Demanda bioquímica de oxígeno .....	39
5.2.12. Demanda química de oxígeno.....	39
5.2.13. Coliformes totales .....	40
5.2.14. Coliformes fecales .....	40
5.2.15. <i>Escherichia coli</i> .....	41
5.3. Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles.....	41
VI. DISCUSIÓN.....	44
VII. CONCLUSIONES .....	48
VIII. RECOMENDACIONES.....	49
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
ANEXOS.....	54

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 01:</b> Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR- Municipales.....	15
<b>Tabla 02:</b> Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales.....	19
<b>Tabla 03:</b> Metodología para análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	23
<b>Tabla 04:</b> Relación entre concentración de DQO y muestra a diluir.....	27
<b>Tabla 05:</b> Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	31
<b>Tabla 06:</b> Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Límites máximos permisibles.....	42
<b>Tabla 07:</b> Resultados de los parámetros analizados en campo.....	54
<b>Tabla 08:</b> Análisis de cloruros mediante titulación con $\text{AgNO}_3$ .....	55
<b>Tabla 09:</b> Análisis de los parámetros mediante el espectrofotómetro.....	56
<b>Tabla 10:</b> Análisis de demanda bioquímica de oxígeno mediante el método de dilución.....	57
<b>Tabla 11:</b> Análisis de sólidos suspendidos totales mediante el método gravimétrico.....	58
<b>Tabla 12:</b> Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio.....	59
<b>Tabla 13:</b> Resultados del análisis de los parámetros microbiológicos.....	60
<b>Tabla 14:</b> Análisis de Varianza de conductividad eléctrica.....	61
<b>Tabla 15:</b> Prueba de Tukey al 5% de conductividad eléctrica.....	61
<b>Tabla 16:</b> Análisis de Varianza de oxígeno disuelto.....	61
<b>Tabla 17:</b> Prueba de Tukey al 5% de oxígeno disuelto.....	62
<b>Tabla 18:</b> Análisis de Varianza de turbidez.....	62
<b>Tabla 19:</b> Prueba de Tukey al 5% de turbidez.....	62
<b>Tabla 20:</b> Análisis de Varianza de sólidos suspendidos totales.....	63
<b>Tabla 21:</b> Prueba de Tukey al 5% de sólidos suspendidos totales.....	63
<b>Tabla 22:</b> Análisis de Varianza de pH.....	63
<b>Tabla 23:</b> Prueba de Tukey al 5% de pH.....	64

<b>Tabla 24:</b> Análisis de Varianza de nitratos.....	64
<b>Tabla 25:</b> Prueba de Tukey al 5% de nitratos.....	64
<b>Tabla 26:</b> Análisis de Varianza de nitritos.....	65
<b>Tabla 27:</b> Prueba de Tukey al 5% de nitritos.....	65
<b>Tabla 28:</b> Análisis de Varianza de amonio.....	65
<b>Tabla 29:</b> Prueba de Tukey al 5% de amonio.....	66
<b>Tabla 30:</b> Análisis de Varianza de fosfatos.....	66
<b>Tabla 31:</b> Prueba de Tukey al 5% de fosfatos.....	66
<b>Tabla 32:</b> Análisis de Varianza de sulfatos.....	67
<b>Tabla 33:</b> Prueba de Tukey al 5% de sulfatos.....	67
<b>Tabla 34:</b> Análisis de Varianza de cloruros.....	67
<b>Tabla 35:</b> Prueba de Tukey al 5% de cloruros.....	68
<b>Tabla 36:</b> Análisis de Varianza de demanda bioquímica de oxígeno.....	68
<b>Tabla 37:</b> Prueba de Tukey al 5% de demanda bioquímica de oxígeno.....	68
<b>Tabla 38:</b> Análisis de Varianza de demanda química de oxígeno.....	69
<b>Tabla 39:</b> Prueba de Tukey al 5% de demanda química de oxígeno.....	69
<b>Tabla 40:</b> Análisis de Varianza de coliformes totales.....	69
<b>Tabla 41:</b> Prueba de Tukey al 5% de coliformes totales.....	70
<b>Tabla 42:</b> Análisis de Varianza de coliformes fecales.....	70
<b>Tabla 43:</b> Prueba de Tukey al 5% de coliformes fecales.....	70
<b>Tabla 44:</b> Análisis de Varianza de <i>escherichia coli</i> .....	71
<b>Tabla 45:</b> Prueba de Tukey al 5% de <i>escherichia coli</i> .....	71

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 01:</b>	Principales plantas acuáticas.....	7
<b>Figura 02:</b>	Taxonomía de la especie Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ).....	9
<b>Figura 03:</b>	Taxonomía de la especie Lenteja de agua ( <i>Lemna minor</i> ).....	10
<b>Figura 04:</b>	Mapa de ubicación de la UNTRM-A.....	16
<b>Figura 05:</b>	Dimensionamiento de los estanques.....	20
<b>Figura 06:</b>	Mapa de ubicación de los sistemas de tratamiento.....	72

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 01:</b>	Porcentaje de remoción de turbidez.....	34
<b>Gráfico 02:</b>	Porcentaje de remoción de conductividad eléctrica.....	34
<b>Gráfico 03:</b>	Porcentaje de remoción de SST.....	35
<b>Gráfico 04:</b>	Porcentaje de remoción de pH.....	35
<b>Gráfico 05:</b>	Porcentaje de remoción de nitratos.....	36
<b>Gráfico 06:</b>	Porcentaje de remoción de nitritos.....	36
<b>Gráfico 07:</b>	Porcentaje de remoción de amonio.....	37
<b>Gráfico 08:</b>	Porcentaje de remoción de fosfatos.....	37
<b>Gráfico 09:</b>	Porcentaje de remoción de sulfatos.....	38
<b>Gráfico 10:</b>	Porcentaje de remoción de Cloruros.....	38
<b>Gráfico 11:</b>	Porcentaje de remoción de DBO.....	39
<b>Gráfico 12:</b>	Porcentaje de remoción de DQO.....	39
<b>Gráfico 13:</b>	Porcentaje de remoción de coliformes totales.....	40
<b>Gráfico 14:</b>	Porcentaje de remoción de coliformes fecales.....	40
<b>Gráfico 15:</b>	Porcentaje de remoción de <i>esherichia coli</i> .....	41

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 01:</b>	Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	54
<b>Anexo 02:</b>	Prueba estadística de Tukey al 5% de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	61
<b>Anexo 03:</b>	Ubicación de los tratamientos.....	72
<b>Anexo 04:</b>	Trabajos realizados en campo.....	73
<b>Anexo 05:</b>	Toma de muestras y mediciones en campo.....	74
<b>Anexo 06:</b>	Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras en el laboratorio.....	75

## ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

<b>Fotografía 01:</b>	Instalación de los estanques.....	73
<b>Fotografía 02:</b>	Tres estanques de vidrio.....	73
<b>Fotografía 03:</b>	Recolección de <i>E. crassipes</i> .....	73
<b>Fotografía 04:</b>	Recolección de <i>L. minor</i> .....	73
<b>Fotografía 05:</b>	Llenado de los estanques con agua residual.....	73
<b>Fotografía 06:</b>	Estanques: Control, <i>E. crassipes</i> y <i>L. minor</i> .....	73
<b>Fotografía 07:</b>	Muestra de T-C para análisis fisicoquímico.....	74
<b>Fotografía 08:</b>	Muestra de T-E para análisis fisicoquímico.....	74
<b>Fotografía 09:</b>	Muestra de T-L para análisis fisicoquímico.....	74
<b>Fotografía 10:</b>	Muestra de T-E para análisis microbiológico.....	74
<b>Fotografía 11:</b>	Evaluación con los equipos de campo en el T-C.....	74
<b>Fotografía 12:</b>	Evaluación con los equipos de campo en el T-E.....	74
<b>Fotografía 13:</b>	Evaluación con los equipos de campo en el T-L.....	75
<b>Fotografía 14:</b>	Mediciones realizadas en campo.....	75
<b>Fotografía 15:</b>	Análisis de cloruros.....	75
<b>Fotografía 16:</b>	Análisis de DBO <sub>5</sub> .....	75
<b>Fotografía 17:</b>	Análisis de nitratos.....	76
<b>Fotografía 18:</b>	Análisis de amonio.....	76
<b>Fotografía 19:</b>	Lectura en el espectrofotómetro.....	76
<b>Fotografía 20:</b>	Análisis microbiológico.....	76

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

OD	: Oxígeno disuelto.
CE	: Conductividad eléctrica.
SST	: Solidos suspendidos totales.
DQO	: Demanda química de oxígeno
DBO	: Demanda bioquímica de oxígeno
CT	: Coliformes totales
CF	: Coliformes fecales
EC	: <i>Escherichia coli</i>
E	: Efluente
T-C	: Tratamiento sin planta acuática (control)
T-E	: Tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i>
T-L	: Tratamiento con <i>Lemna minor</i>
LMP	: Límite máximo permisible
PTAR-M	: Planta de tratamiento de aguas residuales municipales

## RESUMEN

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 depositaron 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%.

**Palabras claves:** Eficiencia, tratamientos, aguas residuales, plantas acuáticas flotantes, estanques, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, remoción, Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.

## ABSTRACT

In the present study the efficiency of water hyacinth (*Eichhornia crassipes*) and Duckweed (*Lemna minor*) in the treatment of wastewater from the National University Toribio Rodríguez de Mendoza of Amazon is determined. The pretreated in a gravel filter to trap solid waste existing wastewater were placed in three glass ponds *Eichhornia crassipes*, *Lemna minor* and control without aquatic plant wastewater. The time he spent wastewater in the ponds was ten days and effluent was changed four times. To determine the efficiency of removal of floating aquatic plants the concentration of the chemical and microbiological parameters analyzed wastewater that income to treatment and after ten days of stagnant. Resulting in the *Eichhornia crassipes* plant is more efficient in the treatment of wastewater from the National University Toribio Rodríguez de Mendoza of Amazon with an average percentage of removal of chemical and microbiological parameters of 88,24%, while *Lemna minor* obtained a average 81,24% removal.

**Keywords:** Efficiency, treatment, sewage, floating aquatic plants, ponds, chemical and microbiological parameters, removal, National University Toribio Rodríguez de Mendoza.

## I. INTRODUCCIÓN

El Perú hasta el 2012 descargaba 2.217.946 m<sup>3</sup> de aguas residuales al día, a la red de alcantarillado de las Empresas Prestadoras de Servicio, de los cuales solo 709.743 m<sup>3</sup> son tratados, siendo equivalente al 32% del total de aguas residuales generadas (OEFA, 2014) y según el Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA, 2014), hasta el 2012 solo realizaron tratamiento de sus aguas residuales 16 regiones del Perú, siendo las regiones de Ayacucho, Ica y Lambayeque las más eficientes, sin embargo 9 regiones no realizaron tratamiento alguno de sus aguas residuales, entre las que se encuentra la región Amazonas.

Las aguas residuales que se generan en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas son vertidas sin ningún tratamiento a una acequia, la cual va a desembocar en el río Sonche efluente del río Utcubamba.

Sin embargo es importante resaltar que en los últimos tiempos se ha encontrado en los humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes una alternativa de tratamiento de aguas residuales, debido principalmente a su elevada eficiencia en la remoción de materia orgánica, nutrientes y patógenos, lo que disminuye los posibles efectos adversos de los vertidos sobre los medios receptores. La depuración en dichos sistemas, se realiza mediante la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos; incluyendo la sedimentación, precipitación, adsorción a partículas del suelo, asimilación por el tejido vegetal y transformaciones microbiológicas (Secretaría de la convención de RAMSAR, 2004 citado por Londoño y Marín, 2009).

La depuración de aguas residuales con plantas acuáticas flotantes consiste en estanques o canales de profundidad que fluctúan entre los 0,4 a 1,5 m. Estos estanques son alimentados con agua residual, en los que se desarrolla una especie flotante. Algunas de las especies que se pueden utilizar son: *Eichhornia Crassipes*, *Lemna Minor* y *Azolla* (Metcalf y Eddy 1995 citado por Celis et al., 2005).

En el Perú se realizó un estudio en el Centro de Investigación en Tratamiento de Aguas Residuales y Residuos Peligrosos (CITRAR) de la Universidad Nacional de Ingeniería, donde se determinó que la especie más eficiente en la capacidad de depuración de nutrientes es *Eichhornia crassipes* siendo capaz de remover en un 100% de nitrógeno amoniacal. Mientras que la *Lemna minor* presentó remociones del 86% de este parámetro (García 2012).

Con este panorama y teniendo en cuenta los beneficios ecológicos, de salud pública y económicos de los humedales artificiales con plantas acuáticas flotantes en el tratamiento de aguas residuales, se realizó el presente estudio; el cual partió del siguiente problema: ¿Cuál será la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas?. Frente a ello se estableció la hipótesis donde el sistema de tratamiento con *Eichhornia crassipes* es el más eficiente en la remoción de contaminantes de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas.

## II. OBJETIVOS

Los objetivos de esta investigación fueron

### 2.1. Objetivo general

Determinar la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas – Chachapoyas.

### 2.2. Objetivos específicos

- Analizar la remoción de contaminantes de las plantas acuáticas en el tratamiento de las aguas residuales.
- Comparar la eficiencia de remoción de contaminantes entre las plantas acuáticas en el tratamiento de las aguas residuales.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales tratadas con lo establecido en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

### **III. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. Aguas residuales**

Son una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casas, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinada con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente (Miranda 2006 citado por García, 2012).

#### **3.2. Clasificación de aguas residuales.**

##### **3.2.1. Aguas blancas o de lluvia.**

Son aguas procedentes de los drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación (León y Lucero 2009).

##### **3.2.2. Aguas residuales domésticas.**

Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente (OEFA, 2014).

##### **3.2.3. Aguas residuales industriales**

Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras (OEFA, 2014).

##### **3.2.4. Aguas residuales agrícolas.**

Son aquellas aguas residuales que contienen sustancias de actividades agrícolas y ganaderas (agroquímicos, pesticidas, herbicidas, estiércol, etc.) (León y Lucero 2009).

##### **3.2.5. Aguas residuales municipales**

Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado (OEFA, 2014).

### **3.3. Constituyentes del agua residual doméstica.**

Los constituyentes encontrados en las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. De los constituyentes del agua residual, los sólidos suspendidos, los compuestos orgánicos biodegradables y los organismos patógenos son de mayor importancia, y por ello la mayoría de instalaciones de manejo de aguas residuales deben ser diseñadas para su remoción. Antes de considerar las características físicas, químicas y biológicas del agua residual, es conveniente tratar brevemente los procedimientos analíticos usados para la caracterización de las aguas residuales (García, 2012).

### **3.4. 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.

#### **3.4.1. 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).

#### **3.4.2. Pre tratamiento de las aguas residuales.**

Consiste en retirar los sólidos de grande 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).

#### **3.4.3. 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).

##### **a) 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 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).

#### **b) 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).

### **3.5. 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).

#### **3.5.1. 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 atmosfera 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).

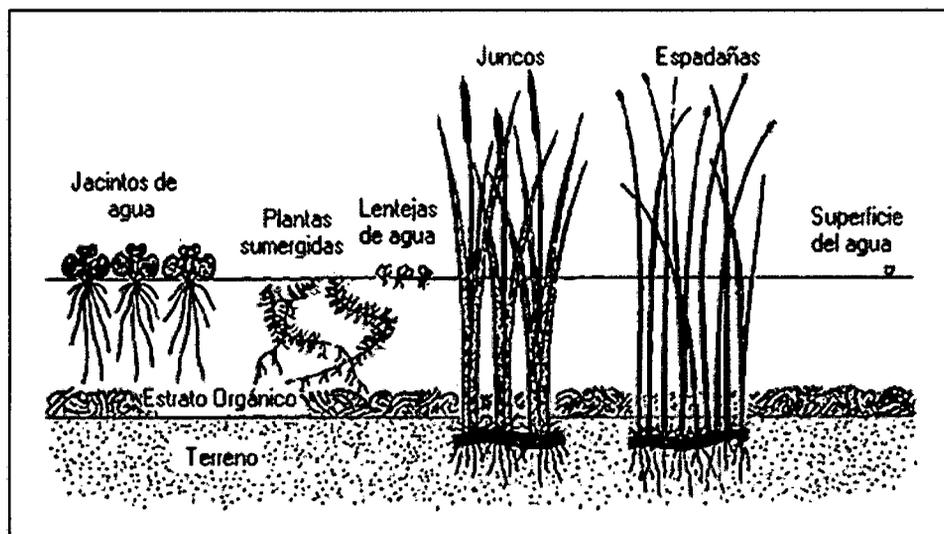
Según Celis *et al.* (2005) los sistemas emplean plantas acuáticas como *Eichhornia Crassipes* de agua están diseñados para proporcionar niveles de

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).

### 3.6. 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)



**Figura 01.** Principales plantas acuáticas

**Fuente:** García, 2008.

#### 3.6.1. 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*) (León y Lucero, 2009).

### **3.6.2. 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).

### **3.6.3. 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).

## **3.7. 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.

## **3.8. 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).

### 3.8.1. *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).

	Reino	: Plantae
	División	: Magnoliophyta
	Clase	: Liliopsida
	Orden	: Commelinales
	Genero	: Eichhornia
	Especie	: E. Crassipes

**Figura 02.** Taxonomía de la especie Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*).

**Fuente:** León y Lucero, 2009.

### 3.8.2. *Lemna minor* o Lenteja de agua

Pertenece a la familia *Lemnaceae*, es una planta acuática de agua dulce flotante, con uno, dos o tres hojas cada uno (frondes oblongas) con una sola raíz colgando en el agua. La raíz es de 1-2 cm de largo. (García 2012). Es una planta con distribución universal. Se ha encontrado en varias regiones de los hemisferios Norte y Sur, incluyendo América, Europa, Asia, Australia y Nueva Zelanda. Se encuentra principalmente en charcos de agua dulce, ciénagas, lagos y ríos calmados (Armstrong 2003 citado por Arroyave, 2004). La planta puede desarrollarse en un rango amplio de temperaturas, que varía entre 5°C y 30°C, con un crecimiento óptimo entre los 15°C y 18°C. Se adapta bien a cualquier condición de iluminación. Crece rápidamente en partes calmadas y ricas en nutrientes, con altos niveles de nitrógeno y fosfatos. Con frecuencia el hierro es un elemento limitante para su adecuado desarrollo. Pueden además tolerar un rango de pH amplio, siendo el óptimo entre 4,5 y 7,5 (Rook, 2002 citado por Arroyave, 2004).

	Reino	: Plantae
	División	: Fanerógamas
	Clase	: Liliopsida
	Orden	: Arel
	Genero	: Lemna
	Especie	: L. Minuta

Figura 03. Taxonomía de la especie Lenteja de agua (*Lemna minor*).

Fuente: León y Lucero, 2009.

## 3.9. Parámetros que se analizan en las aguas residuales

### 3.9.1. Sólidos suspendidos totales

Los sólidos suspendidos totales, son la materia suspendida presentes en las aguas. Nos indican la presencia de sustancias solubles e insolubles expresada en mg/L presentes en el agua. (Caballero, 2007).

### **3.9.2. Temperatura**

Es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles (Romero 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones cálidas la variación será de 13 a 30°C. La temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango 25 a 35°C (García, 2012).

### **3.9.3. Conductividad eléctrica**

Esta medida indica la facilidad con la que la corriente eléctrica pasa a través de agua residual. Puesto que el agua es muy mala conductora de la corriente eléctrica, las conductividades elevadas indican la presencia de y más concentraciones disueltas. En la actualidad es el parámetro más importante para determinar la posibilidad de uso de aguas para riego y es expresada en mS/cm (Camacho y Ordoñez, 2008).

### **3.9.4. Turbidez.**

Este parámetro se emplea para indicar la calidad de las aguas vertidas o de las aguas naturales en relación con la materia coloidal y residual en suspensión. La medición de la turbiedad se lleva a cabo mediante la comparación entre la intensidad de la luz dispersada en la muestra y la intensidad registrada en una suspensión de referencia en las mismas condiciones. (Standard Methods, 1989).

### **3.9.5. pH**

Es la medida de la concentración de ion hidrogeno en el agua. Aguas residuales en condiciones adversas del ion hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos. El pH óptimo de las aguas debe estar entre 6,5 y 8,5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento

mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de límites específicos de pH. (García, 2012)

#### **3.9.6. Oxígeno disuelto**

La presencia oxígeno disuelto en el agua es indispensable para la vida de peces y otros seres acuáticos, el problema es la baja solubilidad de este gas en el agua, además la cantidad de oxígeno en el agua depende de las condiciones ambientales, ya que su cantidad aumenta al disminuir la temperatura o aumentar la presión. No existe concentración mínima de O<sub>2</sub> que cause efectos adversos a la salud humana, pero si existe un límite en cuanto a O<sub>2</sub> que se requiere para sostener la vida de la fauna acuática. Se acepta que concentraciones de 5 mg/L son adecuadas para su desarrollo, en tanto que concentraciones menores a 3 mg/L pueden ser letales (García, 2012).

#### **3.9.7. Cloruros**

Generalmente los cloruros están presentes en aguas brutas y tratadas en concentraciones que pueden variar de pequeños trazos hasta centenas de mg/L. están presentes en formas de cloruros de sodio, calcio y magnesio. La máxima concentración permisible de cloruros en el agua potable es de 250 ppm, este valor se estableció más por razones de sabor, que por razones sanitarias (FUNASA, 2013).

#### **3.9.8. 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).

Por su parte los iones amonio tienen una escasa acción tóxica por sí mismo, pero su existencia aún en bajas concentraciones, puede significar un alto contenido de bacterias fecales, patógenas, etc. La formación de amonio se debe a su descomposición bacteriana de urea y proteínas, siendo la primera etapa del proceso de naturaleza inorgánica. Su concentración máxima en las aguas potables de consumo público es de 0.5 mg/l (García, 2012).

### **3.9.9. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO<sub>5</sub> es el parámetro más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido, estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua, diseñar unidades de tratamiento biológico, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras; el tiempo de incubación de la DBO generalmente es de 5 días y a 20 °C. Las concentraciones de DBO<sub>5</sub> en las aguas residuales varían entre 100 y 300 mg/L, pero los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no deben pasar los 100 mg/L de DBO, aunque la concentración más adecuada debe ser por debajo de 15 mg/L (Romero, 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

### **3.9.10. Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La DQO se emplea para medir el contenido de materia orgánica de las aguas residuales. Mide el oxígeno equivalente químicamente mediante un agente químicamente fuerte, por lo general dicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura. La DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales a la vida biológica. La concentración de DQO en los efluentes vertidos a los cuerpos de agua no debe sobrepasar los 200 mg/L, aunque para la óptima conservación de los ambientes acuáticos debe estar por debajo de los 40 mg/L (Romero, 2002 citado por Camacho y Ordoñez, 2008).

### **3.9.11. 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).

### **3.9.12. Sulfatos**

Los sulfatos se distribuye ampliamente en la naturaleza y puede presentarse en aguas naturales en concentraciones que van desde unos pocos a varios miles de miligramos por litro. La presencia de sulfato en el agua potable puede causar un sabor perceptible, según el tipo de catión asociado; se ha comprobado que los umbrales de sabor oscilan entre 250 mg/L (Aguilar, 2012).

### **3.9.13. 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).

## **3.10. 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.

### **3.10.1. Normas para descargas de aguas residuales en Perú**

Para el Perú existe el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, el cual fue aprobado el 17 de marzo del 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.

**Tabla 01:** Límites Máximos Permisibles para Efluentes de PTAR-Municipales.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	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	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: D.S N° 003-2010-MINAM

## IV. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Área de estudio

La presente investigación para la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales, empleando las plantas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lenteja de agua (*Lemna minor*) se desarrolló en el efluente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, en el sector Higos Urco, distrito de Chachapoyas, Provincia de Chachapoyas, departamento de Amazonas, en las coordenadas UTM 184271 Este y 9310292 Norte y a una altura de 2341 msnm.

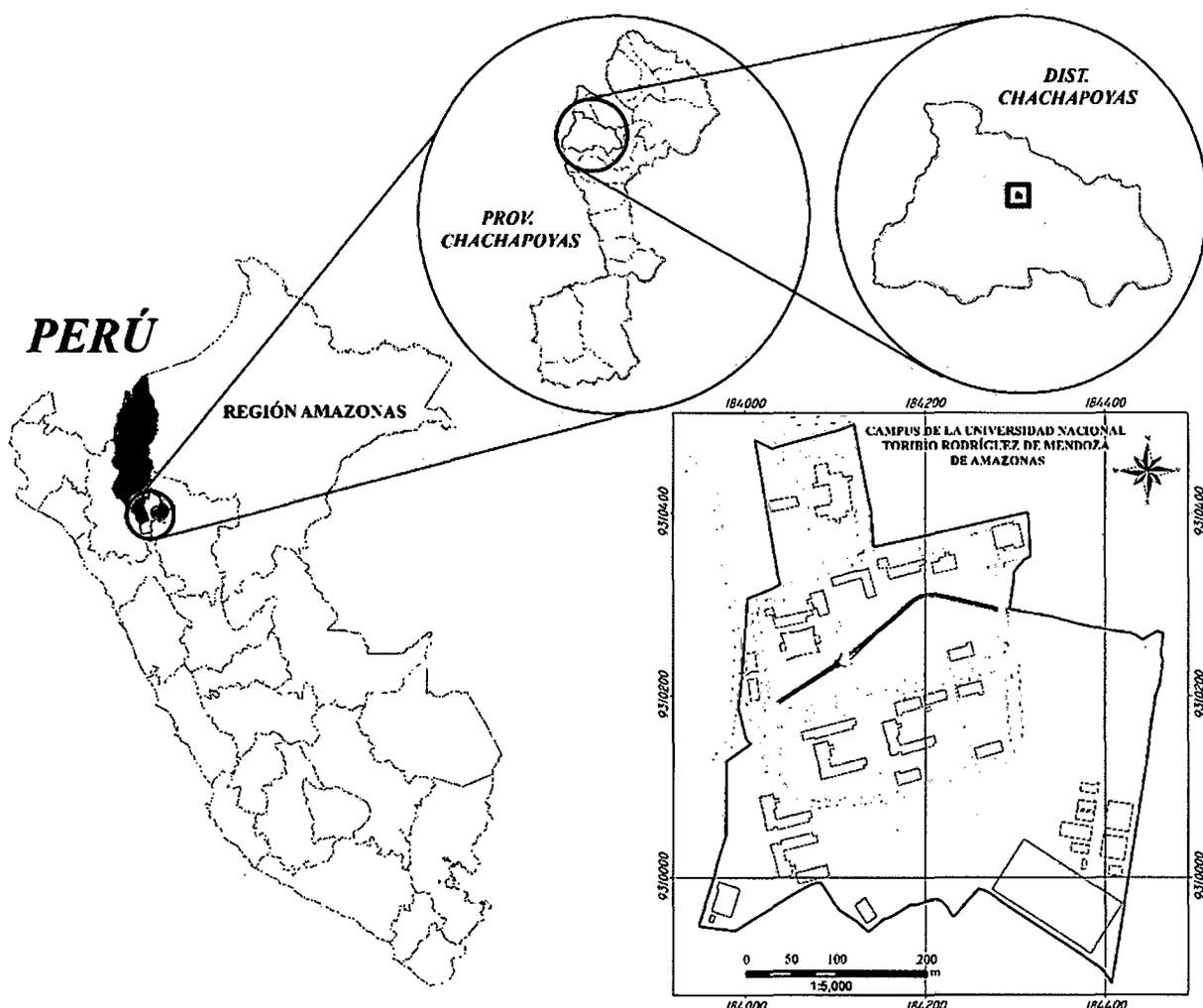


Figura 04: Mapa de ubicación de la Untrm.

## 4.2. Materiales

### 4.2.1. Trabajos de gabinete.

#### Equipos

- Laptop HP core i5
- Calculadora
- USB 32 GB

#### Softwares

- Microsoft 2013
- ArcGis 10.3
- Autocad 2014.

### 4.2.2. Trabajos en campo

#### Materiales

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

- Pico
- Aplanador de concreto
- Nivel
- Balde de plástico
- Tina de plástico
- Cinta métrica

#### Equipos

- Navegador GPS
- Cámara fotográfica
- Multiparametro
- Turbidimetro

#### Herramientas

- Machete
- Palana

#### Reactivos

- Agua desionizada
- Alcohol etílico 90°.

### 4.2.3. Análisis en laboratorio

#### a) Análisis fisicoquímico

#### Materiales

- Matraces Erlenmeyer
- Fiolas de 50 ml
- Vasos de precipitación

- Botellas Winkler
- Probetas
- Picetas
- Pipetas

- Tubos de vidrio
- Gradillas
- Cronometro
- Celdas
- Imanes
- Filtro de membrana de vidrio
- Marcador
- Cinta masking tape

#### **Equipos**

- Espectrofotómetro
- Balanza analítica
- Equipo de filtración
- Equipo de titulación graduado
- Estufa
- Digestor de DQO

#### **b) Análisis Microbiológico**

##### **Materiales.**

- Pipetas graduadas estériles de 10 ml
- Pipetas graduadas estériles de 1 ml
- Tubos de 10 x 10 ml estériles
- Pipeteador
- Placas Petri estériles
- Asas de siembra
- Mechero de alcohol
- Cinta masking tape
- Marcador

- Agitador magnético
- Aireador
- Oximetro

#### **Reactivos**

- Agua desionizada
- Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ )
- Indicador de Cromato de Potasio
- Nitriver 5
- Nitriver 3
- Phosver 3
- Indicador de tartrato de Sodio y Potasio al 50%
- Reactivo de Nessler
- Ácido Clorhídrico (HCl)
- Cloruro de Bario
- Reactivo de Digestión

- Campanas Durham

#### **Equipos**

- Estufa de cultivo a  $37\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Estufa de cultivo a  $37\text{ }^\circ\text{C} \pm 1\text{ }^\circ\text{C}$ .
- Campana de bioseguridad
- Autoclave.

#### **Medio de cultivo**

- Preparación de caldo Lauril Sulfato
- Preparación de caldo brilla
- Preparación de caldo EC
- Preparación de agar EMB

### 4.3. Metodología

La metodología de esta investigación constó de varias actividades que comprenden en los siguientes aspectos.

#### 4.3.1. Sistemas de tratamiento

Para el desarrollo de esta investigación se utilizó tres sistemas de tratamiento de flujo discontinuo o también llamado por tandas; que consta de un estanque para cada sistema, el cual simula a una laguna pequeña con agua estancada.

En estos sistemas se cultivó las plantas Lenteja de agua (*Lemna Minor*), Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y el tercer sistema consistió en un estanque sin planta acuática al cual se le llamó control como se muestra en la Tabla 02.

**Tabla 02:** Tratamientos aplicados en el proceso de tratamiento de aguas residuales

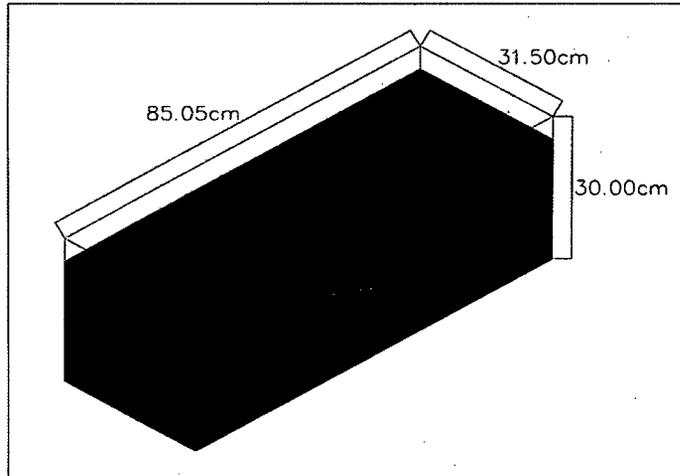
Nº DE TRATAMIENTO	COMPONENTES (Especies)
T1	Estanque con <i>Eichhornia crassipes</i>
T2	Estanque con <i>Lemna minor</i>
T3	Estanque sin plantas acuática flotantes

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.

#### 4.3.2. Dimensionamiento de los sistemas

En el estudio de Coral (2002) el diseño de los sistemas 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.



**Figura 05:** Dimensionamiento de los estanques

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

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

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

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

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

$$a^2 = 0,099$$

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

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

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

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

#### 4.3.3. Construcción de los estanques

Se construyeron 3 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 (Anexo 4, fotografías 1 y 2)

#### 4.3.4. Acondicionamiento del lugar

El espacio que se acondiciono para la instalación de los sistemas de tratamiento y el desarrollo de esta investigación, se ubicó a 50 metros de la descarga del efluente en investigación. Para acondicionar el espacio se tuvo que limpiar la vegetación y luego aplanar el lugar (Anexo 3, figura 7).

#### 4.3.5. Recolección de las especies de plantas acuáticas

Las plantas de *Eichhornia crassipes*, fueron colectados de un acuífero ubicado en la ciudad de Chachapoyas, ubicado a 2334 msnm a temperatura promedio anual de 18°C; sin embargo las plantas de *Lemna minor* fueron recolectados de la

Localidad de Pomacochas, distrito de Florida, ubicado a 84 km al norte de Chachapoyas donde se desarrolló esta investigación a una altura de 2150 msnm (Anexo 4, fotografías 3 y 4)

#### **4.3.6. Instalación de los sistemas.**

Se utilizaron tres (03) 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 Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas 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 por Lucero (2009), que consistió en: Seleccionar los hijuelos de plantas de *Eichhornia crassipes* y las plantas más jóvenes y 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.

#### **4.3.7. 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 muestras y se realizó 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 fue a las 9 de la mañana.

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, empezando el día 15/09/2015 y terminando el 28/10/2015.

Las muestras que se tomaron fueron muestras simples y se recogieron en envases de plástico para analizar los parámetros fisicoquímicos, mientras que para el análisis de los parámetros microbiológicos se utilizó botellas de vidrio debidamente esterilizadas proporcionadas por el Laboratorio de Aguas y Suelos del Instituto de la Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza (Anexo 5, fotografías 7, 8, 9 y 10).

#### **4.3.8. Análisis de las muestras**

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

##### **a) Mediciones en campo**

Se utilizó un equipo Multiparamétrico para medir pH, Conductividad, Oxígeno disuelto y Temperatura; además de un Turbidímetro para la medición de Turbidez (Anexo 4, fotografías 11, 12, 13 y 14).

Los equipos utilizados para la medición de estos parámetros son del Laboratorio de Aguas y Suelos del Instituto de la Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Estos parámetros se analizaron siempre que se tomaron muestras para analizar en el laboratorio.

##### **b) Análisis en laboratorio**

Los análisis de los parámetros fisicoquímicos como: Sólidos suspendidos totales, cloruros, nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos, demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), además de los parámetros microbiológicos se realizaron en el laboratorio de aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (IDES-CES) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (Anexo 6, fotografías 15, 16, 17, 18, 19 y 20).

La metodología que se empleó en los análisis de las aguas residuales para cada parámetro se especifica en la tabla 3.

**Tabla 03:** Metodología para análisis de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos

N°	PARÁMETROS	UNIDAD	METODOLOGÍA
1	Solidos suspendidos totales	mg/L	Gravimetría
2	Cloruros	mg/L	Titulación con AgNO <sub>3</sub>
3	DQO	mg/L	Digestión de Reactor
4	DBO <sub>5</sub>	mg/L	Dilución
5	N-Nitratos	mg/L	Reducción de Cadmio
6	N-Nitritos	mg/L	Diazonización
7	Amonio	mg/L	Nessler
8	Fosfatos	mg/L	Ácido ascórbico
9	Sulfatos	mg/L	Turbidimetría
10	Coliformes totales	NMP/100ml	Número más probable
11	Coliformes fecales	NMP/100ml	Número más probable
12	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	Número más probable

➤ **Determinación de Solidos Suspendidos Totales (SST)**

La concentración de SST se realizó mediante el Método: Gravimétrico, mediante el siguiente detalle.

Se tomó un filtro de membrana de vidrio y se colocó en el equipo de filtración al vacío, en seguida se colocó tres porciones de 20 ml de agua desionizada, luego se filtró el agua durante 5 minutos hasta dejar el filtro sin ninguna gota de agua y se puso a secar en una estufa durante 3 horas a 105°C.

Pasado las tres horas se pesó el filtro en una balanza analítica, luego se filtró 200 ml de la muestra hasta que no quede ninguna gota de agua en el filtro; se puso nuevamente a secar el filtro en la estufa durante 3 horas a 105°C y después se pesó el filtro en la balanza.

Para determinar la concentración de SST se reemplazó los datos del peso inicial y final en la siguiente fórmula

$$\text{ppm SST} = ((P_f - P_i) * 1000) / V$$

Dónde:

P<sub>i</sub> = peso del filtro seco en la estufa (mg).

OD<sub>f</sub> = peso del filtro + peso de los sólidos de la muestra seco en la estufa (mg).

V = Volumen tomado de la muestra (litro).

#### ➤ **Determinación de Cloruros**

La determinación de Cloruros se realizó mediante el Método: Titulación con Nitrato de Plata ( $\text{AgNO}_3$ ), mediante el siguiente procedimiento.

Se cogió 100 ml de las muestras en una probeta y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml; luego se adiciono 3 gotas de Cromato de Potasio ( $\text{KCrO}_4$ ) el cual le dio a la muestras un color amarillo; seguidamente las muestras fueron tituladas en un equipo de titulación graduado que contenía la Solución de  $\text{AgNO}_3$  0,0148N hasta que cambio del color amarillo a rojo ladrillo.

Con el dato del volumen gastado en la titulación se procedió a realizar los cálculos para determinar la concentración de Cloruros en las muestras con la siguiente formula:

$$\text{Cloruros} = \left( \frac{N_2 V_2}{V_1} \right) (35500) = \text{pmm Cl}^-$$

Donde:

$N_2$  = Concentración de  $\text{AgNO}_3$

$V_2$  = Volumen (ml) de  $\text{AgNO}_3$  gastado

$V_1$  = Volumen (ml) de muestra de agua empleado.

#### ➤ **Determinación de Nitratos**

Para la determinación de nitratos en las muestras se utilizó el Método: Reducción de cadmio; mediante el siguiente procedimiento.

Se tomó 5 ml de las muestra con una pipeta y se colocó en un tubo de ensayo, luego se agregó un sobre del reactivo Nitruver 5 de HACH, se homogenizo la muestra por un minuto y dio la lectura en el Espectrofotómetro a 500 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de nitratos en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$\text{mg NO}_3 - \text{N/L} = 67,035\text{Abs} - 0,1325$$

➤ **Determinación de Nitritos**

Para la determinación de nitritos en las muestras se utilizó el Método: Diazonización; mediante el siguiente procedimiento.

Se tomó 5 ml de la muestra con una pipeta y se colocó en un tubo de ensayo, luego se agregó un sobre del reactivo Nitriver 3 de HACH, se homogenizó la muestra por un minuto, se dejó reposar por media hora y luego se dio la lectura en el Espectrofotómetro a 543 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de nitritos en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$mg\ N-NO_2^- /L = 0,6909Abs + 0,0096$$

➤ **Determinación de Amonio**

Para la determinación de nitratos en las muestras se utilizó el Método de Nessler; mediante el siguiente procedimiento.

Se cogió 5 ml de la muestra y fue colocado en una fiola de 50 ml y se llenó con agua desionizada hasta la mitad. Seguidamente se agregó 2 gotas de tartrato de Sodio y Potasio al 50% (p/v), luego se adicionó 2 ml del reactivo de Nessler y se aforó la fiola con agua destilada; hasta aquí la concentración de la muestra se diluyó en 10 veces.

La muestra fue llevada al espectrofotómetro y se le dio lectura a 380 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de amonio en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$mg\ N-NH_4^+ /L = 3,0912Abs - 0,2375$$

Debido a que la muestra fue diluida 10 veces, se multiplicó a la concentración obtenida en la ecuación por 10 para encontrar la concentración real.

➤ **Determinación de Fosfatos**

Para la determinación de fosfatos en las muestras se utilizó el Método del ácido ascórbico; mediante el siguiente procedimiento.

Se tomó 5 ml de la muestra con una pipeta y se colocó en un tubo de ensayo, luego se agregó un sobre del reactivo Phosver 3 de HACH, se homogenizó la muestra por un minuto y dio la lectura en el Espectrofotómetro a 880 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de fosfatos en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$mg PO_4^{3-} - P / L = 1,4089Abs - 0,0083$$

#### ➤ **Determinación de Sulfatos**

Para la determinación de nitratos en las muestras se utilizó el Método: Turbidimétrico; mediante el siguiente procedimiento.

Se cogió 10 ml de la muestra y fue colocado en una fiola de 50. Seguidamente se agregó 1 ml de ácido clorhídrico concentrado y 9 ml de agua desionizada, y luego se adicionó una pisquita de Cloruro de Bario; hasta aquí la concentración de la muestra se diluyó en 2 veces.

La muestra fue llevada al espectrofotómetro y se le dio lectura a 650 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de fosfatos en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$mg SO_4^{2-} / L = 303,91Abs - 1,2588$$

Debido a que la muestra fue diluida 2 veces, se multiplicó a la concentración obtenida en la ecuación por 2 para encontrar la concentración real.

#### ➤ **Determinación de Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

Para la determinación de Demanda Química de Oxígeno en las muestras se utilizó el Método: Digestor de Reactor; mediante el siguiente procedimiento.

Se cogió 100 ml de las muestras en una probeta y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 250 ml; luego se dejó homogenizar la muestra durante 5 minutos; se tomó 2 ml de la muestra con una pipeta, se colocó en un tubo con solución de digestión de HACH de rango de 3 a 150 mg/L y se calentó en el digestor a 150°C durante 120 minutos.

Se dejó enfriar la muestra durante 20 minutos; luego fue llevada al espectrofotómetro y se le dio lectura a 420 nanómetros de longitud de onda en modo de absorbancia.

Para determinar la concentración de fosfatos en la muestra se reemplazó el dato leído de absorbancia en la siguiente ecuación de calibración:

$$mg O_2 /L = 22,917Abs - 40$$

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

Para la determinación de Demanda Química de Oxígeno en las muestras se utilizó el Método: Digestor de Reactor; mediante el siguiente procedimiento.

Primeramente se preparó el agua de dilución; para lo cual se utilizó 1 ml de los reactivos Buffer sulfato, Sulfato de magnesio, Cloruro de calcio y Cloruro férrico en 1 litro de agua desionizada; luego con un aireador se oxigeno la solución preparada durante 20 minutos y luego se midió el Oxígeno disuelto del agua de dilución.

Seguidamente se tomó volúmenes de la muestra de acuerdo al resultado de la concentración de DQO como se expresa en la tabla 04, y se colocó en botellas Winkler de color ámbar de 330 ml y luego se aforo con agua de dilución. Se midió la concentración de Oxígeno disuelto, se tapó las botellas de modo que no quedo burbujas y se colocó en la incubadora y después de 5 días se realizó nuevamente la medición de Oxígeno disuelto de las diluciones

**Tabla N° 04:** Relación entre concentración de DQO y volumen de muestra a diluir

DQO (ppm)	DILUCIÓN
01 – 05	Directa
05 – 10	Directa y al 50%
10 – 15	50% y 30%
15 – 25	30% y 15%
25 – 50	15% y 10%
50 – 100	10% y 5%
100 – 200	2% y 1%
400 – 800	1% y 0,5%

Para determinar la concentración de  $\text{DBO}_5$  mg  $\text{O}_2$  /L de las muestras, se reemplazó los datos de las mediciones de OD antes y después de los 5 días, además del volumen total (botella) y de la muestra utilizada en la siguiente fórmula.

$$\text{DBO}_5 = ((\text{OD}_i - \text{OD}_f) * V) / t$$

Dónde:

$\text{OD}_i$  = Concentración de Oxígeno Disuelto inicial

$\text{OD}_f$  = Concentración de Oxígeno Disuelto final

V = Volumen Total

t = Volumen tomado de la muestra

#### ➤ **Determinación de los Parámetros Microbiológicos**

Se analizó coliformes totales, fecales y *escherichia coli*, y se determinaron utilizando el método del número más probable según el siguiente detalle:

Debido a que las muestras fueron aguas residuales, se realizó 7 diluciones; para los cuales se utilizaron 8 botellas de 100 ml y se llenaron 54 ml de agua desionizada ultra pura. Seguidamente se tomó 6 ml de la muestra y se colocó en la primera botella, luego de la primera botella se tomó 6 ml de muestra y se puso a la segunda y así se realizó sucesivamente hasta la última botella y diluir la muestra en 7 veces.

#### **Realización de la prueba presuntiva de Coliformes totales**

En matraces Erlenmeyer se preparó caldo Lauril sulfato y se llenó en 5 tubos con 10 ml cada uno para cada dilución.

Se identificaron los tubos y se llevaron a incubar a  $37^\circ \text{C}$  ( $\pm 1^\circ \text{C}$ ) hasta 48 h ( $\pm 3$  h).

Transcurrida la incubación se consideraron tubos presuntivamente “positivos” aquellos en los que se observó turbidez, burbujas en las campanas de fermentación de Durham.

Se anotó el número de tubos positivos de cada serie, y con esta secuencia se obtuvo un número en la tabla del NMP provisional o presuntivo.

### **Pruebas de confirmación**

Las pruebas de confirmación de CT y CF se realizaron simultáneamente.

### **Pruebas de confirmación de coliformes totales**

Para la confirmación de coliformes totales, se preparó caldo brilla y se colocó en tubos de ensayo, los cuales contenían campanas Durham.

Con un asa bacteriológica se tomó 2 gotas de los tubos que contenían lauril sulfato los cuales presuntamente dieron positivo y se sembró en los tubos con caldo brilla; luego se colocaron las muestras en la incubadora a 37°C durante 48 horas.

Tras la incubación se comprobó la producción de gas y turbidez en los tubos sembrados.

Las pruebas de confirmación de coliformes totales fueron positivas si:

Las colonias fermentaron la lactosa con producción de gas (más del 20% en las campanas Durham colocadas en cada tubo con caldo brilla) y si hubo presencia de turbidez en el medio.

### **Prueba confirmativa de coliformes fecales**

Para la confirmación de coliformes fecales, se preparó caldo EC y se colocó en tubos de ensayo, los cuales contenían campanas Durham.

Con un asa bacteriológica se tomó 2 gotas de los tubos que contenían lauril sulfato los cuales presuntamente dieron positivo y se sembró en los tubos con caldo EC; luego se colocaron las muestras en la incubadora a 44°C durante 48 horas.

Tras la incubación se comprobó la producción de gas y turbidez en los tubos sembrados.

Las pruebas de confirmación de Coliformes fecales fueron positivas si: Hubo crecimiento bacteriano con producción de gas.

### **Pruebas de confirmación de *escherichia coli*.**

A partir del crecimiento en el caldo EC donde se efectuó la prueba de confirmación de coliformes fecales, se reservó los tubos que dieron positivos y

se realizó una siembra por estría en placas con agar EMB, luego se incubó (placa invertida) a 37 °C ( $\pm 1$  °C) durante 48 h ( $\pm 2$  h).

La prueba de confirmación de *escherichia coli* fue positiva si hubo crecimiento de colonias verde metálicas a negras.

Para determinar la cantidad de coliformes totales, fecales y *escherichia coli* se contó la cantidad.

## V. RESULTADOS

### 5.1. Análisis de remoción de contaminantes

**Tabla 05.** Remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Parámetro	Unidad de medida	Tratamientos								
		Control			<i>E. crassipes</i>			<i>L. minor</i>		
		Inicio	Final	Efecto	Inicio	Final	Efecto	Inicio	Final	Efecto
Temperatura	°C	20,45	20,43	20,44	20,45	19,98	20,22	20,45	20,85	20,65
Oxígeno disuelto	mg/l	1,70	3,44	1,74	1,70	6,75	5,05	1,70	6,04	4,34
Turbidez	UNT	26,78	22,21	4,57	26,78	1,82	24,96	26,78	6,41	20,37
Conductividad eléctrica	Us/cm <sup>2</sup>	1226,75	1159,75	67	1226,75	113,25	1113,5	1226,75	346,5	880,25
Solidos suspendidos totales	mg/l	22,58	17,58	5,33	22,58	0,95	21,63	22,58	4,76	17,82
pH	Unidad de pH	8,73	8,24	0,49	8,73	7,20	1,53	8,73	7,96	0,77
Nitratos	mg/l	23,40	21,34	2,06	23,40	3,15	20,25	23,40	2,85	20,55
Nitritos	mg/l	1,03	0,98	0,05	1,03	0,06	0,97	1,03	0,12	0,91
Amonio	mg/l	133,91	129,21	4,69	133,91	13,49	120,42	133,91	9,15	124,76
Fosfatos	mg/l	2,54	2,45	0,09	2,54	0,16	2,38	2,54	0,32	2,22
Sulfatos	mg/l	314,79	295,79	19	314,79	22,27	292,52	314,79	57,37	257,42
Cloruros	mg/l	109,29	101,19	7,10	109,29	15,63	93,66	109,29	8,54	100,75
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	169,39	158,93	10,46	169,39	7,53	161,86	169,39	24,51	144,88
Demanda química de oxígeno	mg/l	106,79	99,57	7,22	106,79	7,38	99,41	106,79	20,45	86,34
Coliformes totales	NMP/100ml	160.00	135.00	25.000.000	160.00	34.700	159.96	160.00	6.680	153.32
Coliformes fecales	NMP/100ml	160.00	133.00	27.000.000	160.00	22.300	159.97	160.00	6.850	153.15
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100ml	95.700.	81.300.	14.400.000	95.700.	10.400	95.689.	95.700.	5.170	90.530.

La tabla 5 muestra los resultados del análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual al inicio y final de cada tratamiento, además de las remociones logradas por los tratamientos.

El estanque con *Lemna minor* aumentó la temperatura del agua a 20,85°C mientras que *Eichhornia crassipes* y el control disminuyeron la temperatura a 19,98°C y 20,43°C respectivamente. Con respecto al oxígeno disuelto el agua residual ingresó a los tratamientos con una concentración inadecuada de 1,70 mg/l empero el control

aumentó la concentración de este parámetro a 3,44 mg/l, *Eichhornia crassipes* lo hizo a 6,75 mg/l y *Lemna minor* aumentó a 6,04 mg/l. En lo que respecta a la turbidez, la concentración del efluente inicial fue 26,78 UNT, no obstante el control removió 4,57 UNT, el estanque con *Eichhornia crassipes* redujo 24,96 UNT y *Lemna minor* lo hizo en 20,37 UNT. La concentración de conductividad eléctrica del efluente inicial fue 1226,75 uS/cm<sup>2</sup>; empero el control logró remover de 67 uS/cm<sup>2</sup>, el estanque con *Eichhornia crassipes* eliminó 1113,25 uS/cm<sup>2</sup> y el estanque con *Lemna minor* redujo 880,25 uS/cm<sup>2</sup>.

En la tabla 5 se observa que la concentración de sólidos suspendidos totales presentes en el agua residual que ingresó a los estanques fue 22,58 mg/l, sin embargo la remoción que mostró el control fue de 5,33 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* bajó 21,63 mg/l y el estanque con *Lemna minor* disminuyó 17,82. El pH del agua residual que ingresó a los tratamientos fue un pH un alcalino de 8,73, sin embargo el estanque con *Eichhornia crassipes* disminuyó el pH del agua a 7,20 acercándolo a la neutralidad, mientras que el control solo bajó a 8,24 y *Lemna minor* lo hizo a 7,96.

Los nitratos presentes en el agua residual que ingresó a los tratamientos fue de 23,40 mg/l sin embargo el control solo logró remover 2,06 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* removió 20,25 mg/l y el estanque con *Lemna minor* eliminó 20,55 mg/l. Con respecto a los nitritos la concentración promedio del efluente inicial fue 1,03 mg/l, pero el control solamente bajó 0,05 mg/l de la concentración de nitritos, el estanque con *Eichhornia crassipes* lo hizo en 0,97 mg/l y *Lemna minor* redujo 0,91 mg/l. La concentración de amonio del efluente inicial fue 129,21 mg/l, sin embargo el control tuvo un efecto de remoción de 4,69 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* eliminó 120,42 mg/l y el estanque con *Lemna minor* removió 124,76 mg/l.

La tabla 5, también muestra que la concentración de fosfatos del agua residual que ingreso a los tratamientos fue de 2,54 mg/l, no obstante el control logró reducir 0,09 mg/l de la concentración inicial, le estanque con *Eichhornia crassipes* redujo 2,38 mg/l y el estanque con *Lemna minor* lo hizo en 2,22 mg/l. En lo que respecta a sulfatos, el efluente que alimento a los tratamientos tuvo una concentración de 314,79 mg/l; empero el control removió 18,99 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* redujo 292,52 mg/l y *Lemna minor* lo hizo en 257,42 mg/l. La cantidad de cloruros que presentó el inicial fue 109,29 mg/l, sin embargo el control eliminó 7,10 mg/l, el

estanque con *Eichhornia crassipes* depuró 93,66 mg/l y el estanque con *Lemna minor* logro bajar 100,75 mg/l.

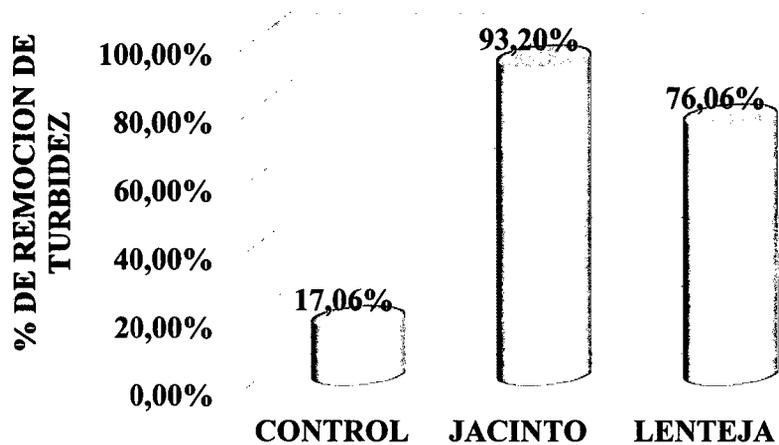
La concentración de demanda bioquímica de oxígeno presente en el agua residual fue 169,39 mg/l, del cual el control redujo 10,46 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* bajó en 161,86 mg/l y *Lemna minor* lo hizo en 144,88 mg/l. En lo que respecta a la concentración de demanda química de oxígeno del agua residual que ingresó a los tratamientos fue 106,79 mg/l, no obstante el control mostró un efecto depurador de 7,22 mg/l, el estanque con *Eichhornia crassipes* logro bajar 99,41 mg/l y *Lemna minor* eliminó 86,34 mg/l.

Con respecto a los parámetros microbiológicos la tabla 5 muestra que la cantidad de coliformes totales y fecales del agua residual fue 160.000.000 NMP/100ml, mientras que de *esherichia coli* fue 95.700.000; sin embargo los tratamientos lograron remociones de coliformes totales de 25.000.000 NPM/100ml en el control, el estanque con *Eichhornia crassipes* lo hizo en 159.965.300 NMP/100ml y el estanque con *Lemna minor* eliminó 153.320.000 NMP/100ml. En coliformes fecales el control logró remover 27.000.000 NMP/100ml, el estanque con *Eichhornia crassipes* redujo 159.977.700 NMP/100ml y *Lemna minor* bajó 153.150.000 NMP/100ml. Para el parámetro *escherichia coli* el control presentó un efecto de remoción 14.400.000 NMP/100ml, el estanque con *Eichhornia crassipes* lo hizo en 95.689.600 NMP/100ml y *Lemna minor* redujo 90.530.00 NMP/100ml.

## **5.2. Comparación de los tratamientos en la remoción de los contaminantes**

### **5.2.1. Turbidez.**

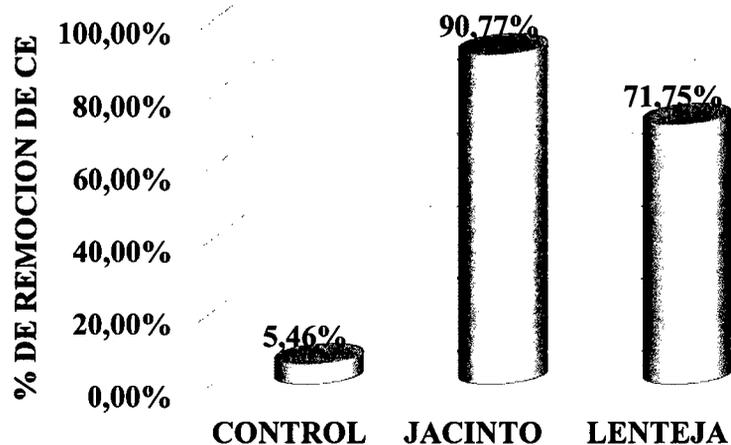
En el Grafico 1 se observa que el tratamiento que presentó mayor remoción de turbidez fue *Eichhornia crassipes* con un 93,20%, seguido por *Lemna minor* con un 76,06% mientras que el control presentó un porcentaje de remoción del 17,06%.



**Grafico 01.** Porcentaje de remoción de turbidez.

### 5.2.2. Conductividad eléctrica

El Grafico 2 muestra que el estanque con *Eichhornia crassipes* es el más eficiente removedor de conductividad eléctrica con un 90,77%, seguido por el estanque con *Lemna minor* con un 71,75%, luego se encuentra el control con un porcentaje de remoción del 5,46%.



**Grafico 02.** Porcentaje de remoción de C.E.

### 5.2.3. Sólidos suspendidos totales

Según el Grafico 3 el tratamiento con *Eichhornia crassipes* fue el que mejor removió sólidos suspendidos totales con un porcentaje de 95,79%, seguido por *Lemna minor* con un 78,92% mientras que el control redujo en un 23,60%.

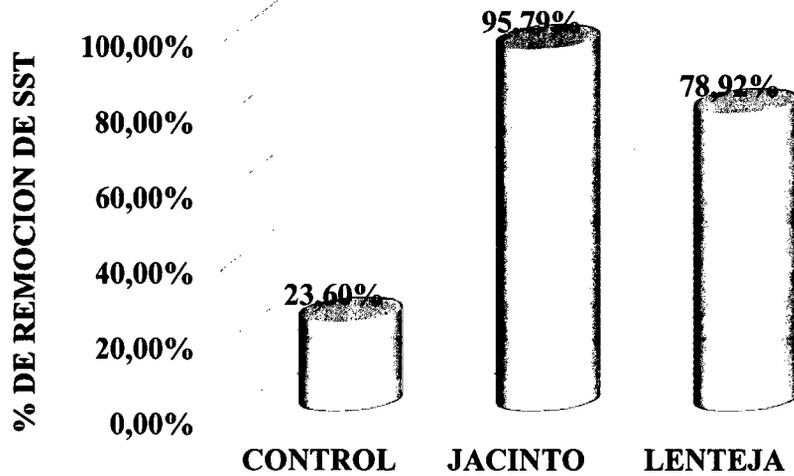


Grafico 03: Porcentaje de remoción de SST.

#### 5.2.4. pH

El Grafico 4 presenta las remociones de pH logradas por los tratamientos, donde el más eficiente fue *Eichhornia crassipes* con un 17,53%, mientras que *Lemna minor* lo hizo en un 8,82% y el control redujo el 5,46%.

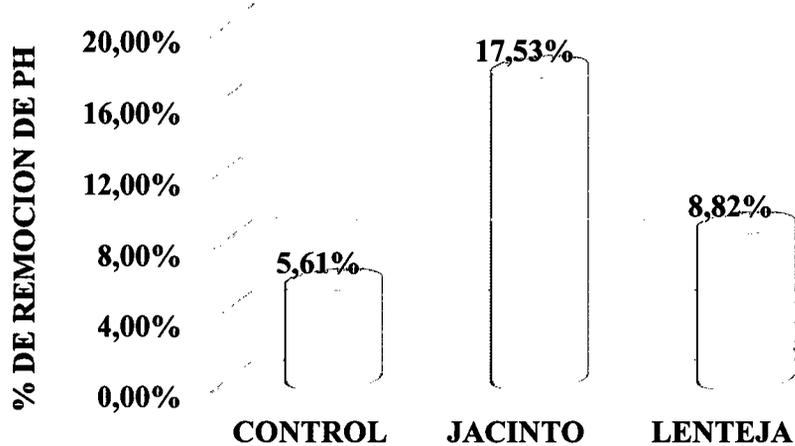


Grafico 04: Porcentaje de remoción de pH.

#### 5.2.5. Nitratos

De acuerdo al Grafico 5 el tratamiento con *Lemna minor* logró mayor remoción de nitratos con un porcentaje de 87,82%, seguido por *Eichhornia crassipes* con un 86,54% mientras que el control presentó un porcentaje de remoción del 8,80%.

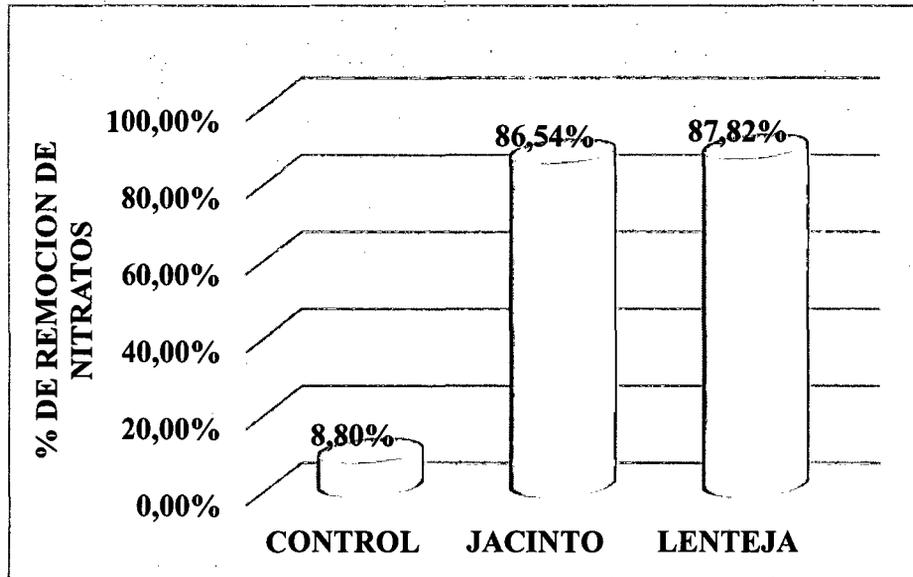


Grafico 05: Porcentaje de remoción de nitratos.

#### 5.2.6. Nitritos

El Grafico 6 muestra que el control presentó un porcentaje de remoción de nitritos del 4,85%, sin embargo el estanque más eficiente en la depuración de este parámetros es el de *Eichhornia crassipes* con un 94,17% ante un 88,35% obtenido por *Lemna minor*.

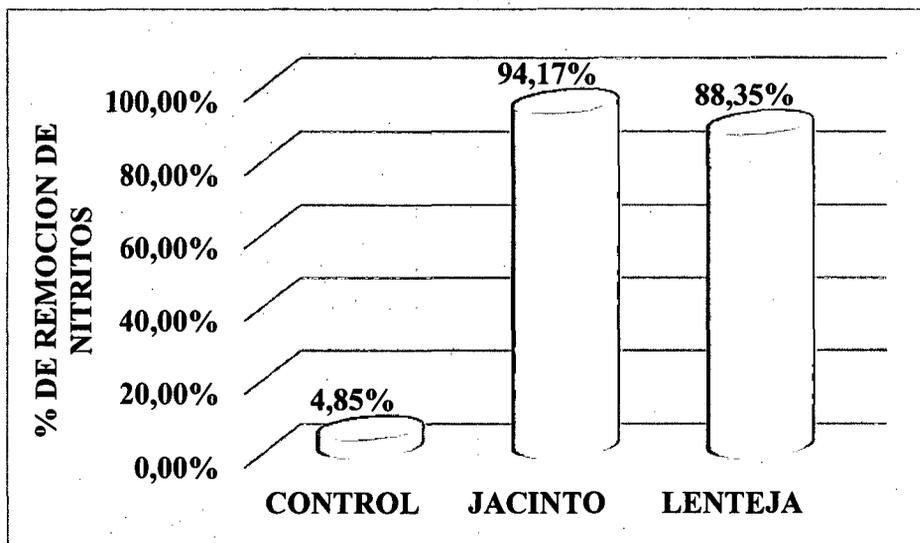


Grafico 06: Porcentaje de remoción de nitritos.

#### 5.2.7. Amonio

En el Grafico 7 se observa que el control logró reducir la concentración de amonio en un 3,50%, pero es el estanque con *Lemna minor* es el obtuvo mayor remoción

de este parámetro con un 93,17%, mientras que el estanque con *Eichhornia crassipes* tuvo una eficiencia de 89,93%.

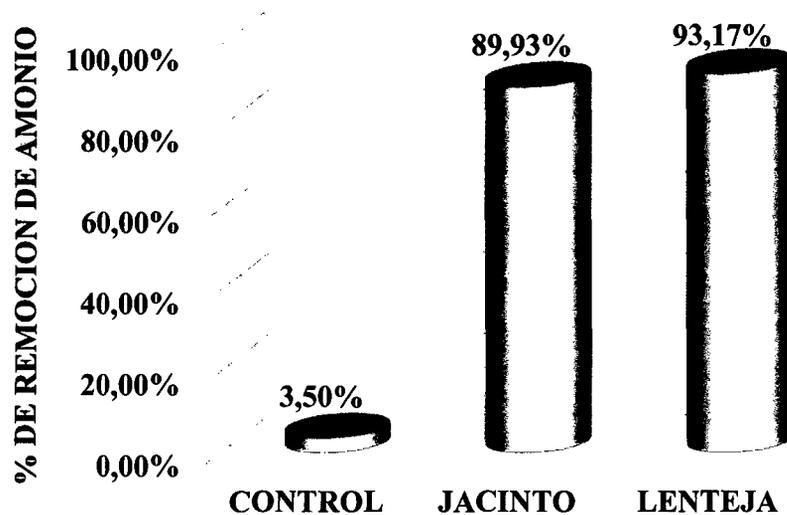


Grafico 07: Porcentaje de remoción de amonio.

#### 5.2.8. Fosfatos

Según el Grafico 8 el porcentaje de remoción de fosfatos es mayor en el estanque con *Eichhornia crassipes* con el 93,70%, seguido por el estanque *Lemna minor* con un 87,40% mientras que el control presentó un porcentaje de remoción del 3,54%.

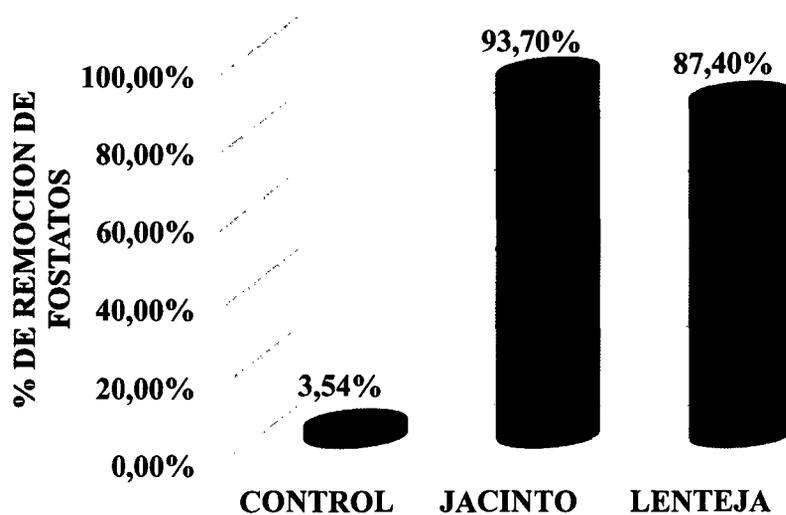


Grafico 08: Porcentaje de remoción de fosfatos.

### 5.2.9. Sulfatos

En el Grafico 9 se observa los porcentajes de remoción de sulfatos, donde el control logró bajar el 6,03% de este parámetro, sin embargo el estanque con *Eichhornia crassipes* fue el mejor depurador con una eficiencia del 92,93% mientras que *Lemna minor* lo hizo en un 81,76%.

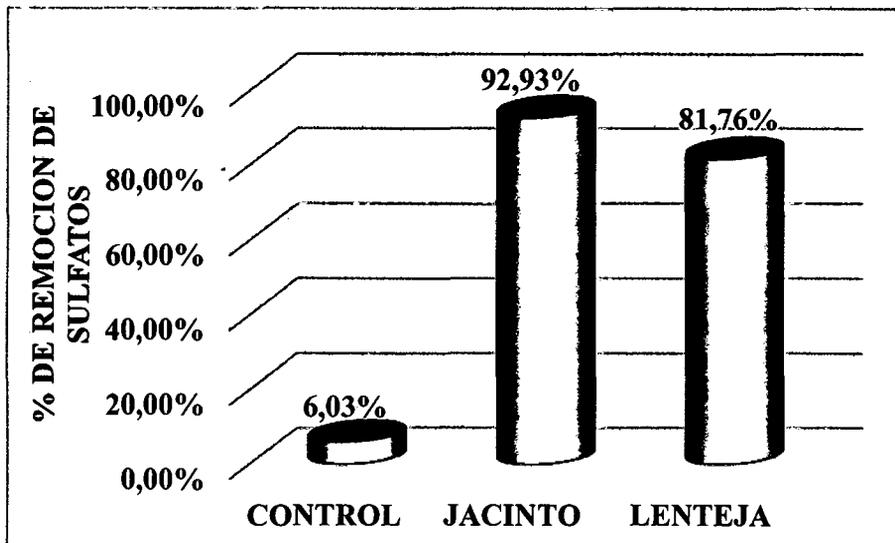


Grafico 09: Porcentaje de remoción de sulfatos.

### 5.2.10. Cloruros

El Grafico 10 presenta los porcentajes de remoción de cloruros; donde la eficiencia de remoción del control fue 6,50%, pero el tratamiento más eficiente en la remoción de este parámetro es el de *Lemna minor* con el 92,19%, mientras que *Eichhornia crassipes* depuró el 85,69%.

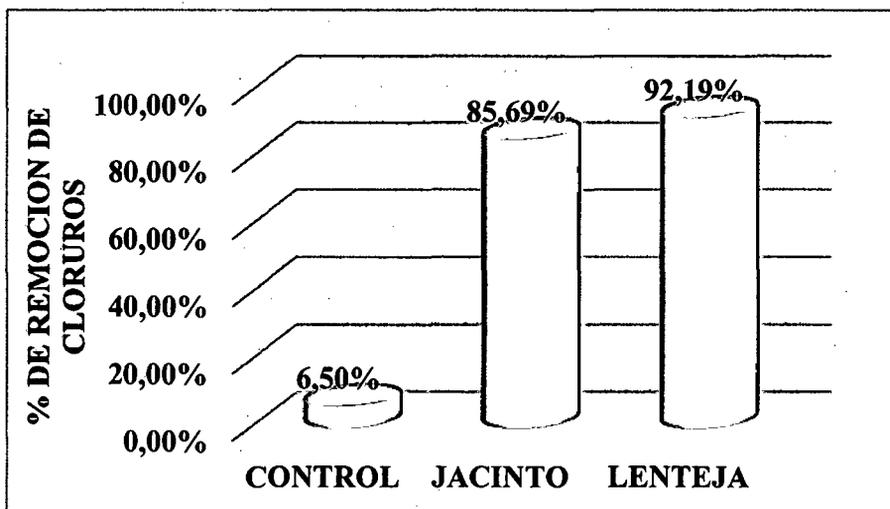


Grafico 10: Porcentaje de remoción de cloruros.

### 5.2.11. Demanda bioquímica de oxígeno

En el Grafico 11 se observa los porcentajes de remoción de demanda bioquímica de oxígeno; donde el control tuvo una eficiencia del 6,18%, no obstante el estanque con *Eichhornia crassipes* logro remover en un 95,55% y fue el más eficiente removedor, mientras que *Lemna minor* removió un 85,53%.

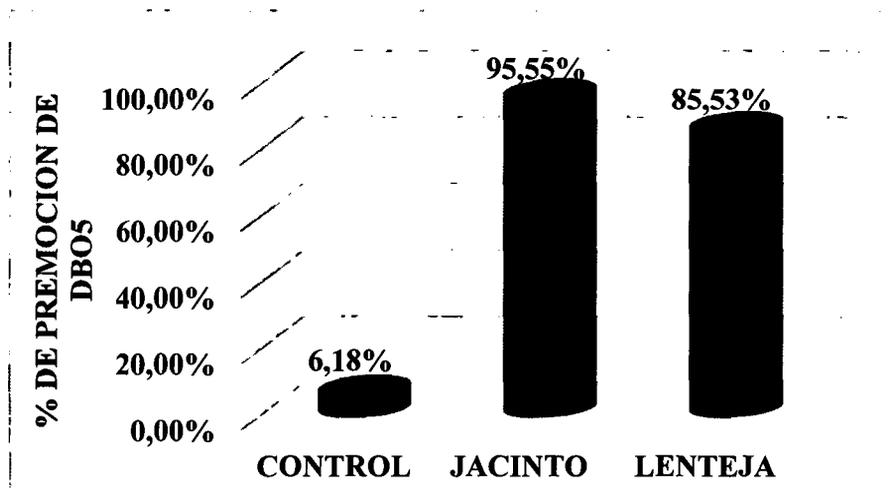


Grafico 11: Porcentaje de remoción de DBO<sub>5</sub>.

### 5.2.12. Demanda química de oxígeno

El Grafico 12 presenta que el control removió el 6,75% de la concentración de demanda química de oxígeno, no obstante el tratamiento que redujo mayor cantidad de este parámetro fue *Eichhornia crassipes* con el 93,09%, mientras que *Lemna minor* logró bajar en un 80,85%.

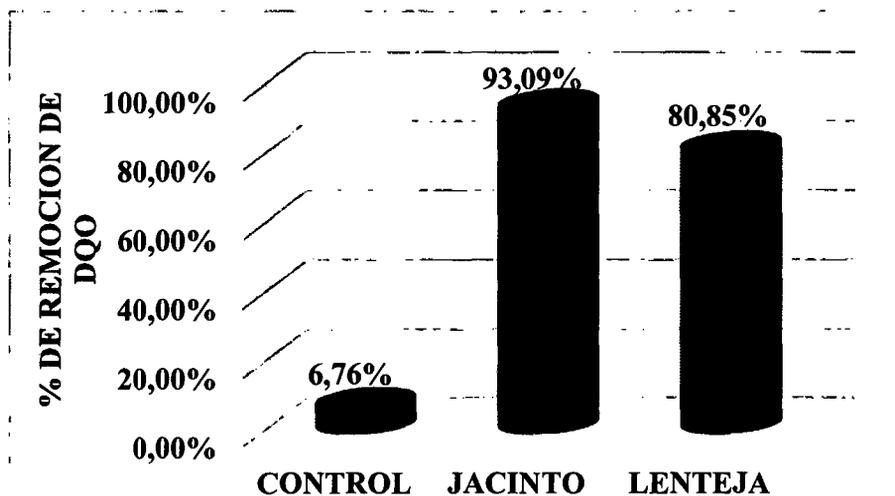


Grafico 12: Porcentaje de remoción de DQO.

### 5.2.13. Coliformes totales

El Grafico 13 muestra que el control logró una remoción significativa de coliformes totales del 15,63%, empero el tratamiento mejor removedor de este parámetro es el de *Eichhornia crassipes* con el 99,98%; mientras que *Lemna minor* tuvo una eficiencia del 95,83%.

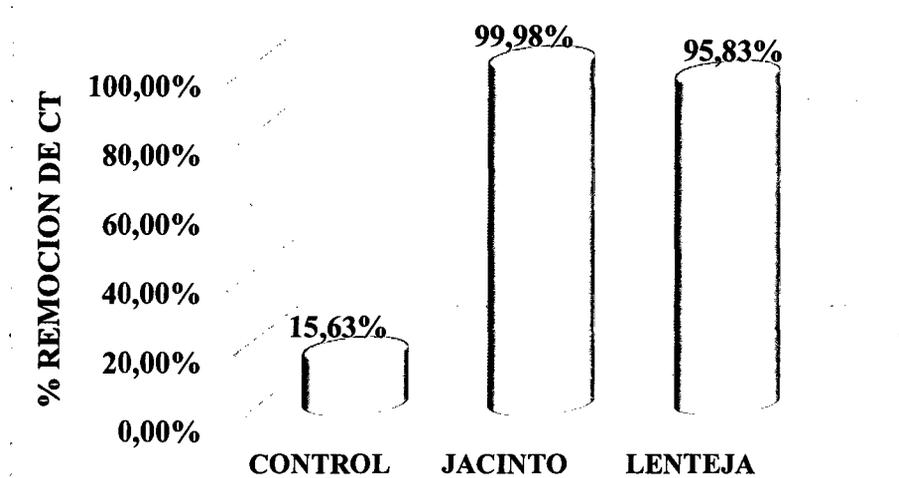


Grafico 13: Porcentaje de remoción de coliformes totales.

### 5.2.14. Coliformes fecales

De acuerdo al Grafico 14 el estanque pudo eliminar mayor cantidad de coliformes fecales fue *Eichhornia crassipes* con el 99,99%, mientras que en el estanque con *Lemna minor* la eficiencia depuradora fue 95,62%, no obstante el control logró un porcentaje de remoción del 16,88%.

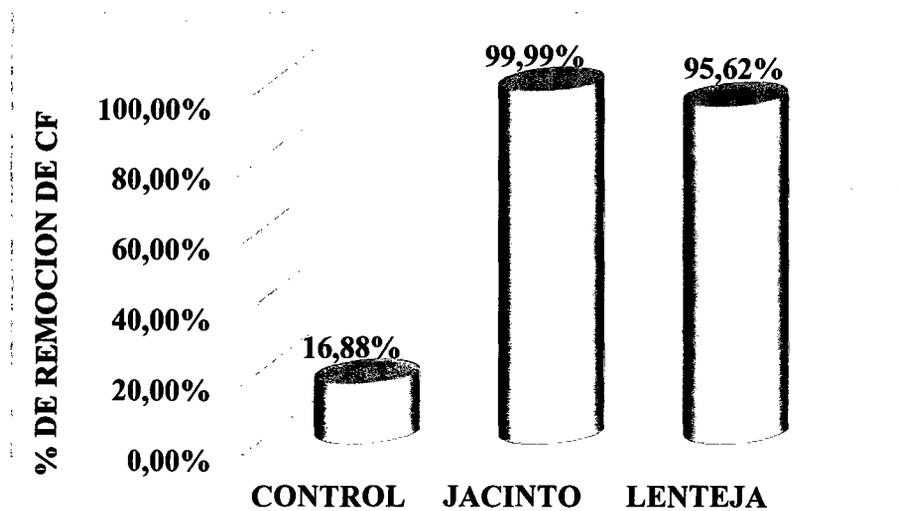


Grafico 14: Porcentaje de remoción de coliformes fecales.

### 5.2.15. *Escherichia coli*

El Grafico 17 presenta los porcentajes de remoción de *escherichia coli*; donde la eficiencia de remoción del control fue 15,05%, sin embargo el estanque con *Eichhornia crassipes* fue en un 99,99% más eficiente que el estanque con *Lemna minor* que logró remover en un 94,60%.

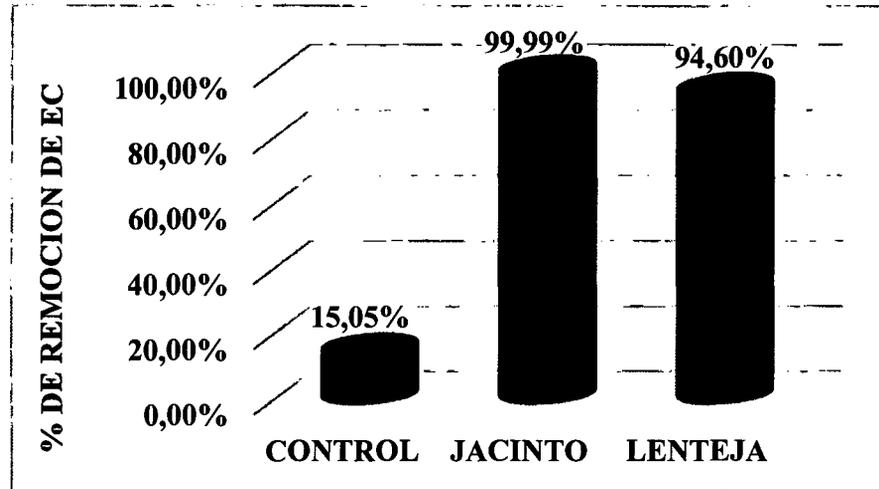


Grafico 15: Porcentaje de remoción de *escherichia coli*.

### 5.3. Comparación de los resultados con los Límites Máximos Permisibles

Límite Máximo Permisible (LMP), es 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 legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (D.S N° 003-2010-MINAM).

Los resultados obtenidos se compararon con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el D.S N° 003-2010-MINAM, los cuales se muestran en la Tabla 22.

**Tabla 06:** Comparación de los resultados obtenidos por los tratamientos con los Límites Máximos Permisibles.

Parámetro	Unidad de medida	<i>E. crassipes</i>		<i>L. minor</i>		LMP
		Inicio	Final	Inicio	Final	
Temperatura	°C	20,45	19,98	20,58	20,85	<35
Oxígeno disuelto	mg/l	1,70	6,75	1,70	6,04	-
CE	uS/cm <sup>2</sup>	1.226,75	113,25	1.226,75	346,50	-
SST	mg/l	22,58	0,95	22,58	4,71	150
Turbidez	UNT	26,78	1,82	26,78	6,41	-
Ph	Unidad pH	8,73	7,20	8,73	7,96	6,5-8,5
Nitratos	mg/l	23,40	3,15	23,40	2,85	-
Nitritos	mg/l	1,03	0,06	1,03	0,12	-
Amonio	mg/l	133,91	13,49	133,91	9,15	-
Fosfatos	mg/l	2,54	0,16	2,54	0,32	-
Sulfatos	mg/l	314,79	22,27	314,79	57,37	-
DBO <sub>5</sub>	mg/l	169,39	7,53	169,39	24,51	100
DQO	mg/l	106,79	7,38	106,79	20,45	200
Cloruros	mg/l	109,29	15,63	109,29	8,54	-
Coliformes totales	NMP/100 ml	160.000.000	34.700	160.000.000	6.680.000	-
Coliformes fecales	NMP/100 ml	160.000.000	23.300	160.000.000	6.850.000	10.000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	95.700.000	10.400	95.700.000	5.170.000	-

Los parámetros fisicoquímicos que se compararon con los límites máximos permisibles para efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM son temperatura, sólidos suspendidos totales, pH, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno los cuales presentaron valores muy por debajo de los límites de permisibilidad. Los otros parámetros fisicoquímicos como oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, turbidez y nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos y cloruros) no se pudieron comparar debido a que no están especificados sus límites de permisibilidad, mientras que de los parámetros microbiológicos solamente se comparó con los límites máximos permisibles a los

coliformes termotolerantes (fecales), del cual ningún tratamiento presentó concentraciones por debajo del límite de permisibilidad, aunque el tratamiento con *Eichhornia carssipes* presento una excelente eficiencia de remoción.

## VI. DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos se demuestra que *Lemna minor* mantiene al agua con mayor temperatura que *Eichhornia crassipes*, esto es debido a que aumentó la temperatura del agua de 20,45 °C a 20,85 °C, sin embargo el estanque con Jacinto de agua disminuyó la temperatura del agua de 20,45 °C a 19,98 °C. Esto es corroborado por el trabajo de García (2012) donde indica que la temperatura en aguas tratadas con *Eichhornia crassipes* puede disminuir hasta en un 3,9 °C, debido a la sombra que proveen sus hojas gruesas y anchas.

En el oxígeno disuelto se evaluó la generación de este parámetro por medio de los tratamientos. El agua residual de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas estuvo en 1,70 mg O<sub>2</sub>/l. El sistema con *Eichhornia crassipes* aumento esta concentración a 6,75 mg O<sub>2</sub>/l y *Lemna minor* lo hizo hasta 6,04 mg O<sub>2</sub>/l. Brix (1994) corrobora los resultados obtenidos de oxígeno disuelto al indicar que *Eichhornia crassipes* es la planta de humedal con mayor tasa de liberación de oxígeno, siendo capaz de liberar desde 0,95 a 16,4 g/m<sup>2</sup>.d. Melo (2012) indica que *Eichhornia crassipes* desarrolla un tejido tubular poroso (aerenquima) en hojas y tallos que permite el transporte de oxígeno atmosférico al agua, y (García 2012) sustenta que el aumento de oxígeno disuelto por *Eichhornia crassipes* se debe a que esta especie demora más que *Lemna minor* en cubrir el área de los estanques, permitiendo que las algas presentes en los estanques realicen fotosíntesis y por ende generen oxígeno.

Las remociones obtenidas de los parámetros físicos por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* fue: Sólidos suspendidos totales en un 95,79% y 78,92%; Conductividad eléctrica en un 85,57% y 71,75% y turbidez en un 93,20% y 76,06% respectivamente. Los resultados muestran que los tratamientos son muy buenos removedores de parámetros físicos, sin embargo *Eichhornia crassipes* logró mejores remociones que *Lemna minor*. Celis *et al.*, (2005) manifiesta que *Eichhornia crassipes* posee un sistema de raíces, que tiene microorganismos asociados a ellas, lo que le permite remover los compuestos orgánicos y disminuir en gran manera los niveles de los parámetros físicos. Esto es corroborado por León y Lucero (2009) donde *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* presentaron remociones de sólidos suspendidos totales en un 95,40% y 91,20% y conductividad eléctrica en un 25% y 10% respectivamente. En la investigación realizada por Albuja (2014) *Eichhornia crassipes* obtuvo remociones de conductividad eléctrica del 65,11% mientras que *Lemna sp* removió el 20,9%. Poveda (2014) obtuvo resultados

respecto a la remoción de turbidez en el que *Eichhornia crassipes* logró remociones del 98,16% y *Lemna sp* presentó una remoción de 93,52%.

La remoción de parámetros químicos demuestran que *Eichhornia crassipes* logra que el pH del agua residual se acerque a la neutralidad. El agua residual que ingresó a los tratamientos presentó un pH de 8,73. El tratamiento con *Eichhornia crassipes* bajó los niveles de pH en un 17,53% dejando el pH del agua casi en un estado neutro, mientras que *Lemna minor* redujo los niveles el pH en un 8,82%. En la investigación de Albuja (2014) *Eichhornia crassipes* bajó el pH en un 24,05% dejándolo entre los niveles óptimos, mientras que *Lemna sp* disminuyó los valores de pH en 1,15%. Valderrama (2005), manifiesta que *Eichhornia crassipes* estabiliza el pH y contribuye a producir valores más cercanos a la neutralidad del agua corroborando así lo dicho en esta investigación.

La remoción de los parámetros nitrogenados de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* fue en nitratos en un 86,54% y 87,82% en nitritos en un 94,17 % y 88,35% y en amonio en un 89,93% y 93,17% respectivamente. Estos resultados son corroborados por Pedraza (1994), quien reporta que *Eichhornia crassipes* y *Lemna sp* removieron nitratos en un 70% y 99%. Poveda (2014) realizó la evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola, donde *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* lograron remociones en un 93,70% y 91,28% de nitratos y en un 90% de nitritos. Romero *et al.*, (2011) también validan las remociones logrados en esta investigación debido a que tanto *Eichhornia crassipes* y *Lemna gibba* presentaron una eficiencia de remoción de amonio del 98%.

En el caso de remoción de fosfatos presentes en el agua residual, *Eichhornia crassipes* presentó una eficiencia de 93,70% mientras que *Lemna minor* removió en un 87,40%. El resultado obtenidos por *Eichhornia crassipes* es corroborado por Valderrama *et al.*, (2002) quien reporta que *Eichhornia crassipes* logró remover fosfatos en un 92% mientras que *Lemna sp* lo hizo en un 30%. Gurrola (2013) en su estudio indica que *Eichhornia crassipes*, de acuerdo a la calidad del agua residual disminuye la concentración de fosfatos entre el 21% y 91% lo que se evidenció en este trabajo. En la investigación de Albuja (2014) tanto *Eichhornia crassipes* como *Lemna sp* lograron remociones del 100% de los valores de fosfatos.

La remoción de sulfatos es muy importante debido a que si se encuentra en cantidades, los problemas se asocian a una fuerte disminución de pH lo cual alteraría la calidad del agua. *Eichhornia crassipes* removió notablemente los niveles de sulfatos en el agua residual en un 92,93% y *Lemna minor* lo hizo en un 81,76%. La eficiencia alcanzada por *Eichhornia crassipes* en la remoción de sulfatos es corroborado por Rodríguez (2009) donde realizó el postratamiento de las aguas residuales del café a través de biofiltros en el que utilizó macrofitas acuáticas, donde *Eichhornia crassipes* fue el que alcanzó la mayor remoción de sulfatos con un 83,75%. Los resultados obtenidos en esta investigación también son respaldados por Albuja (2014) donde *Eichhornia crassipes* logró remociones de sulfatos en un 98,7% y *Lemna sp* removió en un 25%.

En la remoción de cloruros los tratamientos se mostraron muy eficientes, ya que *Eichhornia crassipes* removió en un 85,69% y *Lemna minor* lo hizo en un 92,19%. Estos resultados son reforzados por British (2003) donde asegura que tanto plantas como *Eichhornia crassipes* y *Salvinia minima L*, por medio de rizofiltración extraen grandes cantidades de sales, gracias a la ayuda de los microorganismos presentes en la rizosfera. Valero (2006) utilizó *Eichhornia crassipes* para remover cloruros de las aguas procedentes del campo de la producción de petróleo, logrando remover en un 48%. Jaramillo y Flores (2012) indican que los cloruros son componentes importantes en la síntesis de proteínas y en el buen crecimiento de *Lemna minor*, mientras que Poveda (2014) obtuvo remociones de cloruros por parte de *Eichhornia crassipes* y *Lemna sp* en un 88,09% y 88,45% respectivamente.

En la remoción de demanda bioquímica oxígeno *Eichhornia crassipes* logró una disminución del 95,55% y *Lemna minor* disminuyó un 85,53%. Los valores obtenidos en esta investigación son corroborados por Obando (2006) donde *Eichhornia crassipes* removió DBO<sub>5</sub> en un 89,3% mientras que *Lemna minor* lo hizo en un 70,7%. Además Rodríguez (2001) logró que *Eichhornia crassipes* disminuya la concentración de DBO<sub>5</sub> en un rango de 80-90%, según este autor la disminución de los valores de demanda bioquímica oxígeno se debe a los microorganismos asociados a la zona radicular y la eficiencia en la eliminación de este parámetro está directamente relacionada con la densidad, cobertura y profundidad de esta especie en el agua.

La demanda química de oxígeno (DQO) es un indicador de las sustancias orgánicas biodegradables y no biodegradables. En el caso de la DQO la eficiencia en la remoción de este parámetro fue más alta en *Eichhornia crassipes* con un 93,09% ante un 80,85% de remoción de *Lemna minor*. Estos resultados obtenidos concuerdan con la investigación de

Valderrama *et al.*,(2002) donde *Eichhornia crassipes* logró una remoción de DQO del 83%, por su parte León y Lucero, (2009) en su trabajo titulado “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” presentan que la especie que tuvo mayor remoción de este parámetro es *Eichhornia crassipes* con el 76,30%, mientras que *Lemna gibba* logro una remoción del 63,12%.

La remoción de microorganismos patógenos fue muy eficiente por parte de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* ya que removieron coliformes totales en un 99,96% y 95,83%, coliformes fecales en un 99,99% y 95,62% y *escherichia coli* en un 99,99% y 94,60% respectivamente, aunque el control obtuvo remociones significativas de 15,63% de coliformes totales, 16,88 de coliformes fecales y 15,05 de *escherichia coli*. Sin embargo estos resultados son corroborados por León y Lucero (2009), donde *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* lograron remover coliformes totales y *escherichia coli* en un 98,5% y 94% respectivamente. Valderrama *et al* (2002) presentó remociones de *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* en un 99% tanto de coliformes fecales como *escherichia coli*, mientras que Poveda (2014) presentó remociones similares a las obtenidas en esta investigación con respecto a *escherichia coli*, donde *Eichhornia crassipes* y *Lemna sp* obtuvieron remociones del 81,82% y 72,72% respectivamente

Asimismo se precisa que los resultados obtenidos por los tratamientos están por debajo de los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales establecidos en el Decreto Supremo N° 003 - 2010 -MINAM en los que respecta a los parámetros fisicoquímicos, pero no cumple en los parámetros microbiológicos.

## VII. CONCLUSIONES

Las especies *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* son muy buenos removedores de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, ya que *Eichhornia crassipes* obtuvo una eficiencia promedio de remoción del 88,24%, mientras que *Lemna minor* lo hizo en un 81,24%.

Sin embargo la especie más eficiente en el tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas fue *Eichhornia crassipes*, debido a que logró mayor remoción en 13 de los 16 parámetros analizados.

Las aguas residuales tratadas tanto por *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* presentaron concentraciones de temperatura, pH, sólidos suspendidos totales, demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno por debajo de los límites máximos permisibles, pero exceden en coliformes termotolerantes (fecales); esto se debe a que el efluente presentó concentraciones excesivas de microorganismos patógenos debido a que las aguas provienen en su mayoría de los servicios higiénicos y del comedor universitario. La conductividad eléctrica, turbidez, oxígeno disuelto, nutrientes (nitratos, nitritos, amonio, fosfatos, sulfatos y cloruros) y los organismos patógenos (coliformes totales y *escherichia coli*) no pudieron ser comparados por no estar especificados sus límites de permisibilidad, sin embargo los tratamientos tanto con *Eichhornia crassipes* y *Lemna minor* lograron remociones muy buenas de estos parámetros.

## VIII. RECOMENDACIONES

Las dos especies utilizadas en esta investigación demostraron ser buenos removedores de contaminantes de las aguas residuales de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, sin embargo se recomienda utilizar *Eichhornia crassipes* ya que demostró que baja significativamente los niveles de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Se recomienda que la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas trate sus aguas residuales debido a que poseen una carga muy alta de microorganismos patógenos como coliformes totales, fecales y *escherichia coli*, los cuales a pesar de que el tratamiento con *Eichhornia crassipes* presentó una excelente eficiencia de remoción, el agua residual en estos parámetros no quedó apta para ser emitida debido a que se encuentra por encima de los límites máximos permisibles.

Debido a que el agua residual de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas contiene arena, residuos sólidos, altas concentraciones de sólidos suspendidos totales, conductividad eléctrica, DBO, DQO, sulfatos, cloruros y cantidades excesivas de organismos patógenos se recomienda un sistema de tratamiento que consiste en; pretratamiento (desarenador), tratamiento primario (sedimentador y tamizado) y utilizar *Eichhornia crassipes* como tratamiento secundario.

## IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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.
- Albuja, Z. 2014. Implementación de un sistema de descontaminación Productivo de aguas residuales de origen pecuario en la granja la Pradera, en la Provincia de Ibabura. Sangolquí, Ibarra, Ecuador. Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE), p. 39-64.
- Arroyave, M. 2004. La lenteja de agua (*Lemna minor*): Una planta promisoría. Medellín, Colombia. Escuela de Ingeniería de Antioquia, p. 34.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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. Ibarra, Ecuador. Universidad Técnica del Norte.
- Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. 2010. Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Lima, Perú. El Peruano, p. 1-2.

- EPA (Environmental Protection Agency). 2000. Folleto informativo de tecnología de aguas residuales. *Humedales de flujo libre superficial*. Washington, D.C.
- FUNASA (Fundación Nacional de la Salud). 2013. Manual práctico de análisis de agua. 4<sup>ta</sup> ed. Brasilia, Brasil, p. 48.
- Galvis, J. y Rivera, X. 2013. Caracterización fisicoquímica y microbiológica de los lodos presentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI) de la Empresa Jugos Hit de la Ciudad de Pereira. Universidad Tecnológica de Pereira, p. 21-34.
- 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.
- 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.
- 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 de 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.

- Melo, G. 2012. Evaluacion fitodepurante de un sistema biológico artificial en aguas de riego como alternativa para la sostenibilidad del recurso hidrico. Chia, Cundinamarca. Universidad de La Sabana, p. 29.
- Obando, J. 2006. *Eichhornia crassipes* para el tratamiento de aguas residuales industriales. Valle, Colombia.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima, Perú, p. 16.
- Pedraza, G. 1994. Reciclaje del efluente de origen animal con tres especies de plantas acuaticas. *Livestock Research for Rural Development*, p. 12.
- Poveda, R. 2014. Evaluacion de especies acuaticas flotantes para la fitorremediacion de aguas residuales industrial y de uso agricola previamente caracterizadas en el Cantón Ambato, Provincia de Tungurahua. Ambato, Ecuador. Universidad Tecnica de Ambato, p. 115-118.
- Rodriguez, C. 2001. Accion depuradora de algunas plantas acuaticas sobre las aguas residuales. La Habana, Cuba. Instituto Superior Politecnico José A. Echevarría” (ISPJAE), p. 1-5.
- Rodriguez, N. 2009. Estudio de un biosistema integrado para el postratamiento de las aguas residuales del café utilizando macrofitas Acuaticas. Valencia. Universidad Politécnica de Valencia, España, p. 175-177.
- Romero, L., Ramírez, F., Alvarez, C. y Miranda, M. 2011. Uso de Hidrófitas y un sistema anaerobio para el tratamiento de agua residual de Rastro. Mexico. Polibotánica, 157-167.
- SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). 2014. Cifras ambientales 2014. Lima, Perú, p. 07.
- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 1995. American Public Health Association/ American Water Works Association/ Water Environment Federation. Washington, DC, USA.
- 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.

Bogotá, Colombia. *Seminario Internacional sobre Métodos para el Tratamiento de Aguas Residuales*, p. 193-201.

- 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.
- 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.

## ANEXOS

**Anexo 01.** Resultados del análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

**Tabla 07.** Resultados de los parámetros analizados en campo

PARÁMETROS ANALIZADOS EN CAMPO						
Fecha de Análisis	Procedencia de la muestra	Ph Unidad de pH	CE μS/cm	OD mgO <sub>2</sub> /L	Temperatura °C	Turbidez UNT
15/09/2015	Efluente	8,76	1582	1,17	18,7	15,83
25/09/2016	Control	8,22	1520	2,86	20,8	14,23
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	7,29	198	7,32	20,3	1,86
25/09/2015	<i>L. minor</i>	7,65	554	5,91	21,1	7,62
26/09/2015	Efluente	8,61	981	3,13	21	10,91
06/10/2015	Control	8,26	929	4,2	20,9	7,14
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	7,12	54	8,55	20,7	1,48
06/10/2015	<i>L. minor</i>	7,69	316	6,12	21,7	5,34
07/10/2015	Efluente	8,83	1018	0,13	20,8	41,88
17/10/2015	Control	8,41	946	3,16	18,7	35,29
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	7,23	93	5,94	17,7	1,99
17/10/2015	<i>L. minor</i>	8,23	297	6,35	19,1	6,74
18/10/2015	Efluente	8,73	1326	2,38	21,3	38,49
28/10/2015	Control	7,95	1224	3,52	21,3	32,16
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	7,15	108	5,19	21,2	1,94
28/10/2015	<i>L. minor</i>	8,26	219	5,76	21,5	5,92

**Tabla 08.** Análisis de Cloruros mediante titulación con AgNO<sub>3</sub>

Fecha de Muestreo	Procedencia de la muestra	Cloruros			
		Agua	AgNO <sub>3</sub>		Cl <sup>-</sup>
		ml	ml	Concent. (N)	Ppm
15/09/2015	Efluente	100	17,00	0,0148	89,32
25/09/2015	Control	100	15,70	0,0148	82,49
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	100	2,50	0,0148	13,14
25/09/2015	<i>L. minor</i>	100	1,60	0,0148	8,41
26/09/2015	Efluente	100	18,50	0,0148	97,20
06/10/2015	Control	100	17,20	0,0148	90,37
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	100	2,60	0,0148	13,66
06/10/2015	<i>L. minor</i>	100	1,00	0,0148	5,25
07/10/2015	Efluente	100	25,00	0,0148	131,35
17/10/2015	Control	100	23,60	0,0148	123,99
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	100	3,60	0,0148	18,91
17/10/2015	<i>L. minor</i>	100	2,40	0,0148	12,61
18/10/2015	Efluente	100	22,70	0,0148	119,27
28/10/2015	Control	100	21,30	0,0148	111,91
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	100	3,20	0,0148	16,81
28/10/2015	<i>L. minor</i>	100	1,50	0,0148	7,88

**Tabla 09.** Análisis de los parámetros mediante el espectrofotómetro

Fecha de Muestreo	Procedencia de la muestra	Nitratos		Nitritos		Amonio		Fosfatos		Sulfatos		DQO	
		Abs.	ppm NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Abs.	ppm NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	Abs.	ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Abs.	ppm PO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Abs.	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Abs.	ppm
15/09/2015	Efluente	0,380	25,34	1,648	1,15	4,591	139,54	1,758	2,47	0,636	389,09	5,993	97,34
25/09/2015	Control	0,361	24,07	1,579	1,10	4,336	131,66	1,706	2,40	0,602	368,43	5,763	92,07
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	0,124	8,18	0,239	0,17	0,748	20,75	0,164	0,22	0,076	48,71	2,175	9,84
25/09/2015	<i>L. minor</i>	0,114	7,51	0,414	0,30	0,663	18,12	0,297	0,41	0,131	82,14	2,672	21,23
26/09/2015	Efluente	0,214	14,21	1,104	0,77	4,204	127,58	1,552	2,18	0,415	254,76	6,271	103,71
06/10/2015	Control	0,208	13,81	1,021	0,72	4,106	124,55	1,492	2,09	0,38	233,49	5,984	97,14
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	0,020	1,21	0,001	0,01	0,398	9,93	0,179	0,24	0,015	11,63	1,997	5,77
06/10/2015	<i>L. minor</i>	0,008	0,40	0,081	0,07	0,283	6,37	0,273	0,38	0,068	43,85	2,552	18,48
07/10/2015	Efluente	0,395	26,35	1,546	1,08	4,382	133,08	1,85	2,60	0,418	256,59	6,881	117,69
17/10/2015	Control	0,338	22,53	1,469	1,02	4,253	129,09	1,79	2,51	0,389	238,96	6,532	109,69
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	0,024	1,48	0,009	0,02	0,528	13,95	0,089	0,12	0,023	16,50	2,094	7,99
17/10/2015	<i>L. minor</i>	0,010	0,54	0,138	0,10	0,316	7,39	0,197	0,27	0,084	53,57	2,742	22,84
18/10/2015	Efluente	0,415	27,69	1,653	1,15	4,459	135,46	2,083	2,93	0,586	358,70	6,477	108,43
28/10/2015	Control	0,374	24,94	1,585	1,10	4,332	131,54	1,996	2,80	0,559	342,29	6,081	99,36
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	0,028	1,74	0,023	0,03	0,379	9,34	0,053	0,07	0,016	12,24	2,004	5,93
28/10/2015	<i>L. minor</i>	0,046	2,95	0,138	0,10	0,229	4,70	0,161	0,22	0,078	49,93	2,586	19,26

**Tabla 10.** Análisis de DBO<sub>5</sub> mediante el método de dilución

Fecha de muestreo	Procedencia de la muestra	Diluciones (%)	DBO <sub>5</sub>					DBO <sub>5</sub> Real (ppm)
			Vol. Total (ml)	Vol. Muestra (ml)	OD inicial (ppm)	OD final (ppm)	DBO <sub>5</sub> (ppm)	
15/10/2015	Efluente	5	330	16,5	7,43	0,34	141,80	107,30
		10	330	33	7,56	0,28	72,80	
25/10/2015	Control	5	330	16,5	7,15	0,57	131,60	96,95
		10	330	33	6,75	0,52	62,30	
25/10/2015	<i>E. crassipes</i>	Directa	330	330	6,57	0,66	5,91	8,93
		50	330	165	6,56	0,59	11,94	
25/10/2015	<i>L. minor</i>	30	330	99	6,4	0,91	18,30	27,02
		15	330	49,5	6,53	1,17	35,73	
26/10/2015	Efluente	1	330	3,3	6,28	4,17	211,00	161,25
		2	330	6,6	6,05	3,82	111,50	
06/10/2015	Control	5	330	3,3	6,16	4,28	188,00	150,00
		10	330	6,6	6,42	4,18	112,00	
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	Directa	330	330	6,57	1,57	5,00	7,05
		50	330	165	6,49	1,94	9,10	
06/10/2015	<i>L. minor</i>	30	330	99	6,48	1,93	15,17	22,35
		15	330	49,5	6,51	2,08	29,53	
07/10/2015	Efluente	1	330	3,3	6,54	3,81	273,00	211,50
		2	330	6,6	6,35	3,35	150,00	
17/10/2015	Control	1	330	3,3	6,63	4,03	260,00	199,50
		2	330	6,6	6,68	3,9	139,00	
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	Directa	330	330	6,76	1,79	4,97	7,75
		50	330	165	6,71	1,45	10,52	
17/10/2015	<i>L. minor</i>	30	330	99	7,32	2,15	17,23	26,64
		15	330	46,5	7,15	2,07	36,05	
18/10/2015	Efluente	1	330	3,3	6,38	3,71	267,00	197,50
		2	330	6,6	6,53	3,97	128,00	
28/10/2015	Control	1	330	3,3	6,22	3,83	239,00	189,25
		2	330	6,6	6,51	3,72	139,50	
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	Directa	330	330	6,62	1,75	4,87	6,98
		50	330	165	6,49	1,95	9,08	
28/10/2015	<i>L. minor</i>	30	330	99	6,61	2,13	14,93	21,83
		15	330	49,5	6,53	2,22	28,73	

**Tabla 11.** Análisis de sólidos suspendidos totales mediante el método gravimétrico

Fecha de Muestreo	Nombre de la Muestra	SST			
		Vol. Muestra MI	Peso inicial Gr	Peso final gr	SST Ppm
15/09/2015	Efluente	100	0,2656	0,2882	22,60
25/09/2015	Control	100	0,2654	0,2856	20,20
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	150	0,2654	0,2681	1,80
25/09/2015	<i>L. minor</i>	200	0,2654	0,2771	5,85
26/09/2015	Efluente	100	0,2654	0,2869	21,50
06/10/2015	Control	150	0,2652	0,2911	17,27
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	200	0,2652	0,2662	0,50
06/10/2015	<i>L. minor</i>	200	0,2655	0,2763	5,40
07/10/2015	Efluente	100	0,2652	0,2893	24,10
17/10/2015	Control	100	0,2654	0,2849	19,50
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	150	0,2653	0,2661	0,53
17/10/2015	<i>L. minor</i>	150	0,2654	0,2736	5,47
18/10/2015	Efluente	100	0,2653	0,2874	22,10
28/10/2015	Control	150	0,2654	0,2927	18,20
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	200	0,2654	0,2673	0,95
28/10/2015	<i>L. minor</i>	200	0,2653	0,2731	3,90

**Tabla 12.** Resultados de los parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio

Fecha de Muestreo	Procedencia de la muestra	Nitratos	Nitritos	Amonio	Fosfatos	Sulfatos	Cloruros	DQO	DBO <sub>5</sub>	SST
		ppm NO <sub>3</sub> <sup>+</sup>	ppm NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	ppm NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	ppm PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	ppm SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	ppm Cl <sup>-</sup>	Ppm O <sub>2</sub>	ppm O <sub>2</sub>	ppm SST
15/09/2015	Efluente	25,34	1,15	139,54	2,47	389,09	89,32	97,34	107,3	22,6
25/09/2015	Control	24,07	1,10	131,66	2,40	368,43	82,49	92,07	96,95	20,2
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	8,18	0,17	20,75	0,22	48,71	13,14	9,84	8,93	1,8
25/09/2015	<i>L. minor</i>	7,51	0,30	18,12	0,41	82,14	8,41	21,23	27,2	5,85
26/09/2015	Efluente	14,21	0,77	127,58	2,18	254,76	97,20	103,71	161,25	21,5
06/10/2015	Control	13,81	0,72	124,55	2,09	233,49	90,37	97,14	150	17,27
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	1,21	0,01	9,93	0,24	11,63	13,66	5,77	7,05	0,5
06/10/2015	<i>L. minor</i>	0,40	0,07	6,37	0,38	43,85	5,78	18,48	22,35	5,4
07/10/2015	Efluente	26,35	1,08	133,08	2,60	256,59	131,35	117,69	211,5	24,1
17/10/2015	Control	22,53	1,02	129,09	2,51	238,96	123,99	109,69	199,5	19,5
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	1,48	0,02	13,95	0,12	16,50	16,81	7,99	7,15	0,53
17/10/2015	<i>L. minor</i>	0,54	0,10	7,39	0,27	53,57	12,61	22,84	26,64	5,47
18/10/2015	Efluente	27,69	1,15	135,46	2,93	358,70	119,27	108,43	197,5	22,1
28/10/2015	Control	24,94	1,10	131,54	2,80	342,29	111,91	99,36	189,25	18,2
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	1,74	0,03	9,34	0,07	12,24	15,76	5,93	6,98	0,95
28/10/2015	<i>L. minor</i>	2,95	0,10	4,70	0,22	49,93	7,88	19,26	21,83	3,9

**Tabla 13.** Resultados del análisis de los parámetros microbiológicos.

Fecha de Muestreo	Procedencia de la muestra	Coliformes totales	Coliformes fecales	<i>Escherichia coli</i>
		NMP/100ml	NMP/100ml	NMP/100ml
15/09/2015	Efluente	1,60E+08	1,60E+08	3,50E+07
25/09/2015	Control	1,42E+08	1,40E+08	3,20E+07
25/09/2015	<i>E. crassipes</i>	7,36E+04	4,70E+04	7,90E+03
25/09/2015	<i>L. minor</i>	1,10E+07	9,80E+06	7,29E+06
26/09/2015	Efluente	1,60E+08	1,60E+08	1,60E+08
06/10/2015	Control	1,36E+08	1,36E+08	1,37E+08
06/10/2015	<i>E. crassipes</i>	2,60E+04	2,30E+04	1,90E+04
06/10/2015	<i>L. minor</i>	7,58E+06	7,40E+06	5,82E+06
07/10/2015	Efluente	1,60E+08	1,60E+08	2,80E+07
17/10/2015	Control	1,39E+08	1,25E+08	2,60E+07
17/10/2015	<i>E. crassipes</i>	1,70E+04	9,20E+04	6,10E+03
17/10/2015	<i>L. minor</i>	4,80E+06	6,60E+06	6,69E+06
18/10/2015	Efluente	1,60E+08	1,60E+08	1,60E+08
28/10/2015	Control	1,23E+08	1,31E+08	1,30E+08
28/10/2015	<i>E. crassipes</i>	2,20E+04	9,80E+03	8,56E+03
28/10/2015	<i>L. minor</i>	3,30E+05	3,60E+06	8,74E+05

**Anexo 2. Análisis de Varianza y Prueba de Tukey al 5% de los parámetros físicoquímicos y microbiológicos del agua tratada en los estanques.**

**Tabla 14. Análisis de Varianza de conductividad eléctrica**

<b>Fuente</b>	<b>Gl</b>	<b>S Cuadr.</b>	<b>S Med.</b>	<b>Fisher</b>	<b>P</b>
Tratamientos	2	2414591	1207296	35,0900	0,0001
Error	9	309637	34404		
Total	11	2724228			
CV	34,3600				
Grand Mean	539,8300				

**Tabla 15. Prueba de Tukey al 5% para conductividad eléctrica**

<b>Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CE for Tratamiento</b>		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	1159,80	A
<i>E. crassipes</i>	346,50	B
<i>L. minor</i>	113,30	B
Alpha	0,05	Standard Error for Comparison 131,16
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 366,15
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 16. Análisis de Varianza de oxígeno disuelto**

<b>Fuente</b>	<b>gl</b>	<b>S Cuadr.</b>	<b>S Med.</b>	<b>Fisher</b>	<b>P</b>
Tratamientos	2	24,3473	12,1736	37,1800	0,0000
Error	9	2,9470	0,3274		
Total	11	27,2943			
CV	10,5800				
Grand Mean	5,4067				

**Tabla 17.** Prueba de Tukey al 5% para oxígeno disuelto

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of OD for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	3,44	B
<i>E. crassipes</i>	6,75	A
<i>L. minor</i>	6,04	A
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 0,40
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 1,13
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 18.** Análisis de Varianza de turbidez

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	915,2800	457,640	7,3000	0,0130
Error	9	563,9900	62,665		
Total	11	1479,2700			
CV	78,0600				
Grand Mean	10,1420				

**Tabla 19.** Prueba de Tukey al 5% para turbidez

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of turbidez for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	22,21	A
<i>E. crassipes</i>	1,82	B
<i>L. minor</i>	6,41	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 5,60
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 15,63
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 20.** Análisis de Varianza de solidos suspendidos totales

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	708,1030	354,0510	327,0000	0,0000
Error	9	9,7450	1,0830		
Total	11	717,8470			
CV	12,7700				
Grand Mean	8,1483				

**Tabla 21.** Prueba de Tukey al 5% para sólidos suspendidos totales

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of SST for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	18,79	A
<i>E. crassipes</i>	0,95	C
<i>L. minor</i>	4,71	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 0,74
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 2,05
Error term used: Error, 9 DF		
All 3 means are significantly different from one another.		

**Tabla 22.** Análisis de Varianza de pH

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	2,3080	1,1540		0,0004
Error	9	0,5075	0,0564		
Total	11	2,8157			
CV	3,0500				
Grand Mean	7,7967				

**Tabla 23.** Prueba de Tukey al 5% para pH.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of pH for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	8,24	A
<i>E. crassipes</i>	7,20	B
<i>L. minor</i>	7,96	A
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 0,17
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 0,47
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 24.** Análisis de Varianza de nitratos

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	896,7600	448,3820	27,7500	0,0001
Error	9	145,4400	16,2600		
Total	11	1042,2000			
CV	44,11%				
Grand Mean	9,1133				

**Tabla 25.** Prueba de Tukey al 5% para nitratos.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of nitratos for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	21,34	A
<i>E. crassipes</i>	3,15	B
<i>L. minor</i>	2,85	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 2,84
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 7,94
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 26.** Análisis de Varianza de nitritos

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	2,1540	1,0770	78,0200	0,0000
Error	9	0,1242	0,0138		
Total	11	2,2782			
CV	30,38%				
Grand Mean	0,3867				

**Tabla 27.** Prueba de Tukey al 5% para nitritos.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of nitritos for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	0,99	A
<i>E. crassipes</i>	0,06	B
<i>L. minor</i>	0,12	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 0,08
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 0,23
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 28.** Análisis de Varianza de amonio

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	37100,0000	18550,0000	735,2500	0,0000
Error	9	227,10000	25,2000		
Total	11	37327,1000			
CV	9,92%				
Grand Mean	50,6160				

**Tabla 29.** Prueba de Tukey al 5% para amonio.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of amonio for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	129,21	A
<i>E. crassipes</i>	13,49	B
<i>L. minor</i>	9,14	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 3,55
Critical Q Value 3,95		Critical Value for Comparison 9,92
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 30.** Análisis de Varianza de fosfatos

Fuente	gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	13,0494	6,5247	188,8400	0,0000
Error	9	0,3110	0,0346		
Total	11	13,3603			
CV	19,01%				
Grand Mean	0,9777				

**Tabla 31.** Prueba de Tukey al 5% para fosfatos.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of fosfatos for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	2,45	A
<i>E. crassipes</i>	0,16	B
<i>L. minor</i>	0,32	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 0,13
Critical Q Value 3,95		Critical Value for Comparison 0,37
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 32.** Análisis de Varianza de sulfatos

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	177188,0000	88593,9000	48,7300	0,0000
Error	9	16362,0000	1818,0000		
Total	11	193550,0000			
CV	34,07%				
Grand Mean	125,1400				

**Tabla 33.** Prueba de Tukey al 5% para sulfatos.

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of sulfatos for Tratamiento			
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups	
Control	295,79	A	
<i>E. crassipes</i>	22,37	B	
<i>L. minor</i>	57,37	B	
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 30,15	
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 84,16	
Error term used: Error, 9 DF			
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.			

**Tabla 34.** Análisis de Varianza de cloruros

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	21751,6000	10875,8000	85,2900	0,0000
Error	9	1147,6000	127,5000		
Total	11	22899,2000			
CV	26,81%				
Grand Mean	42,1190				

**Tabla 35.** Prueba de Tukey al 5% para cloruros

<b>Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of cloruros for Tratamiento</b>		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	102,19	A
<i>E. crassipes</i>	15,63	B
<i>L. minor</i>	8,54	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 7,98
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 22,29
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 36.** Análisis de Varianza de demanda bioquímica de oxígeno

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	55037,6000	27518,8000	38,0300	0,0000
Error	9	6512,8000	723,6000		
Total	11	61550,3000			
CV	42,26%				
Grand Mean	63,6520				

**Tabla 37.** Prueba de Tukey al 5% para demanda bioquímica de oxígeno

<b>Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DBO for Tratamiento</b>		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	158,9300	A
<i>E. crassipes</i>	7,5300	B
<i>L. minor</i>	24,5000	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 19,02
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 53,10
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 38.** Análisis de Varianza de demanda química de oxígeno

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	19903,0000	9951,4800	478,0600	0,0000
Error	9	187,3000	20,8200		
Total	11	20090,3000			
CV	10,74%				
Grand Mean	42,4670				

**Tabla 39.** Prueba de Tukey al 5% para demanda química de oxígeno

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of DQO for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	99,5650	A
<i>E. crassipes</i>	7,3820	C
<i>L. minor</i>	20,4530	B
Alpha	0,05	Standard Error for Comparison 3,23
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 9,01
Error term used: Error, 9 DF		
All 3 means are significantly different from one another.		

**Tabla 40.** Análisis de Varianza de coliformes totales

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	4,630E+16	2,315E+16	853,5600	0,0000
Error	9	2,441E+14	2,712E+13		
Total	11	4,654E+16			
CV	11,02%				
Grand Mean	4,72E+07				

**Tabla 41.** Prueba de Tukey al 5% para coliformes totales

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CT for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	1,35E+08	A
<i>E. crassipes</i>	34658	B
<i>L. minor</i>	6,68E+06	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 3,63E+06
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 1,03E+07
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Tabla 42.** Análisis de Varianza de coliformes fecales

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	4,486E+16	2,243E+16	1386,1100	0,0000
Error	9	1,456E+14	1,618E+13		
Total	11	4,500E+16			
CV	8,63%				
Grand Mean	4,66E+07				

**Tabla 43.** Prueba de Tukey al 5% para coliformes fecales

Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of CF for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	1,33E+08	A
<i>E. crassipes</i>	22250	B
<i>L. minor</i>	6,85E+06	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 2,84E+06
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 7,94E+06
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

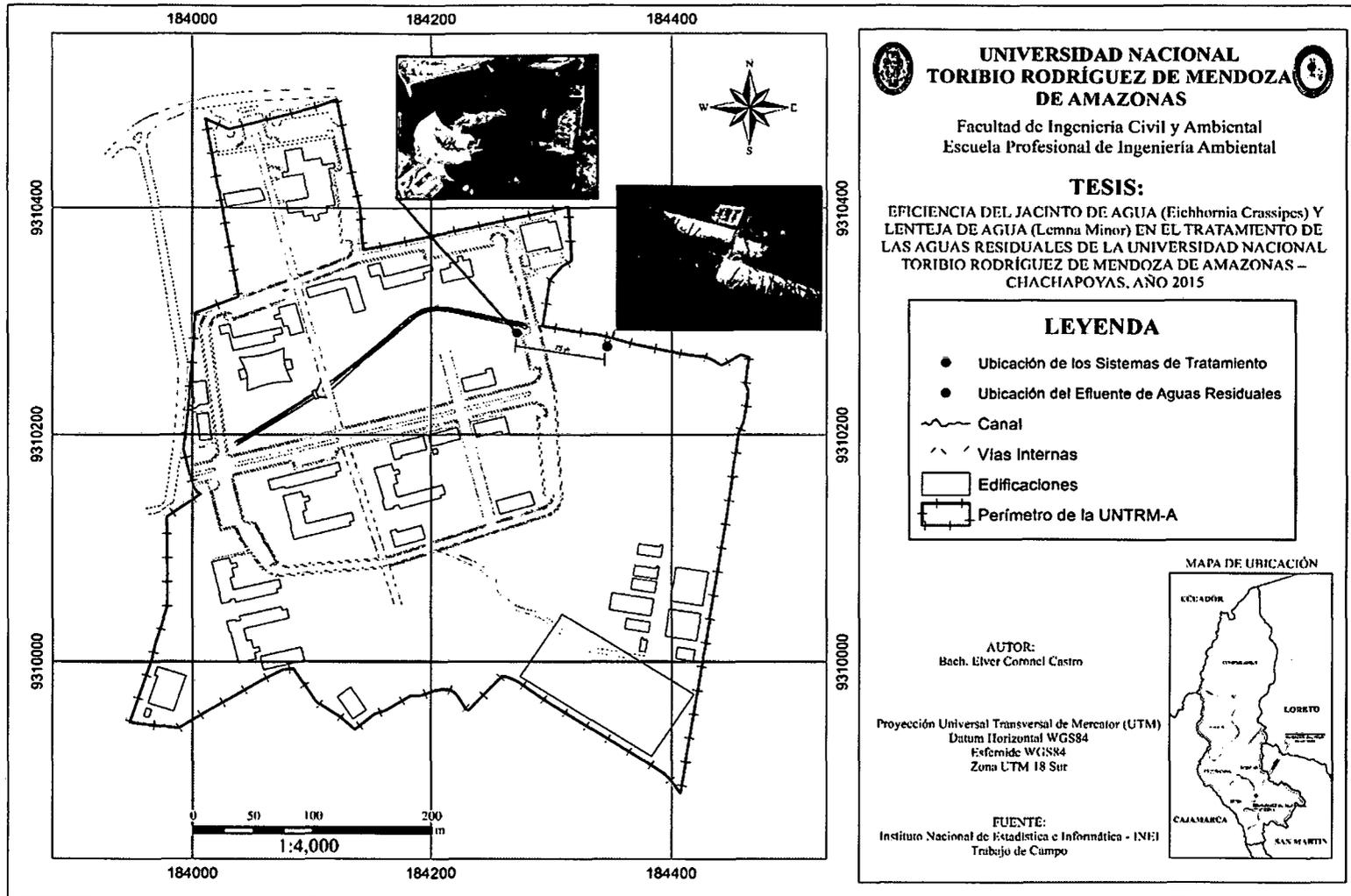
**Tabla 44.** Análisis de Varianza de *escherichia coli*

Fuente	Gl	S Cuad.	S Med.	Fisher	P
Tratamientos	2	1,655E+16	8,277E+15	6,7800	0,0160
Error	9	1,098E+16	1,221E+15		
Total	11	2,754E+16			
CV	121,29%				
Grand Mean	2,88E+07				

**Tabla 45.** Prueba de Tukey al 5% para *escherichia coli*.

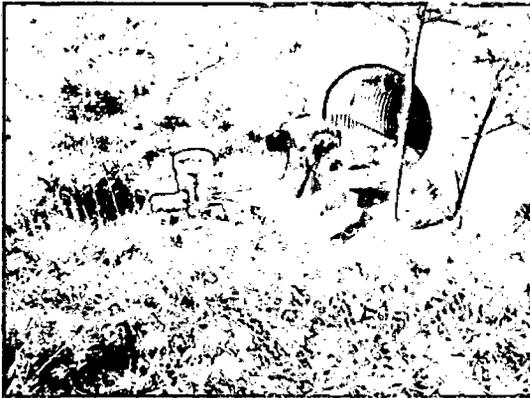
Tukey HSD All-Pairwise Comparisons Test of EC for Tratamiento		
Tratamiento	Mean	Homogeneous Groups
Control	8,13E+07	A
<i>E. crassipes</i>	10390	B
<i>L. minor</i>	5,17E+06	B
Alpha	0.05	Standard Error for Comparison 2,47E+07
Critical Q Value	3,95	Critical Value for Comparison 6,90E+07
Error term used: Error, 9 DF		
There are 2 groups (A and B) in which the means are not significantly different from one another.		

**Anexo 03. Ubicación de los tratamientos**



**Figura 07. Mapa de ubicación de los tratamientos**

Anexo 04. Trabajos realizados en campo.



Fotografía 1. Instalacion de los estanques



Fotografía 2. Tres estanques de vidrio



Fotografía 3. Recolección de *E. crassipes*



Fotografía 4. Recolección de *L. minor*



Fotografía 5. Llenado de los estanques con  
Agua residual



Fotografía 6. Estanque: Control, *E. crassipes* y *L. minor*

**Anexo 05. Toma de muestras y mediciones en campo**



**Fotografía 7. Muestra del T-C para análisis fisicoquímico**



**Fotografía 8. Muestra del T-E para análisis fisicoquímico**



**Fotografía 9. Muestra del T-L para análisis fisicoquímico**



**Fotografía 10. Muestra del T-E para análisis microbiológico**



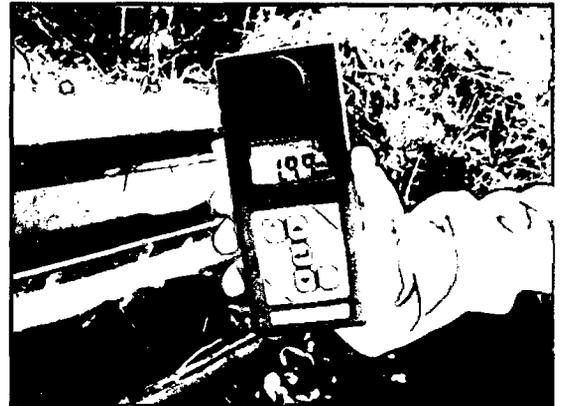
**Fotografía 11. Evaluaciones con los equipos de campo en el T-C**



**Fotografía 12. Evaluaciones con los equipos de campo en el T-E**



Fotografía 13. Evaluaciones con los equipos  
De campo en el T-L

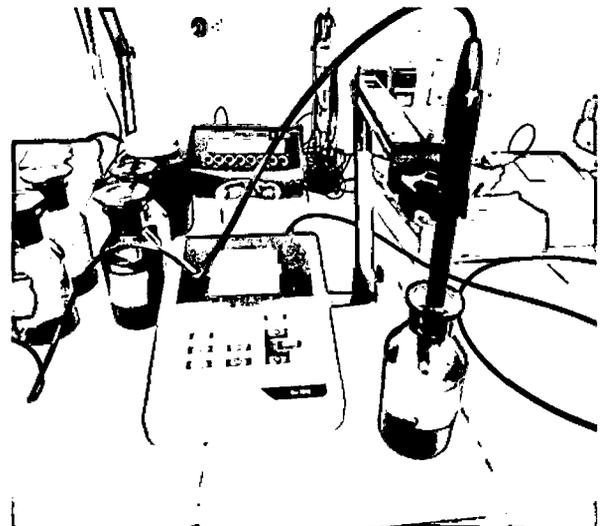


fotografía 14. Mediciones realizados en  
campo.

**Anexo 06. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las muestras en el laboratorio**



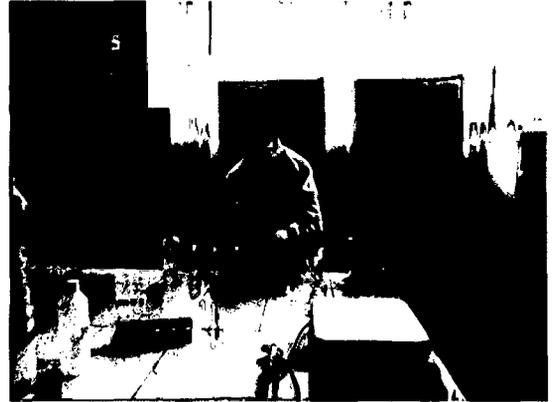
Fotografía 15. Análisis de cloruros



Fotografía 16. Análisis de DBO<sub>5</sub>



Fotografía 17. Análisis de nitratos



Fotografía 18. Análisis de amonio



Fotografía 19. Lectura en el espectrofotómetro



Fotografía 20. Análisis microbiológico