

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

**Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas  
mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia  
Stratiotes, plantas típicas de la Selva Peruana**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Karina Chang Gutiérrez  
Carmen Rosa Huamán Taype

Asesor:

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**Lima, agosto de 2019**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EFICIENCIA EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS MEDIANTE LAS MACRÓFITAS EICHHORNIA CRASSIPES Y PISTIA STRATIOTES, PLANTAS TÍPICAS DE LA SELVA PERUANA" constituye la memoria que presenta los Bachilleres Carmen Rosa Huamán Taype y Karina Chang Gutiérrez para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 18 días del de Setiembre del año 2019.



---

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

**Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas  
mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes,  
plantas típicas de la Selva Peruana.**

# **TESIS**

Presentado para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

## **JURADO CALIFICADOR**

Mg. Iliana Del Carmen Gutiérrez Rodríguez  
**Presidenta**

Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio  
**Secretario**

Mg. Joel Hugo Fernández Rojas  
**Vocal**

Ing. Evelyn Diana Ruiz Gonzales  
**Vocal**

Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga  
**Asesora**

Lima, 29 de agosto de 2019

## DEDICATORIA

Dedico en primer lugar a Dios, por darme la fe y perseverancia impartida en mí, pudiendo vencer todos los obstáculos presentados en el camino y lograr llegar hasta este punto de mi vida profesional.

A mis padres, Fidel Chang y Rebeca Gutiérrez, quienes fueron mis dos grandes motivos para seguir adelante, sabiendo guiarme por el buen camino, inculcándome valores para ser una buena persona.

A mis hermanos, quienes siempre estuvieron conmigo para brindarme todo su apoyo y algunos amigos que pusieron confianza en mí.

***Chang Gutiérrez Karina.***

La presente investigación está dedicada a Dios por darme la fuerza, la salud y el conocimiento necesario; a mis padres, Mardonio Huamán Méndez y Fortunata Taype Medina por todo el amor y confianza brindada, al mismo tiempo, por todo el apoyo económico que me dieron para poder alcanzar una de mis metas. A mis hermanos por el apoyo constante y por mostrarme que todo con dedicación y esfuerzo es posible.

***Huamán Taype Carmen Rosa.***

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios por ser nuestro guía en el camino de nuestra vida profesional, al Programa Nacional de Becas y Crédito Educativo (PRONABEC) por darnos la oportunidad de realizar nuestro estudio superior y así poder cumplir una de nuestras metas.

De la misma forma, agradecer a la Magister Milda Amparo Cruz Huaranga por ser nuestra asesora y mentora en todo el proceso de la tesis, brindándonos todo su conocimiento y experiencia en el tema.

A la Universidad Peruana Unión por acogernos en sus aulas por todo el periodo académico y a sus docentes por todo el conocimiento brindado.

## TABLA DE CONTENIDOS GENERALES

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....	18
1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	18
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	20
1.3. PRESUPOSICIÓN FILOSÓFICA .....	21
1.4. OBJETIVO .....	21
1.4.1. Objetivo principal .....	21
1.4.2. Objetivos específicos .....	21
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO .....	23
2.1. ANTECEDENTES.....	23
2.1.1. Internacional.....	23
2.1.2. Nacional .....	24
2.2. MARCO LEGAL .....	25
2.3. AGUAS RESIDUALES.....	27
2.4. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES .....	27
2.4.1. Aguas residuales domésticas .....	27
2.4.2. Aguas Industriales .....	27
2.4.3. Aguas residuales municipales .....	28
2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS.....	28
2.5.1. Características físicas.....	28
2.5.2. Características químicas .....	28
2.5.3. Características biológicas.....	29
2.6. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA .....	29
2.6.1. Tratamiento primario.....	29
2.6.2. Tratamiento secundario .....	30
2.6.3. Tratamiento terciario .....	30
2.7. FITODEPURACIÓN.....	31
2.8. HUMEDALES ARTIFICIALES .....	31
2.8.1. Características de los humedales artificiales.....	32
2.8.2. Clasificación de los humedales artificiales .....	32
2.8.3. Tipos de humedales artificiales .....	34

2.9.	TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CON MACRÓFITAS ACUÁTICAS.....	36
2.9.1.	Jacinto de Agua ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) .....	37
2.9.2.	Lechuga de agua ( <i>Pistia stratiotes L.</i> ) .....	40
2.9.3.	Mecanismo de depuración de las macrófitas.....	45
2.9.4.	Rol de los microorganismos en la depuración del agua residual domestica mediante macrófitas.....	46
2.9.5.	Proceso de remoción o depuración de contaminantes en los humedales artificiales con macrófitas acuáticas flotantes.....	49
2.9.6.	Cosechas de las macrófitas.....	53
2.9.7.	Disposición de las macrófitas .....	53
	CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	54
3.1.	LUGAR DE EJECUCIÓN.....	54
3.1.1.	Ubicación Geográfica del Distrito. ....	54
3.1.2.	Ubicación geográfica del Proyecto. ....	56
3.1.3.	Condiciones climatológicas. ....	57
3.1.4.	Descripción de las viviendas. ....	58
3.2.	METODOLOGÍA .....	59
3.2.1.	Diagnóstico mediante la caracterización de los efluentes domésticos sin tratamiento. ....	59
3.2.2.	Implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas ( <i>Eichhornia Crassipes</i> ) y ( <i>Pistia Stratiotes</i> ).....	62
3.2.3.	Muestreo del agua residual domestica tratada mediante humedales artificiales con macrófitas flotantes. ....	72
3.2.4.	Eficiencia de las macrófitas en el tratamiento de las aguas residuales domésticas..	76
3.2.5.	Determinación de la calidad del efluente del sistema de tratamiento contrastando con las normativas vigentes.....	76
3.3.	VARIABLES DE ESTUDIO.....	78
3.3.1.	Variables independientes .....	78
3.3.2.	Variables dependientes .....	78
3.4.	ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	78
3.5.	FORMULACIÓN DE HIPOTESIS.....	79
3.6.	DISEÑO DE EXPERIMENTOS .....	79

3.6.1.	Diseño estadístico.....	79
3.6.2.	Análisis estadístico .....	79
3.6.3.	Flujo experimental.....	81
CAPÍTULO IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN.....		82
4.1.	Resultados de los parámetros analizados antes y después del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas (Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes). 82	
4.1.1.	Resultado mensual de los parámetros analizados antes y después del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas .....	84
4.2.	Eficiencia del tratamiento entre las macrófitas acuáticas (Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes) en el tratamiento de aguas residuales domesticas .....	98
4.3.	Determinación de la calidad del efluente del sistema de tratamiento contrastando con las normativas vigentes.....	102
4.4.	Diseño estadístico de los parámetros analizados.....	103
4.4.1.	Aceites y grasas.....	104
4.4.2.	Coliformes termotolerantes.....	106
4.4.3.	Demanda bioquímica de oxígeno.....	108
4.4.4.	Demanda química de oxígeno.....	110
4.4.5.	Potencial de hidrogeno.....	112
4.4.6.	Solidos totales suspendidos .....	114
4.4.7.	Temperatura.....	116
4.5.	Hipótesis.....	117
4.6.	Seguimiento del desarrollo de las macrófitas .....	118
4.6.1.	Eichhornia Crassipes .....	118
4.6.2.	Pistia Stratiotes .....	119
CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN.....		122
CAPÍTULO VI. RECOMENDACIÓN .....		123
REFERENCIA .....		124
ANEXOS.....		134

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Clasificación taxonómica del Eichhornia Crassipes. ....	37
<b>Tabla 2:</b> Composición química del Eichhornia crassipes. ....	39
<b>Tabla 3:</b> Taxonomía de la lechuga de agua.....	41
<b>Tabla 4:</b> Componentes químicos de la lechuga de agua. ....	42
<b>Tabla 5:</b> Beneficios y efectos negativos que ocasiona la macrófita Pistia S. ....	45
<b>Tabla 6:</b> Grupo bacteriano que interviene en la depuración de agua residual en un humedal artificial. ....	47
<b>Tabla 7:</b> Ubicación geográfica del distrito de Llaylla.....	54
<b>Tabla 8:</b> Límites del distrito de Llaylla. ....	54
<b>Tabla 9:</b> Ubicación geográfica del proyecto. ....	56
<b>Tabla 10:</b> Límites del lugar donde se encuentra el proyecto. ....	56
<b>Tabla 11:</b> Materiales y equipos para el aforo del caudal. ....	59
<b>Tabla 12:</b> Descripción del muestreo realizado al agua residual doméstica. ....	60
<b>Tabla 13:</b> Materiales y equipos para el muestreo de efluente.....	61
<b>Tabla 14:</b> Materiales y equipos para la construcción del sedimentador.....	64
<b>Tabla 15:</b> Materiales y equipos para la construcción de los humedales. ....	66
<b>Tabla 16:</b> Materiales y equipo para las obras y actividades complementarias.....	68
<b>Tabla 17:</b> Materiales y equipos para la recolección de las macrófitas. ....	69
<b>Tabla 18:</b> Ubicación geográfica del estanque o laguna.....	70
<b>Tabla 19:</b> <i>Características de las macrófitas</i> .....	71
<b>Tabla 20:</b> Plan de muestreo del agua residual doméstica antes y después de su tratamiento...72	72
<b>Tabla 21:</b> Plan de evacuación del efluente de los humedales. ....	73
<b>Tabla 22:</b> Fechas de muestreos del agua residual antes y después del tratamiento. ....	74
<b>Tabla 23:</b> Metodología para el análisis de los parámetros. ....	75
<b>Tabla 24:</b> Límites Máximo Permisibles para efluentes de PTAR. ....	77
<b>Tabla 25:</b> Estándar de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático. ....	77
<b>Tabla 26:</b> Estructura del análisis de varianza para un diseño completamente al azar.....	80
<b>Tabla 27:</b> Resultado del análisis de calidad de agua residual. ....	82

<b>Tabla 28:</b> Eficiencia del porcentaje de remoción del tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las especies Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes.....	101
<b>Tabla 29:</b> Comparación de resultados del pos-tratamiento con las normativas nacionales vigentes. ....	102
<b>Tabla 30:</b> Replicas de los análisis del agua residual pre y pos-tratamiento. ....	103
<b>Tabla 31:</b> ANOVA para el parámetro Aceite y grasas. ....	104
<b>Tabla 32:</b> ANOVA para el parámetro Coliformes termotolerantes. ....	106
<b>Tabla 33:</b> ANOVA para el parámetro DBO. ....	108
<b>Tabla 34:</b> ANOVA para el parámetro DQO.....	110
<b>Tabla 35:</b> ANOVA para el parámetro pH. ....	112
<b>Tabla 36:</b> ANOVA para el parámetro solidos totales suspendidos. ....	114
<b>Tabla 37:</b> ANOVA para el parámetro temperatura. ....	116
<b>Tabla 38:</b> Seguimiento del Eichhornia Crassipes por semana.....	118
<b>Tabla 39:</b> Características morfológicas de Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) por semana. ....	118
<b>Tabla 40:</b> Seguimiento del Pistia Stratiotes por semana.....	120
<b>Tabla 41:</b> Características morfológicas de Pistia Stratiotes (Lechuga de agua) por semana. ...	120

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b> Sistema de tratamiento con macrófitas superficiales. (Fundación Humedales, 2016)	33
<b>Figura 2:</b> Técnica de tratamiento establecido en macrófitas sumergidos. (Salati, 2000)	33
<b>Figura 3:</b> Sistema de tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes. (López, 2009)	34
<b>Figura 4:</b> Humedal de Flujo superficial. (Fundación Humedales, 2016)	34
<b>Figura 5:</b> Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. (Fundación Humedales, 2016)	35
<b>Figura 6:</b> Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical. (Fundación Humedales, 2016)	35
<b>Figura 7:</b> Sistema de tratamiento de agua residual domestica con macrófitas. (Fundación Humedales, 2016)	36
<b>Figura 8:</b> Morfología de Eichhornia Crassipes	38
<b>Figura 9:</b> Morfología de Pistia Stratiotes	43
<b>Figura 10:</b> Actuación pasiva y activa de las macrófitas en la depuración del agua residual. Fuente: (Fundación Humedales, 2016)	46
<b>Figura 11:</b> Proceso de depuración de las bacterias en los humedales.	49
<b>Figura 12:</b> Procesos de depuración de los humedales artificiales. Adaptado de (Lordan, 2017).	52
<b>Figura 13:</b> Mapa de ubicación geográfica del distrito de Llaylla.	55
<b>Figura 14:</b> Ubicación geográfica del proyecto.	57
<b>Figura 15:</b> Vivienda de los beneficiarios.	58
<b>Figura 16:</b> Aforo del caudal de las viviendas	60
<b>Figura 17:</b> Muestreo del Efluente de las viviendas.	62
<b>Figura 18:</b> Dimensiones del sedimentador.	63
<b>Figura 19:</b> Construcción del tratamiento primario.	64
<b>Figura 20:</b> Dimensiones de los humedales.	65
<b>Figura 21:</b> Construcción del tratamiento secundario.	67
<b>Figura 22:</b> Instalación de tuberías y accesorios.	68
<b>Figura 23:</b> Recolección de las macrófitas.	70
<b>Figura 24:</b> Ubicación geográfica de las lagunas con macrófitas	71
<b>Figura 25:</b> Siembra de las macrófitas en los humedales.	72

<b>Figura 26:</b> Muestreo de efluentes de los humedales. ....	75
<b>Figura 27:</b> Resultados del parámetro aceites y grasas. ....	84
<b>Figura 28:</b> Resultados del parámetro número de coliformes fecales. ....	86
<b>Figura 29:</b> Resultados del parámetro DBO. ....	88
<b>Figura 30:</b> Resultados del parámetro DQO. ....	90
<b>Figura 31:</b> Resultados del parámetro pH. ....	92
<b>Figura 32:</b> Resultados del parámetro solidos totales suspendidos. ....	94
<b>Figura 33:</b> Resultados de la temperatura. ....	96
<b>Figura 34:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro aceites y grasas. ....	105
<b>Figura 35:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro Coliformes termotolerantes o fecales. ....	107
<b>Figura 36:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro DBO. ....	109
<b>Figura 37:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro DQO. ...	111
<b>Figura 38:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro pH. ....	113
<b>Figura 39:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro solidos totales suspendidos. ....	115
<b>Figura 40:</b> Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro temperatura. ....	117

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1:</b> Caudal del Efluente. ....	59
<b>Ecuación 2:</b> Volumen del sedimentador.....	62
<b>Ecuación 3:</b> Área del sedimentador. ....	62
<b>Ecuación 4:</b> Ancho del sedimentador.....	63
<b>Ecuación 5:</b> Largo del sedimentador.....	63
<b>Ecuación 6:</b> Eficiencia de remoción .....	76

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Informe de ensayo de los análisis del efluente de las viviendas (pre-tratamiento) ..	135
ANEXO 2: Cálculos de diseño .....	136
ANEXO 3: Esquema del sistema de tratamiento de agua residual doméstica.....	139
ANEXO 4: Mapa geográfica del distrito de Llaylla. ....	140
ANEXO 5: Área geográfica del proyecto. ....	141
ANEXO 6: Ubicación geográfica de las lagunas con macrófitas. ....	142
ANEXO 7: Panel fotográfico .....	143
ANEXO 8: Ejemplares de la cadena de custodia .....	151
ANEXO 9: Informe mensual de los análisis del agua residual domestica (pre-post) .....	152
ANEXO 10: Clasificación del rio Chahuamayo.....	166
ANEXO 11: Cronograma de actividades. ....	169
ANEXO 12: Presupuesto de la tesis. ....	170

## SÍMBOLOS USADOS

**DBO:** Demanda Bioquímica de Oxígeno.

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno.

**ECA:** Estándar Nacional de calidad ambiental.

**GPS:** Sistema de Posición Global.

**INACAL:** Instituto Nacional de Calidad.

**LMP:** Límite Máximo Permisible.

**MEF:** Ministerio de Economía y Finanzas.

**NORMA OS. 090:** Norma de Obras de Saneamiento en plantas de tratamiento de aguas residuales.

**OEFA:** Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental

**PTAR:** Planta de Tratamiento de Agua Residual.

**PVC:** Policloruro de vinilo.

**pH:** Potencial de Hidrogeno.

**SUNASS:** Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento.

**SENAMHI:** Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología.

**SST:** Solidos Suspendidos Totales.

**°C:** Grados Centígrados.

## RESUMEN

Esta investigación tuvo como finalidad evaluar la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia Stratiotes*) en el tratamiento de las aguas residuales doméstica en el distrito de Llaylla – Provincia de Satipo-Departamento de Junín, para lo cual se construyó un sistema de tratamiento basado en humedales artificiales con las macrófitas mencionadas. Este sistema consto de un sedimentador y cuatro humedales; el tratamiento del agua residual domestica tuvo una duración de cuatro meses donde se realizaron muestreos mensuales a los afluentes y efluentes.

Los parámetros analizados fueron fisicoquímicos y microbiológicos, donde la macrófita *Eichhornia Crassipes* removió el parámetro de aceites y grasas a 75.4%, DBO a un 78.2%, DQO al 72.1%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%, por otro lado, la macrófita *Pistia Stratiotes* removió el parámetro de aceites y grasas a 75.4%, DBO a un 79.8%, DQO al 73.7%, STS 82% y Coliformes fecales 99.9%.

En conclusión, la macrófita más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domesticas en el distrito de Llaylla fue *Pistia Stratiotes* con un porcentaje de remoción total de 82.2% comparado a la *Eichhornia Crassipes* cuya remoción fue de 81.5%. Por otro lado, la calidad del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes* es apta para ser vertidas al cuerpo recetor (rio Chahuamayo), ya que al comparar los resultados de los análisis mensuales con los parámetros del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP se encuentran dentro de los límites máximos permitidos. Por lo tanto, según esta investigación un sistema de tratamiento de agua residual domestica basada en humedales artificiales con la macrófita *Pistia Stratiotes* o *Eichhornia Crassipes* es una alternativa plausible para el tratamiento de los efluentes domésticos.

**Palabras clave:** Macrófitas, *Eichhornia Crassipes*, *Pistia Stratiotes*, eficiencia, agua residual doméstica.

## ABSTRACT

This research aimed to evaluate the efficiency of Waterhyacinth (*Eichhornia Crassipes*) and water lettuce (*Pistia Stratiotes*) in the treatment of waste water domestic Llaylla - province of Satipo-Department of Junin, district for which was built a system of treatment based on artificial wetlands with the aforementioned Macrophytes. This system had a settler and four wetlands; domestic wastewater treatment lasted for four months where the tributaries and effluents monthly samplings were carried out.

The parameters analyzed were physicochemical and microbiological, where the *Eichhornia Crassipes* macrofita removed the parameter of oils and fats to 75.4%, BOD to a 78.2%, cod to the 72.1%, STS 82% and 99.9%, on the other hand, *Pistia Stratiotes* macrofita fecal coliform It removed the parameter of oils and fats to 75.4%, BOD to a 79.8%, cod to 73.7%, 82% STS and fecal coliforms 99.9%.

In conclusion, the more efficient macrofita in the treatment of waste water domestic Llaylla district was *Pistia Stratiotes* with a percentage of total removal of 82.2% compared to the *Eichhornia Crassipes* whose removal was 81.5%. On the other hand, the quality of the effluent from the wastewater treatment system using the Macrophytes domestic *Eichhornia Crassipes* and *Pistia Stratiotes* is suitable for discharge receter (Chalhuamayo River), the body as to compare the results of the monthly analysis with D.S. N ° 003-2010-MINAM-LMP parameters are within the maximum limits allowed. Therefore, according to this research a waste water treatment system domestic wetlands with the macrofita-based *Pistia Stratiotes* or *Eichhornia Crassipes* is a plausible alternative for the treatment of domestic effluents.

**Key words:** Macrophytes, *Eichhornia Crassipes*, *Pistia Stratiotes*, efficiency, residual domestic water.

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

### **1.1. IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

La contaminación de los recursos hídricos por aguas residuales trae consigo muchas consecuencias como la reducción de la reserva de abastecimiento de agua dulce, aceleración en la eutrofización del agua dulce y de los ecosistemas marinos y pone en peligro la salud de millones de personas. Esta problemática se centra más en países de bajos ingresos económicos donde solo el 8% del agua residual es tratada, en cambio en los países de ingresos elevados el porcentaje registrado es de 70% (Bardon, 2017).

Según el Banco de Desarrollo de América Latina, (2015), en Latinoamérica solo el 30% de agua residual producida por la población es tratada, por otro lado, según (Bardon, 2017) la contaminación por microorganismos patógenos perjudica alrededor del tercio de los cursos fluviales de América Latina, África y Asia.

En el Perú, las causas principales de contaminación por aguas residuales se deben a la falta de investigación y desarrollo tecnológico, escasos recursos consignados a la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento de agua residual (PTAR); así mismo, según la (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), 2016) de las 253 localidades administradas por las Empresas Prestadoras de Servicio (EPS), el 35% no dispone de una infraestructura para el tratamiento de sus aguas residuales, por lo tanto, estas son vertidas a los ríos, mares y otros.

Por otro lado, según (Espinoza P. A., 2017) más de 800 municipalidades en el Perú vierten más 1.2 millones de metros cúbicos de aguas residuales crudas a los cuerpos de agua, contaminando así las fuentes de abastecimiento de agua para consumo humano. La provincia de Satipo no es ajena a esta problemática, ya que gran parte de los ríos que atraviesan por su

territorio vienen siendo contaminadas, los principales distritos que vierten sus aguas residuales son Rio Negro, Satipo, Llaylla y Mazamari y San Martin de Pangoa (Municipalidad de Satipo , 2014).

En el Distrito de Llaylla de la provincia de Satipo, las aguas residuales domesticas no son tratadas adecuadamente, por ello, su sistema de alcantarillado vierte directamente al rio Chalhuanayo, al mismo tiempo, uno de los anexos (Hermosas Pampa) desemboca también sus aguas residuales al rio de Hermosa Pampa. Ambos cuerpos receptores aguas abajo se unen para formar una sola cuenca. Estas aguas, son utilizadas directamente para consumo humano y otros servicios básicos por el distrito de Mazamari y algunos hogares lejanos del distrito de Llaylla.

Según el (Centro de Salud de Llaylla, 2013) las enfermedades que causantes de estas descargas son:

- Enfermedades Parasitosis: el centro de Salud de Llaylla en su laboratorio detecto 573 de casos parasitosis, siendo los más afectados los niños en un 92.5%. (Pacheco, 2017) El centro de salud del distrito de Mazamari detecto un 20.81 % de estas enfermedades (Municipalidad Distrital de Llaylla, 2014).
- Enfermedades infecciosas: estas enfermedades también son un gran problema en un 64.33% en niños del distrito de Llaylla (Pacheco, 2017) y en un 22.02% en el distrito de Mazamari (Municipalidad Distrital de Llaylla, 2014)

Otro factor que contribuye a la contaminación es la economía, según (Barrera, Porras, & Obregon, 2007) Llaylla se encuentra con un nivel alto de pobreza (0.91%), esto se debe al baja asignación de recursos brindados por la MEF y al déficit económico que viene sufriendo anualmente por la reducción de sus ingresos (Municipalidad Distrital de Llaylla, 2018).

De la misma manera, el nivel de educación juega un papel muy importante siendo que existe el desinterés de la población en acudir a las capacitación brindadas por los especialistas ambientales y la alta tasa de analfabetismo que según (Alvarez, 2010) es de 78.4% son factores que ayudan a la contaminación de los ríos y suelos por aguas residuales domésticas y municipales.

En el ámbito ambiental, la población del distrito de Llaylla viene a ser un factor determinante para el deterioro de la calidad acuática de fuentes hídricas principales como el río Chalhuanayo, que son contaminadas con coliformes fecales, grasas, detergentes, residuos líquidos y sólidos domiciliarios. Estos dañan principalmente a la flora y fauna acuática, trayendo grandes problemas al medio (Pacheco, 2017).

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La comparación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*, nos ayudará a identificar a la macrófitas más eficiente en remover los contaminantes que contiene el agua residual doméstica. Ya que, estas macrófitas según (Hidalgo, Montano, & Estrada, 2005) remueven con gran facilidad compuestos orgánicos, disminuye niveles de demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, y solidos suspendidos totales.

La identificación de la macrófitas más eficiente podrá ser utilizada como fitodepurador en un sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas para zonas donde habitan estas plantas, lugares con clima y características de las aguas residuales domesticas similares a la investigación. Por lo tanto, la aplicación de este proyecto en el distrito de Llaylla ayudará a disminuir la contaminación del recurso hídrico, el cual es una de las causantes de las enfermedades parasitarias e infecciosas, que dañan a la salud de la población que consume directamente estas aguas y también mejorara la calidad de la flora y fauna acuática.

Asimismo, la construcción de este sistema no solo trae beneficios ambientales o de salud, también beneficia al factor económico y social. Mediante la visita de universidades o instituciones que estén interesadas en tecnologías de tratamiento de aguas residuales amigables con el ambiente, de la misma forma, la venta de abonos orgánicos elaborados de las macrófitas recolectadas del raleo genera nuevos ingresos económicos a las familias beneficiadas.

### **1.3. PRESUPOSICIÓN FILOSÓFICA**

"Tomó, pues, Jehová Dios al hombre y lo puso en el huerto del Edén, para que lo labrara y lo cuidase" (Génesis 2: 15).

Hoy en día, las distintas actividades que realizamos contaminan a todo nuestro ecosistema, uno de ellos es; las aguas residuales domésticas las cuales son vertidas a ríos, lagos o mares sin previo tratamiento, ocasionando enfermedades y pérdida de especies tanto de flora como de fauna. Por tanto, nuestro trabajo como mayordomos de la naturaleza es tratar esas aguas con tecnología ecológica y amigable con el ambiente.

### **1.4. OBJETIVO**

#### **1.4.1. Objetivo principal**

Evaluar la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia Stratiotes*) en el tratamiento de las aguas residuales doméstica en el distrito de Llaylla – Provincia de Satipo-Departamento de Junín.

#### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Evaluar la eficiencia de la macrófita *Eichhornia Crassipes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.
- Evaluar la eficiencia de la macrófita *Pistia Stratiotes* en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

- Comparar la eficiencia de tratamiento entre las macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes*) y (*Pistia Stratiotes*) en el tratamiento de las residuales domésticas.
- Determinar la calidad del efluente del sistema de tratamiento contrastando con las normativas vigentes.

## **CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. ANTECEDENTES**

Durante muchos años muchos investigadores realizaron diversas pruebas para ver la eficiencia de las macrófitas acuáticas en el tratamiento de aguas residuales domésticas, por lo tanto, seguidamente se mencionarán algunas investigaciones realizadas a nivel internacional y nacional.

#### **2.1.1. Internacional**

“Application of Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes for treatment of urban sewage in Israel”, investigación realizada por (Zimmels, Kirzhner, & Malkovskaja, 2006); el objetivo de los investigadores fue evaluar a la eficiencia de las macrófitas en el tratamiento de aguas residuales a diferentes concentraciones y su posterior uso en el riego de árboles. La evaluación se realizó a humedales en ambientes diferentes: el primer ambiente fue un invernadero construido dentro de un laboratorio, este sistema consto de 5 estanques en forma de cascada y recirculante, el segundo ambiente fue construido al aire libre y consto de 2 estanques. Para ambos casos los autores probaron la eficiencia de las plantas bajo diferentes concentraciones de aguas residuales y de agua dulce. Los resultados obtenidos demostraron que las plantas utilizadas en ambas condiciones fueron capaces de reducir los niveles de DBO, DQO y SST y de esta manera estar dentro de los rangos permitidos por sus normas nacionales y locales.

Por otro lado, en el país de Colombia la Fundación Humedales de juntamente con otras organizaciones sociales y gubernamentales ha construido varios humedales llamados “filtros verdes”, estos son usados para el tratamiento de aguas residuales domésticos y municipales de 4 comunidades: Fúquene, Cuítiva, Susa y San Miguel de Sema. Estas comunidades fueron seleccionadas estratégicamente para la conservación de dos humedales altoandinos, ya que sus

residuos líquidos generaban un impacto negativo a estos cuerpos de agua. Por otro lado, los filtros verdes utilizan macrófitas nativas, tales como *Eichhornia crassipes*, *Azolla F.* y *Myriophyllum A.* Por último, la Fundación Humedales para garantizar la efectividad de los filtros en la remoción de contaminantes realizó varios análisis de calidad de agua, donde se obtuvieron los siguientes resultados: remoción de DBO al 96%, DQO al 83%, ST 54%, Aceites y Grasas 88%, Fosforo total 55%, Nitrógeno total 63%, coliformes fecales 99, 8% y coliformes totales 99% (Fundación Humedales, 2016).

### **2.1.2. Nacional**

Edgar Cupe (2009) en la ciudad de Lima, Perú desarrolló una investigación cuyo objetivo fue, encontrar un modelo de tecnologías apropiadas de bajo costo, operación, mantenimiento a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales domésticas con las macrófitas *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia Stratiotes* (lechuga de agua), para determinar la eficiencia de remoción de los principales contaminantes que se encuentran en las aguas. Donde los resultados fueron; Jacinto de agua su DBO fue de un 73%, coliformes totales y fecales 95.6%, sólidos totales suspendidos 79%, pH 9,36 unidades y Temperatura 16°C, Lechuga de agua su DBO fue de un 70 %, coliformes fecales 94,33%, sólidos totales suspendidos 72%, pH 6.44 unidades y su temperatura 33.2 °C. todo este resultado se encontró por debajo de los valores exigidos por la norma vigente (Cupe Flores, 2009).

Por otro lado, en Moyobamba (Chumbe & García, 2012) realizaron una investigación titulada " **Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba.**", el objetivo de los investigadores fue determinar la eficiencia de las macrófitas *Eichhornia C.* y *Pistia S.* en la remoción de contaminantes presentes en las aguas servidas. Por lo tanto, diseñaron sistemas de tratamiento por especie y asociada con un tiempo de retención hidráulico de 8 días. Los resultados obtenidos en esta investigación demostraron que *Eichhornia*

crassipes es más eficiente que Pistia Stratiotes en la remoción de contaminantes de las aguas servidas, donde la primera elimino el 85. 5% de coliformes, 77.7% nitratos, 73.5% coliformes termotolerantes, 661% DBO<sub>5</sub> y 60% SST, para la segunda fue: 67.1% fosfatos, 65.6% nitratos, 63.8% DBO<sub>5</sub> y 62.8% coliformes totales.

## **2.2. MARCO LEGAL**

- **Constitución política del Perú 1993**

### **Artículo N° 2; inciso 22.- Derecho fundamental de la persona**

Menciona que “Toda persona tiene derecho a la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida”.

### **Artículo 67.- Política Ambiental**

En el artículo 67° se declara que” el estado determina la política nacional del ambiente. Promueve el uso sostenible de sus recursos naturales.”

El uso sostenible del agua enmarca una adecuada gestión de los recursos hídricos que pueda satisfacer las necesidades de las futuras generaciones, tomando en conocimiento la importancia de cuidar y realizar un buen manejo de los recursos hídricos.

- **Ley General del Ambiente N°28611**

En su título Preliminar de Derechos y principios

### **Artículo I.-Del derecho y deber fundamental**

Menciona que, “Toda persona tiene el derecho irrenunciable a vivir en un ambiente saludable, equilibrado y adecuado para el pleno desarrollo de la vida, y el deber de contribuir a una efectiva gestión ambiental y de proteger el ambiente, así como sus componentes,

asegurando particularmente la salud de las personas en forma individual y colectiva, la conservación de la diversidad biológica, el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales y el desarrollo sostenible del país”

- **DECRETO SUPREMO N.º 003-2010-MINAM- LMP**

El presente decreto es para nos presenta el Límite Máximo Permissible (LMP) para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (PTAR). El LMP es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente, 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 MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental (MINAM, 2010).

- **DECRETO SUPREMO N° 004-2017-MINAM- ECA**

Los Estándares de calidad ambiental (ECA) determinan el nivel de calidad en parámetros físicos, químicos y biológicos del agua como cuerpo receptor para demostrar que no constituye riesgo potencial para la salud del ser humano ni el ambiente, y siendo el caso contrario permiten adoptar medidas de prevención y control de la calidad del agua o medidas correctivas ante el incumplimiento de los ECA (MINAM, 2017)

#### **Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua superficiales que forman parte de ecosistemas frágiles, áreas naturales protegidas y/o zonas de amortiguamiento, cuyas características requieren ser protegidas.

##### **Subcategoría E2: Ríos**

Entiéndase como aquellos cuerpos naturales de agua lóticos, que se mueven continuamente en una misma dirección:

## **Ríos de la selva**

Entiéndase como aquellos ríos y sus afluentes, comprendidos en la parte baja de la vertiente oriental de la Cordillera de los Andes, por debajo de los 600 msnm, incluyendo las zonas meándricas.

### **2.3. AGUAS RESIDUALES**

EL Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA, 2014) define como la alteración de las propiedades originales del agua mediante actividad del hombre. Por ende, estas aguas representan un peligro para el ecosistema y la salud del ser humano, para ello se requiere desarrollar un tratamiento adecuado, y poder descargar al alcantarillado, devolver a un cuerpo natural o ser reusadas.

### **2.4. TIPOS DE AGUAS RESIDUALES**

Según (OEFA, 2014) los tipos de aguas residuales son:

#### **2.4.1. Aguas residuales domésticas**

Son de origen residencial y comercial generados por las actividades humanas, son aguas con restos de aceite, grasas y productos de limpieza. Por otro lado, la composición de estas va depender del nivel cultural y socioeconómico de la población (OEFA, 2014; Mendoza S. P., 2015)

#### **2.4.2. Aguas Industriales**

Son aguas generadas a consecuencia de la utilización en un proceso productivo, incluye también líquidos generados por la actividad minera, energéticas, agrícola, y agroindustrial. Estos presentan un gran aumento de contaminantes que poseen una acción terriblemente compleja sobre el medio ambiente acuático, afectando el desarrollo natural de los ecosistemas por el cambio de situaciones de los parámetros físicos y químicos (OEFA, 2014).

### **2.4.3. Aguas residuales municipales**

La norma de Obras y Saneamiento 0.090 (Norma OS. 0.090), define como la mezcla de aguas residuales domésticas, aguas residuales industriales previamente tratadas y aguas de drenaje pluvial, que son descargadas al sistema de alcantarillado para su posterior tratamiento.

## **2.5. CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS**

### **2.5.1. Características físicas**

Los sólidos totales (materias en suspensión, sedimentables, coloidal y disuelta), el olor, color, temperatura, turbiedad y densidad, son las características físicas más importantes de las aguas residuales domésticas (Sarango Araujo & Sánchez Ramírez, 2016).

### **2.5.2. Características químicas**

La materia orgánica, inorgánica y los gases en el agua son sus principales características del agua residual doméstica (Mendoza S. P., 2015).

- Demanda Química de oxígeno
- Demanda Bioquímica de oxígeno
- Grasas y aceite
- pH
- Nitrógeno total
- Fósforo

### **2.5.3. Características biológicas**

La presencia de organismo en el agua residual va a depender de la temperatura, de la concentración de materia orgánica y pH (Sarango Araujo & Sánchez Ramírez, 2016).

- Bacterias
- Coliformes fecales, totales

## **2.6. TIPOS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

El tratamiento de las aguas residuales es en conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que se encargan de disminuir la cantidad de contaminantes previamente de poder ser arrojadas a los ríos (Peternell, 2010).

### **2.6.1. Tratamiento primario**

Remueve a los sólidos que se encuentra suspendidas en el agua mediante la sedimentación, utilizando tratamientos físicos o químicos (Manahan, 2007).

Este tratamiento ayuda a eliminar aproximadamente el 90% de los sólidos sedimentables, el 65% de los sólidos en suspensión y una disminución de la DBO alrededor del 35 % (Delgadillo Zurita & Condori Carrasco, 2010).

Las unidades empleadas son:

- Sedimentadores primarios
- Tanques sépticos con zanjas de infiltración
- Zanjas de infiltración
- Tanques Imhoff

### **2.6.2. Tratamiento secundario**

Consiste en reducción de la materia orgánica mediante el proceso biológico de autodepuración. En este proceso, el insumo orgánico biodegradable es consumida por bacterias a quien se le brinda oxígenos y condiciones controladas para su buen desarrollo en el tratamiento (Gomez, 2000).

Los mecanismos utilizados para este tratamiento pueden ser:

- Lagunas aireadas
- Filtro percolador
- Humedales artificiales
- Lodos activados

### **2.6.3. Tratamiento terciario**

El tratamiento terciario se encarga de remover los nutrientes tales como el nitrógeno y fosforo, desaparecer microbios, bacterias patógenas, eliminar color y olor indeseable, que produzcan burbujas y eutrofización en los cuerpos receptores (Gomez, 2000).

Entre las alternativas para la realización de estos procesos están:

- Microfiltración
- Adsorción de carbón activado
- Intercambio iónico
- Ósmosis inversa
- Remoción de nutrientes cloración
- Ozonización

## **2.7. FITODEPURACIÓN**

La fitodepuración es una tecnología ecológica que se caracteriza por tratar los contaminantes del agua residual mediante procesos biológicos y fisicoquímicos en los que están involucradas las macrófitas del propio ecosistema acuático (Shiguango, 2016).

Por otro lado, (Saavedra, 2017) menciona la diferencia que existe entre el termino fitorremediación acuática y fitodepuración, el primero se refiere al tratamiento o recuperación de cualquier cuerpo de agua que se encuentre contaminada, mientras tanto, el segundo término se refiere directamente a la depuración de aguas residuales.

Según (Arias Lafargue, 2013) el tratamiento de aguas residuales mediante la fitodepuración remueve en grandes porcentajes el DBO, DQO SST, metales pesados y algunos compuestos orgánicos.

Para (Del Lungo, 2012) estos sistemas son de gran ayuda para aquellas zonas o comunidades rurales que no cuentan con la economía suficiente para invertir en sistema de tratamiento convencional, por ende, la fitodepuración es una tecnología accesible, rentable y sostenible.

## **2.8. HUMEDALES ARTIFICIALES**

Es un método de tratamiento de agua residual (laguna o arroyo) poco profundo, hecho por el ser humano, donde se plantaron plantas acuáticas, y así contar con tecnologías naturales para purificar las aguas contaminadas domésticas. Estas tienen más ventajas respecto a los métodos de tratamiento mecánico, por lo que no necesitan nada de energía para funcionar. Como también dicho humedal artificiales aportan un espacio a la fauna silvestre, y son, hermosos, llamativos a los ojos del hombre (Llagas Chafloque & Guadalupe Gómez, 2006).

La elaboración de humedales artificiales, son de forma controlada, donde se usan métodos purificadores de contaminantes que se encuentran en combinación en aguas residuales, mediante métodos físicos, químicos y biológicos (Maqueda, 2013).

### **2.8.1. Características de los humedales artificiales**

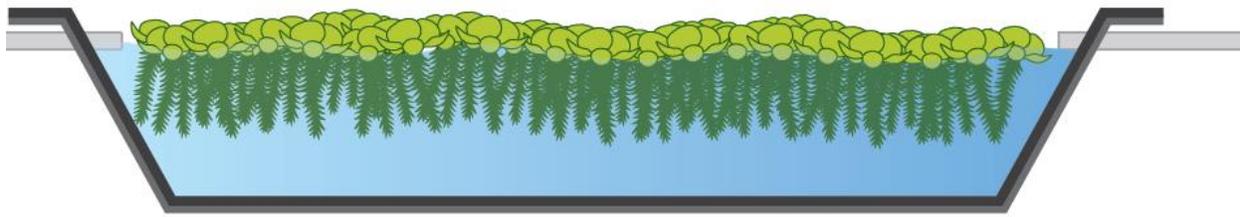
Según Sanz, Martín, y Camacho, (2009) las características de los humedales artificiales son:

- Realizan tratamientos físicos, químicos y biológicos naturales, y no necesita añadir sustancias químicas.
- Oxidación y reducción de materia orgánica, compuestos nitrogenados y metales.
- Opera en condiciones anaerobias, facultativas y/o aerobias en las que el oxígeno se aporta de forma espontánea por transporte desde la atmósfera.

### **2.8.2. Clasificación de los humedales artificiales**

#### **A. Sistema de tratamiento basados en macrófitas flotantes**

Los macrófitas flotantes alcanzan un extenso y grupo diferente de plantas, entre las que se enfatizan el Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*), la lechuga de agua (*Pistia stratiotes*), la salvinia (*Salvinia Spp.*), la redondita de agua (*Hydrocotyle ranunculoides*), y algunas especies de lentejas de agua (*Lemna Spp.*, *Spirodella Spp.*) (Martelo & Lara, 2012) son esencialmente angiospermas sobre suelos encharcados. Su reproducción se realiza de forma flotante o aéreo (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

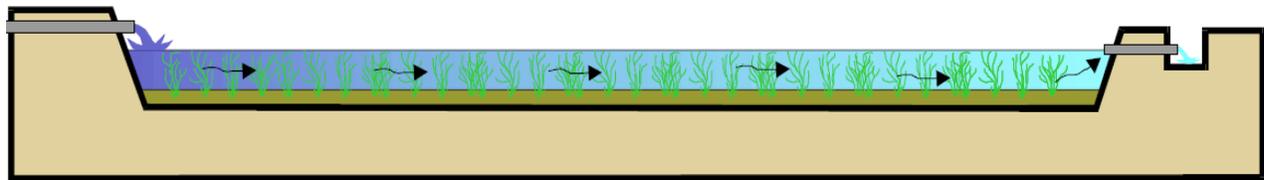


**Figura 1:** Sistema de tratamiento con macrófitas superficiales. (Fundación Humedales, 2016)

### **B. Sistema de tratamiento basado en macrófitas sumergida**

Son estanques con poca agua y con presencia de oxígeno disuelto. Este sistema no debe ser utilizado para tratar aguas residuales con alta carga orgánica biodegradable, este, al descomponerse por acciones de los microorganismos provoca condiciones anoxicas (Arias M. A., 2010).

*Littorella Uniflora* y *Potamogeton Crispus* son algunas de las plantas utilizadas en este sistema (Sierra y López, 2013).

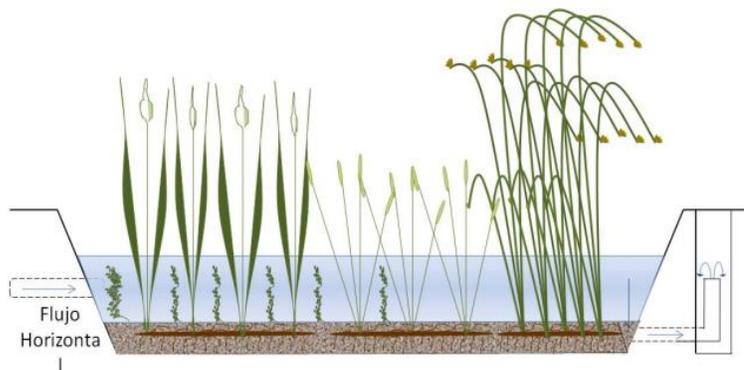


**Figura 2:** Técnica de tratamiento establecido en macrófitas sumergidos. (Salati, 2000)

### **C. Sistema de tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes**

Son sistemas que contienen macrófitas emergentes enraizados en el sustrato que se encuentra en el fondo del canal; el contaminante es eliminado mediante reacciones que ocurren en el agua y en la parte superior del sustrato (Rabat, 2016).

Según Sierra y López, (2013) las plantas más utilizadas en este sistema son: *Typha Latifolia* y *Phragmites Australis*.



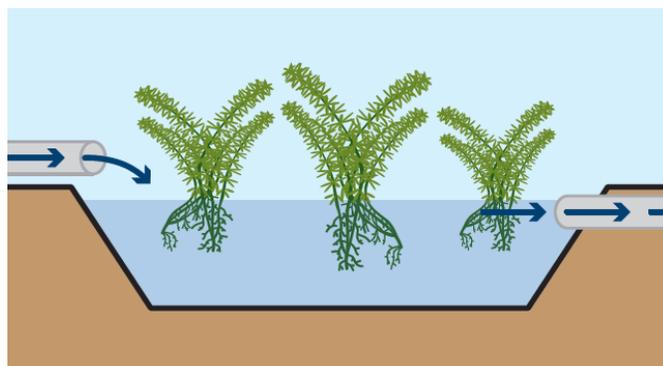
**Figura 3:** Sistema de tratamiento basado en macrófitas enraizadas emergentes. (López, 2009)

### 2.8.3. Tipos de humedales artificiales

#### A. Humedales artificiales de flujo libre o superficial (HAFLS)

Este tipo de humedales son parecidos a los pantanos naturales, ya que, tienden a ocupar canales poco profundos a través de los cuales fluye el agua a bajas velocidades por encima y dentro del sustrato. Los HAFLS contienen una combinación de grava, arcilla o suelos a base de turba y roca triturada, donde el agua pasa a través de los tallos de los macrófitas (Shutes, 2001).

Este tipo de sistema ha sido manejado como método secundario, así como tratamiento de pulimento a sistemas secundario. Principalmente estos sistemas son diseñados con cargas superficiales bajas (Bernal, 2014).



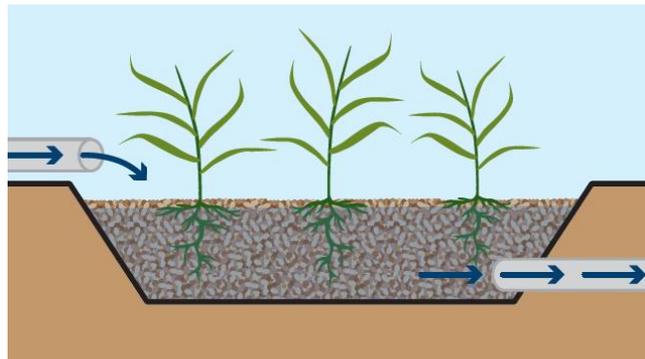
**Figura 4:** Humedal de Flujo superficial. (Fundación Humedales, 2016)

## B. Humedales artificiales de flujo subsuperficial

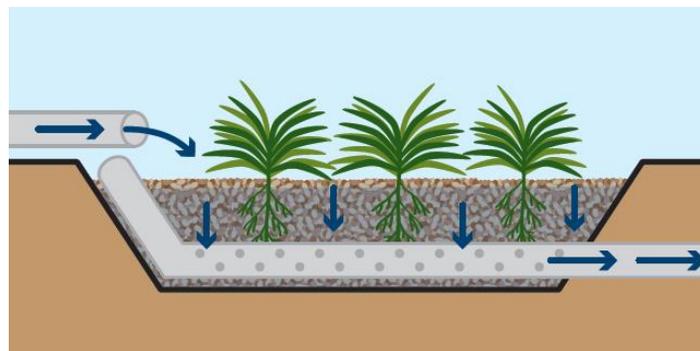
Este sistema consiste en una comunidad de macrófitas emergentes plantadas en un medio poroso (se compone de tierra, arena, roca o medios artificiales), por el cual el agua contaminada atraviesa para su purificación (Nivala, Knowles, Dotro, García, & Wallace, 2012).

Estos humedales se clasifican en humedales de flujo horizontal y vertical, según como el agua a tratar ingresa al sustrato poroso.

Los humedales subsuperficiales de flujo horizontal reciben el agua residual mediante una entrada, el cual atraviesa gradualmente por el medio poroso en forma horizontal hasta llegar a la zona de salida. Durante el transcurso, el agua contaminada entra en contacto con una red de zonas aeróbicas, anóxicas y anaeróbicas (Vymazal, 2009).



**Figura 5:** Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal. (Fundación Humedales, 2016)



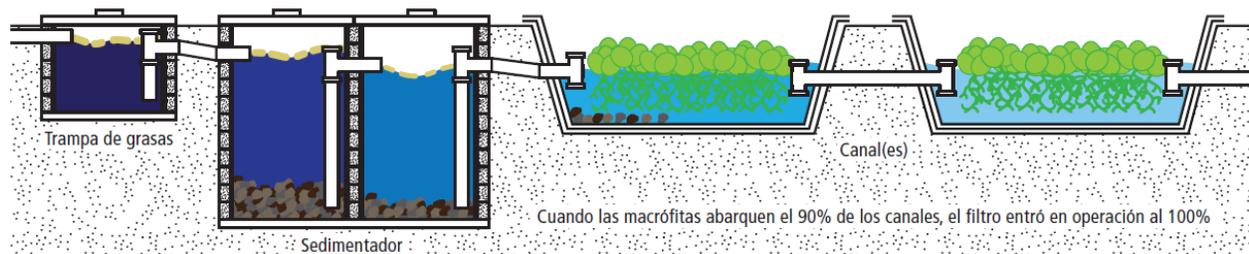
**Figura 6:** Humedales artificiales de flujo subsuperficial vertical. (Fundación Humedales, 2016)

## 2.9. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMESTICAS CON MACRÓFITAS ACUÁTICAS

Las macrófitas acuáticas son aquellas plantas vasculares, musgos acuáticos y algunas algas más grandes. El tratamiento de aguas residuales con macrófitas, se fundamentan en procesos físicos y microbianos. De la misma forma, por su alto potencial de eliminación de nutrientes se le consideran como una buena alternativa para el tratamiento de aguas residuales domésticas (Sooknah & CWilkie, 2004)

Las macrófitas utilizadas como un tratamiento secundario o terciario, muestran ser eficaz en la eliminación de contaminantes orgánicas, tales como nutrientes y metales pesados (Novotny & Olem, 1994).

Esta tecnología acelera el proceso de eliminación de coliformes fecales y Ecoli, de la misma forma, son alternativas económicas y eficientes (Valderrama, Campos, Velandia, & Zapata, 2014).



**Figura 7:** Sistema de tratamiento de agua residual domestica con macrófitas. (Fundación Humedales, 2016)

### 2.9.1. Jacinto de Agua (*Eichhornia Crassipes*)

#### A. Taxonomía

- a. Nombre científico: *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms.
- b. Nombres comunes:
  - En español: Cucharilla, camalote, flor de agua, flor de huachinango, jacinto de agua (Perú), lagunera, lechuguilla, lirio acuático, lirio de agua, carolina, reina, tamborcillo, violeta de agua (Ganuza & Argueta, 2012).
  - En inglés: Water-hyacinth, water Lily

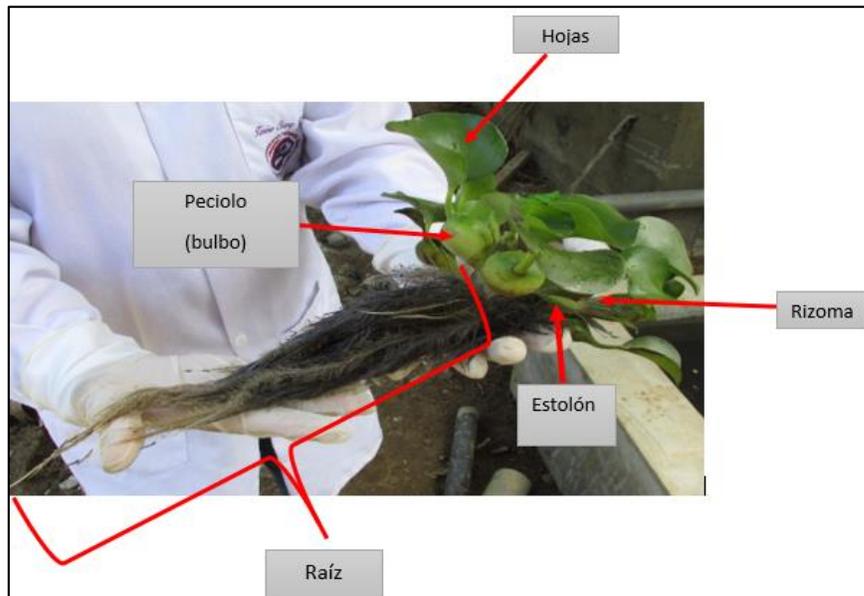
**Tabla 1:** Clasificación taxonómica del *Eichhornia Crassipes*.

Categoría taxonómica	
Reino:	Plantae.
Sub reino:	Traqueobionta (plantas vasculares).
División:	Magnoliophyta (planta con flor).
Clase:	Liliopsida (monocotiledónea).
Sub clase:	Lilidae.
Orden:	Liliales.
Familia:	Pontederiacae.
Género:	<i>Eichhornia</i> .
Especie:	<i>E. Crassipes</i> (Mart.) Solms

#### B. Morfología

Tallo vegetativo sumamente corto: hojas en rosetas, ascendentes a extendidas; peciolo cortos, hinchados (Bulbosos), con tejidos aerenquimatosos; con dimorfismo foliar al crecer agrupadas: hojas puramente ascendentes y peciolo alargados y menos hinchados; láminas de 2 a 16 cm. Inflorescencia: espiga; flores azules a celestes, y una mancha amarilla en el lóbulo

superior del perianto; fruto: cápsula de 1,5 cm (Salazar, 2015). Raíz; son muy característicos, pueden ser negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes o negro violáceas cuando son adultas. El sistema radicular representa entre 10-48% del total de la biomasa de la planta (Rojas, 2005)



**Figura 8:** Morfología de Eichhornia Crassipes.

### **C. Composición química**

Según Romero Rojas, (2005) el componente químico principal del Jacinto es el agua y está entre 95 y 93% de su masa total, sin embargo, este dependerá del ambiente en el cual crezca.

**Tabla 2:** Composición química del *Eichhornia crassipes*.

Componente	% de masa seca	
	Promedio	Intervalo
Proteína cruda	18.1	9.7-23.4
Grasa	1.9	1.6-2.2
Fibra	18.6	17.1-19.5
Ceniza	16.6	11.1-20.4
Carbohidratos	44.8	36.9-51.6
Fosforo	0.6	0.3-0.9

#### **D. Hábitat**

El *Eichhornia Crassipes* habita normalmente en regiones cálidas y húmedas por debajo de los 1000 m de altitud. Viven en aguas dulces de poco movimiento, requiere iluminación intensa, para que sus raíces no se impregnan en el interior del agua. Es calificada como maleza acuática (Rzedowski, 2004).

#### **E. Distribución geográfica**

*Eichhornia Crassipes* es originario de América del Sur, es una de las plantas catalogada como la más invasora del mundo. El jacinto de agua es especialmente frecuente en todo el sudeste asiático, el sureste de los Estados Unidos, África central y occidental y América Central (Villamagna & Murphy, 2010).

En el Perú, estas plantas crecen en la rivera de los ríos, especialmente en zona selva del país.

#### **F. Reproducción**

Es una planta con flores que se reproduce sexualmente produciendo un fruto en forma de capsula; también se puede reproducir artificialmente, se produce por la partición de los estolones

que los plantones emanan durante la estación favorable produciendo naturalmente una de espesa red vegetal capaz de repoblar en corto tiempo una gran superficie acuática (Nataly, 2012).

### **G. Parámetros de crecimiento**

Según Agreda, (2002); Llantoy y Negrón, (2014), los factores necesarios para el crecimiento del jacinto de agua son:

- El método de cosecha influye en el crecimiento de la planta
- Los nutrientes que favorecen en el crecimiento del Jacinto de agua son: nitrógeno, fosforo, potasio
- El crecimiento optimo se realiza a temperaturas que se encuentran de 25 a 30 °C
- El pH óptimo para su desarrollo es de 6.5 - 7.5
- Las cantidades de nitrógeno presente en el agua es uno de los factores principales para el crecimiento del Jacinto de agua
- La presencia de DBO<sub>5</sub> puede variar entre 10 -300 kg/día
- Necesita una iluminación intensa o semi-sombra.

### **2.9.2. Lechuga de agua (*Pistia stratiotes* L.)**

La Lechuga de agua es una planta acuática flotante que según (Yang, Chen, & Zhang, 2014) su flotabilidad se debe a la presencia de tejidos que reservan aire en las hojas; por otro lado, esta macrófita ha sido estudiada por muchos investigadores por muchos años y por ende se pudo demostrar que esta planta tiene muchos usos productivos.

### **A. Taxonomía**

- Nombre científico: *Pistia stratiotes* (Linnaeus)

- Nombre común: Repollito de agua, lechuga de agua, lechuguin, guama, huma, llantén del agua.

**Tabla 3:** *Taxonomía de la lechuga de agua.*

<b>Categoría Taxonómica</b>	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Alirales
Familia:	Araceae
Genero:	Pistia
Especie:	Stratiotes

### **B. Composición química.**

Según (Ramirez & Linares, 2007) la macrófita *Pistia* S. contendría los siguientes componentes químicos.

- Alcaloides del tipo piridina o indol
- Saponinas, Taninos
- Ácidos fenólicos
- Aminas y terpenoides

Para (Vásquez, Newman, Urdaneta, Zabaleta, & Valbuena, 1998) desde el punto de vista nutricional la lechuga de agua está compuesta de los siguiente:

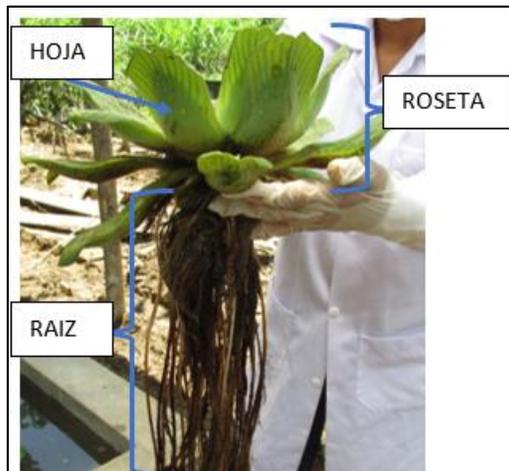
**Tabla 4:** Componentes químicos de la lechuga de agua.

<b>Componente</b>	<b>Datos de biomasa seca</b>
Humedad	9.47%
Ceniza	27.1%
Grasa cruda	0.6%
Proteína cruda	16.12%
Calcio	8 mg/gr
Fosforo	1.16 mg/gr

### **C. Morfología**

Según (Murillo, Zamudio, & Bracamonte, 2010) la macrófita Pistia S. tiene las siguientes características:

- Hojas: Son de un color verde claro con aspecto esponjoso y gruesa, tienen canales o venas longitudinales y presentan entre 7 y 15 nervaduras. forma espatulada y erectas de 5 a 12 cm de longitud.
- Flores: estas se agrupan en una inflorescencia que contiene flores masculinas y una sola flor femenina de color crema. Florece durante el verano.
- Tallo: Pistia Stratiotes presenta un tallo corto y estolonífero.
- Raíz: esta macrófita presenta raíces fasciculadas de color claro y plumoso enganchadas de las rosetas.



**Figura 9:** Morfología de Pistia Stratiotes

#### **D. Distribución geográfica y hábitad**

La macrófita Pistia S. tiene una distribución pantropical, es decir, crece en todos los países tropicales y subtropicales de todo el mundo. Habita en lagos, pantanos, canales y otros cuerpos de agua con poco caudal o movimiento.

Esta macrófita se encuentra en forma silvestre en toda la selva peruana, aunque fue introducida a la costa para su utilización en acuarios o estanques (Kahn, León, & Young, 1993).

#### **E. Reproducción**

Según (Freitas Coelho, Deboni, & Santos Lopes, 2005) Pistia S. tiene una reproducción sexual y asexual; no obstante, su propagación rápida en muchas áreas se debe a su reproducción vegetativa, es decir a través de ramificaciones estoloníferas.

La reproducción por estolones permite que aparezcan nuevas macrófitas en los extremos y según (Pliego, 2013) esta característica hace que una sola macrófita puede crear una pequeña colonia. No obstante, según (Lallana, 2006) estos estolones son frágiles por lo cual se disgregan con mucha facilidad por el movimiento del agua juntamente con el viento, gracias a esta

característica la lechuga de agua suele abarcar grandes áreas e invadir nuevos cursos o cuerpos de agua.

#### **F. Parámetros de crecimiento**

La lechuga de agua puede vivir normalmente en temperaturas de 15°C a 35°C y en aguas con pH de 6.5 a 7.2 (Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente, 2013). No obstante, según (Lu, He, Graetz, Stoffella, & Yang, 2010) los parámetros o factores que afectarían su crecimiento son la salinidad, la concentración de nutrientes, la turbidez del agua e intensidad de la radiación luminosa.

#### **G. USOS**

Los usos más conocidos son:

- Alimentos para animales, para este uso la macrófita tiene que pasar por varios análisis y así ser apto para su consumo.
- Uso ornamental en estanques o acuarios.
- Producción de biogás y abonos orgánicos.
- Es utilizada en la medicina por sus propiedades terapéuticas.
- Uso para el tratamiento de aguas residuales.

#### **H. Beneficios y efectos negativos**

Según (Murillo, Zamudio, & Bracamonte, 2010) los beneficios y efectos negativos que puede presentar todas las macrófitas son:

**Tabla 5:** Beneficios y efectos negativos que ocasiona la macrófita *Pistia S.*

<b>Beneficios</b>	<b>Efectos negativos</b>
Oxigenan el agua.	Pérdida de biodiversidad.
Fijan el CO <sub>2</sub> atmosférico.	Alteración y modificación del hábitat original.
Reciclan y absorben nutrientes.	Modificación de la calidad de agua.
Regulan los efectos de la temperatura, luz y transporte de sedimentos.	Disminución de la superficie del agua libres y bloqueo de canales de riego, bombas de agua e infraestructuras de abastecimiento.
Contribuyen a mantener las aguas transparentes, disminuyendo la suspensión de partículas sólidas.	Impiden el paso de la luz al interior de la masa de agua.

### **2.9.3. Mecanismo de depuración de las macrófitas.**

Las macrófitas cumplen muchos roles para el buen funcionamiento del sistema. Estas son las actuaciones activas derivadas de la actividad fisiológica de la macrófita como actuaciones pasivas, en las que no intervienen estos, sino procesos físicos por efecto de la presencia de las plantas en el sistema (Mora, 2016).

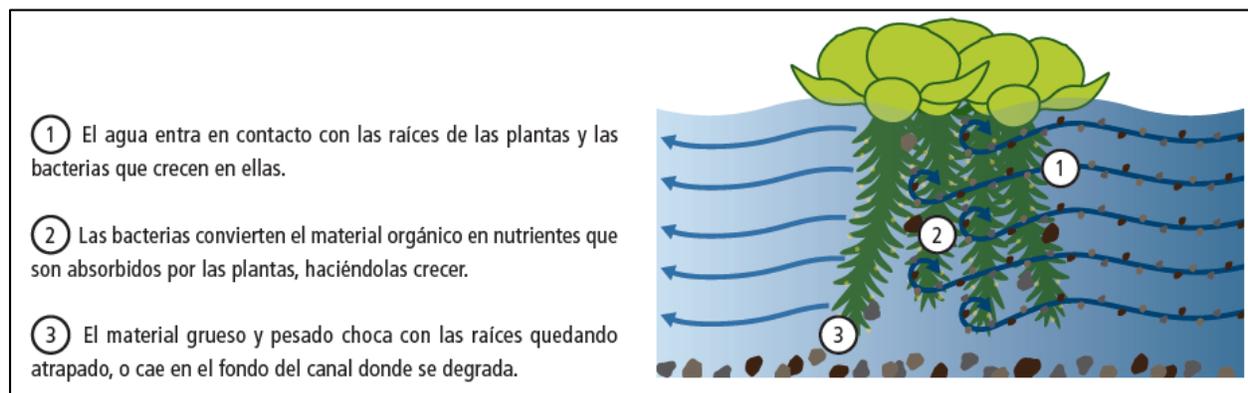
#### **A. Actuación pasiva de las macrófitas en la depuración**

Según la (Fundación Humedales, 2016) las macrófitas tienen diferentes funciones, una de ellas es la retención de los sólidos gruesos arrastrados por el agua residual. Así mismo, las raíces actúan como barreras físicas para así reducir la velocidad del agua residual, esto ayuda a la floculación y a la sedimentación de las partículas.

Por otro lado, según (Espinoza & Peralta, 2009) el sistema radicular de las macrófitas actúa como un soporte pasivo de microorganismos.

## B. Actuación activa de las macrófitas en la depuración

Las funciones que desempeñan activamente las macrófitas en los humedales artificiales según (Mora, 2016) son: el intercambio gaseoso que se realiza desde las hojas hacia la zona radicular en contacto con el agua residual, y la extracción de contaminantes del agua. Esto ayudara a la degradación de la materia orgánica del entorno de las raíces por medio de los microorganismos que viven asociados a ellas. Por otro lado, las macrófitas pueden depuran directamente por medio de la absorción de iones contaminantes, tanto metales pesados como aniones eutrofizantes (nitratos y fosfatos principalmente).



**Figura 10:** Actuación pasiva y activa de las macrófitas en la depuración del agua residual. Fuente: (Fundación Humedales, 2016).

### 2.9.4. Rol de los microorganismos en la depuración del agua residual domestica mediante macrófitas.

Los microorganismos presentes en los humedales artificiales son organismos heterótrofos, es decir, organismos que necesariamente requieren carbono orgánico para desarrollarse. Los organismos heterótrofos que se desarrollan naturalmente en los humedales artificiales son bacterias, protozoos, actinomicetes y hongos; estos se concentran alrededor de la superficie de las partículas sólidas, sedimentos y en el sistema radicular de las macrófitas (Mora, 2016).

Las bacterias son responsables de la degradación de la materia orgánica y de la remoción de los contaminantes orgánicos por intervenir en la liberación de compuestos gaseosos del carbono hacia la atmosfera; tiene un papel fundamental en el ciclo de nitrógeno y en la transformación del fosforo insoluble a formas solubles para su fácil asimilación por las macrófitas (Mora, 2016). La reducción de compuestos de azufre a sulfuros y la oxidación sulfuros también está relacionado con la actividad bacteriana, por otro lado según (Kadlec & Knight, 1995) citado por (Alvarado, 2005) en los humedales artificiales, los grupos de bacterias más importantes que intervienen en la depuración de aguas residuales son:

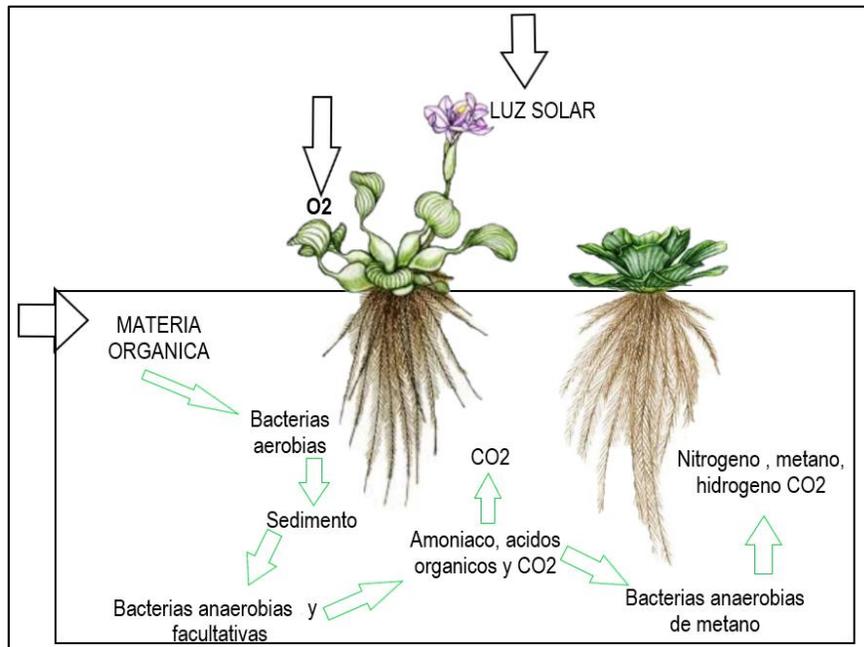
**Tabla 6:** Grupo bacteriano que interviene en la depuración de agua residual en un humedal artificial.

<b>Grupo</b>	<b>Género representativos</b>	<b>Características</b>
Bacterias fototróficas.	Rhodospirillum, Chlorobium.	Miembros de este género son simbióticos fijadores de N.
Bacterias deslizantes.	Beggiatoa, Flexibacter, Thiothrix.	Bacterias filamentosas, encontradas en lodos.
Bacterias filamentosas.	Sphaerotilus.	Bacterias filamentosas comunes en aguas contaminadas.
Bacterias de superficies.	Caulobacter, Hyphomicrobium.	Bacterias acuáticas que crecen en superficies
Bacilos y cocos negativos aerobios.	Pseudomonas, Zooglea, Azotabacter, Rhizobium.	Pseudomonas spp desnitrifican el NO <sub>2</sub> a N <sub>2</sub> bajo condiciones anaerobias y puede oxidar el gas hidrogeno. Azotabacter spp es un fijador no simbiótico de nitrógeno y Rhizobium son bacterias fijadoras de N.
Bacilos negativos anaerobios facultativos.	Klebsiella Enterobacter.	y Son fijadores de nitrógeno no simbióticos.

Bacterias Gram-negativas anaerobias.	Desulfovibrio.	Reducen el sulfato a hidrogeno.
Bacterias quimilitroficas.	Nitrosomonas, Nitrobacter.	Nitrosomonas catalizan la conversión de NH <sub>4</sub> a NO <sub>2</sub> , Nitrobacter oxida el NO <sub>2</sub> a NO <sub>3</sub>
Bacterias productoras de metano.	Methanobacterium.	Bacterias anaerobias de sedimentos, estos transforman el carbono al metano.
Cocos Gram-positivos.	Streptococcus.	Bacterias productoras de algunas infecciones
Bacterias productoras de endosporas y cocos.	Clostridium, Bacillus.	Algunas bacterias de Clostridium son fijadoras de nitrógeno no simbióticos.
Actinomicetos y organismos relacionados.	Nocardia, Frankia, Streptomyces.	Bacterias filamentosas que están tanto en el agua como en el suelo de los humedales; son fijadoras de nitrógeno.

Fuente: (Kadlec & Knight, 1995) citado por (Alvarado, 2005).

Los protozoos regulan la población bacteriana ya que se alimentan de estas, por otro lado, contribuye a floccular solidos orgánicos en suspensión del agua residual. Los hongos presentes en el humedal (actinomicetos y otros) son aquellos que se alimentan de restos orgánicos (restos de alimentos y de las macrófitas), por lo tanto, contribuye a la reducción de la carga orgánica dentro del sistema (Mora, 2016).



**Figura 11:** Proceso de depuración de las bacterias en los humedales.

### 2.9.5. Proceso de remoción o depuración de contaminantes en los humedales artificiales con macrófitas acuáticas flotantes.

#### A. Sólidos suspendidos

Según (Mora, 2016), los sólidos suspendidos en un humedal de flujo superficial se eliminan por mecanismos de filtración/intercepción y floculación/sedimentación. Para (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010), la filtración lo realizan las raíces de las macrófitas acuáticas y la floculación sucede por la unión de partículas cargadas eléctricamente que colisionan entre sí por efecto de barrera que hacen las raíces. Una vez alcanzadas un determinado tamaño de floculo estos sedimentan; por otro lado, los sólidos presentes en el humedal pueden provenir también de los restos de las plantas, microorganismos y precipitados (Mora, 2016).

## **B. Materia orgánica**

La remoción de la materia orgánica en humedales artificiales de flujo libre es de dos formas: físicas y biológicas. La remoción física es similar a la eliminación de sólidos suspendidos, no obstante, solo ocurrirá cuando la materia orgánica se encuentre en forma de partículas, coloides y supracoloides (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La remoción biológica de la materia orgánica soluble e insoluble es realizada por degradación aerobia y anaerobia de los microorganismos. La degradación aerobia lo realizan los microorganismos que habitan en las raíces de las macrófitas y en las áreas donde llega el oxígeno; por lo tanto, reciben el oxígeno a través de la aireación del agua y por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua (Arias O. , 2004).

Los microorganismos aerobios según (Mora, 2016) transforman la materia biodegradable en compuestos minerales, gases y biomasa microbiana; por otro lado, los microorganismos anaerobios utilizan compuestos diferentes al oxígeno como aceptores de electrones y para tener una buena reducción de la materia orgánica tienen que liberar metano o hidrógeno. Por lo tanto, según la degradación aerobia es más rápida y completa que la anaerobia, evitando así los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia (Chumbe & García, 2012).

## **C. Nitrógeno**

Según (Mora, 2016) los procesos biológicos para remover el nitrógeno en los humedales son: amonificación, nitrificación, desnitrificación, fijación de nitrógeno y asimilación por las plantas.

La amonificación según (Peñafiel, Carla, & Ochoa-Herrera, 2016) consiste en la conversión biológica del nitrógeno orgánico a nitrógeno amoniacal, proceso que ocurre durante

la degradación de la materia orgánica; por otro lado, la amonificación se realiza en zonas aerobias y anaerobias (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010).

La nitrificación según (Contreras, 2006) es la conversión del amonio a nitrato por microorganismo autótrofos, es decir que utilizan el CO<sub>2</sub> como fuente de carbono; asimismo la nitrificación se realiza en zonas aerobias, es decir que requiere la presencia de oxígeno disuelto para realizar la conversión (Chumbe & Garcia, 21012).

La desnitrificación para (Lolmede, Jácome, Vidart, & Tejero, 2000) es un proceso por el cual los microorganismos facultativos reducen los nitratos a compuestos gaseosos de nitrógeno; este proceso tiene lugar en los sedimentos del humedal y en biopelículas de zonas con muy bajo oxígeno disuelto y con alta disponibilidad de carbono.

Según (Zuñiga, 2004) la fijación implica la transformación del nitrógeno molar (N<sub>2</sub>) del aire en amonio, para su asimilación e incorporación a la biomasa; algunos de los microorganismos que realizan este proceso son conocidas como bacterias fijadoras de nitrógeno. Por otro lado, el proceso de extracción del N por las plantas consiste en la asimilación de formas inorgánicas del nitrógeno para formar compuestos orgánicos nitrogenados estructurales de la planta: las macrófitas acumulan el nitrógeno principalmente en sus órganos vegetativos verdes (Mora, 2016).

#### **D. Fosforo**

La remoción del fosforo en los humedales artificiales de flujo libre se realiza por procesos fisicoquímicos y biológicos; asimismo, el fosforo en el agua residual se encuentra en forma de fosfatos, ya sean disueltos o en partículas.

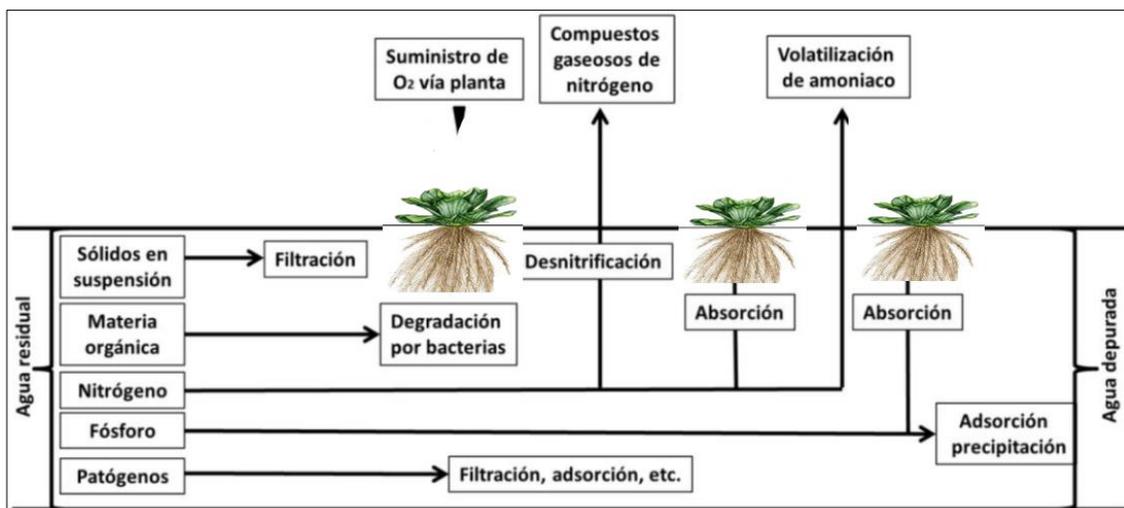
En relación al fosforo soluble el investigador (Mora, 2016) indica que el proceso de remoción incluye procesos fisicoquímico de adsorción/absorción, intercambio, precipitación,

solubilización y redox. Los primeros procesos mencionados se realizan sobre las biopelículas del sistema radicular de las plantas y sobre los sedimentos del humedal.

Al mismo tiempo, el fosforo orgánico disuelto, fosforo orgánico en partículas y fosforo insoluble no están disponibles para las plantas, a menos que sean transformados en fosforo inorgánico soluble. En el humedal estas transformaciones pueden ocurrir por la intervención de los microorganismos que se encuentran suspendidas, en las biopelículas del sistema radicular de las macrófitas y en los sedimentos (Mora, 2016)

### E. Patógenos

En las aguas residuales existen una gran variedad de patógenos, entre ellos se encuentran los helmintos, protozoos, hongos, bacterias o virus. Según (Mora, 2016) la mayor parte de los microorganismos no sobrevive por falta de adaptación al medio, otros desaparecen por organismos depredadores, por efecto a la radiación ultravioleta. Por otro lado, para (Delgadillo, Camacho, Perez, & Andrade, 2010) la remoción o eliminación de patógenos se debe a la oxidación, adsorción y a la exposición a toxinas fijadas por otros microorganismos y exudados por las raíces de las plantas.



**Figura 12:** Procesos de depuración de los humedales artificiales. Adaptado de (Lordan, 2017).

### **2.9.6. Cosechas de las macrófitas**

La cosecha de las macrófitas flotantes en los humedales artificiales con una cierta periodicidad, es necesario no solo para remover del sistema las sustancias tanto biodegradables como no biodegradables, nutrientes, sustancias tóxicas y microorganismos patógenos, captados por las plantas (Rodríguez, Díaz, Guerra, & Hernández, 2001). Sino también para evitar la cobertura total de la lámina del agua que desciende mucho el oxígeno disuelto en el agua, interrumpiendo el paso de la luz y el ingreso de materia orgánica en el agua aumentando rápidamente la pudrición de la biomasa vegetal. Es por eso que se recomienda a modo de indicación que en climas cálidas la cosecha parcial de las macrófitas debe ser de 3 o 4 semanas (Mora, 2016)

### **2.9.7. Disposición de las macrófitas**

Un manejo inadecuado de la biomasa cosechada puede representar un problema. La acumulación de bacterias en las raíces de las macrófitas, puede convertir la biomasa en una fuente de contaminación muy fuerte, en cuyo caso se requiere un manejo cuidadoso de la cosecha (Hidalgo, Montano, & Estrada, 2005). Es por ello existen métodos para su disposición como la incineración controlada, este proceso produce cenizas, que se pueden desechar en los sitios destinados para este fin, el secado de las plantas mediante los rallos solares luego disponer en un relleno sanitario especial. De esta manera, los contaminantes acumulados en las plantas no se transmiten a través de las redes alimentarias a otros microorganismos (Yucra, 2010).

Por otra parte, si los contaminantes químicos orgánicos se degradan en las moléculas como el dióxido de carbono, las plantas pueden no requerir un método especial de disposición, como también pueden ser utilizadas en la producción de biogás, alimentos para los animales, abono para las parcelas de las chacras (Yucra, 2010).

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

La parte experimental de la tesis se realizó en el distrito de Llaylla, provincia de Satipo, departamento de Junín. El análisis de los distintos parámetros (físico, químico y microbiológicos) se realizó en el Laboratorio de análisis medio ambientales Delta Lab. S.A.C., el cual está acreditada por el organismo peruano de acreditación INACAL en la ciudad de Lima.

#### 3.1.1. Ubicación Geográfica del Distrito.

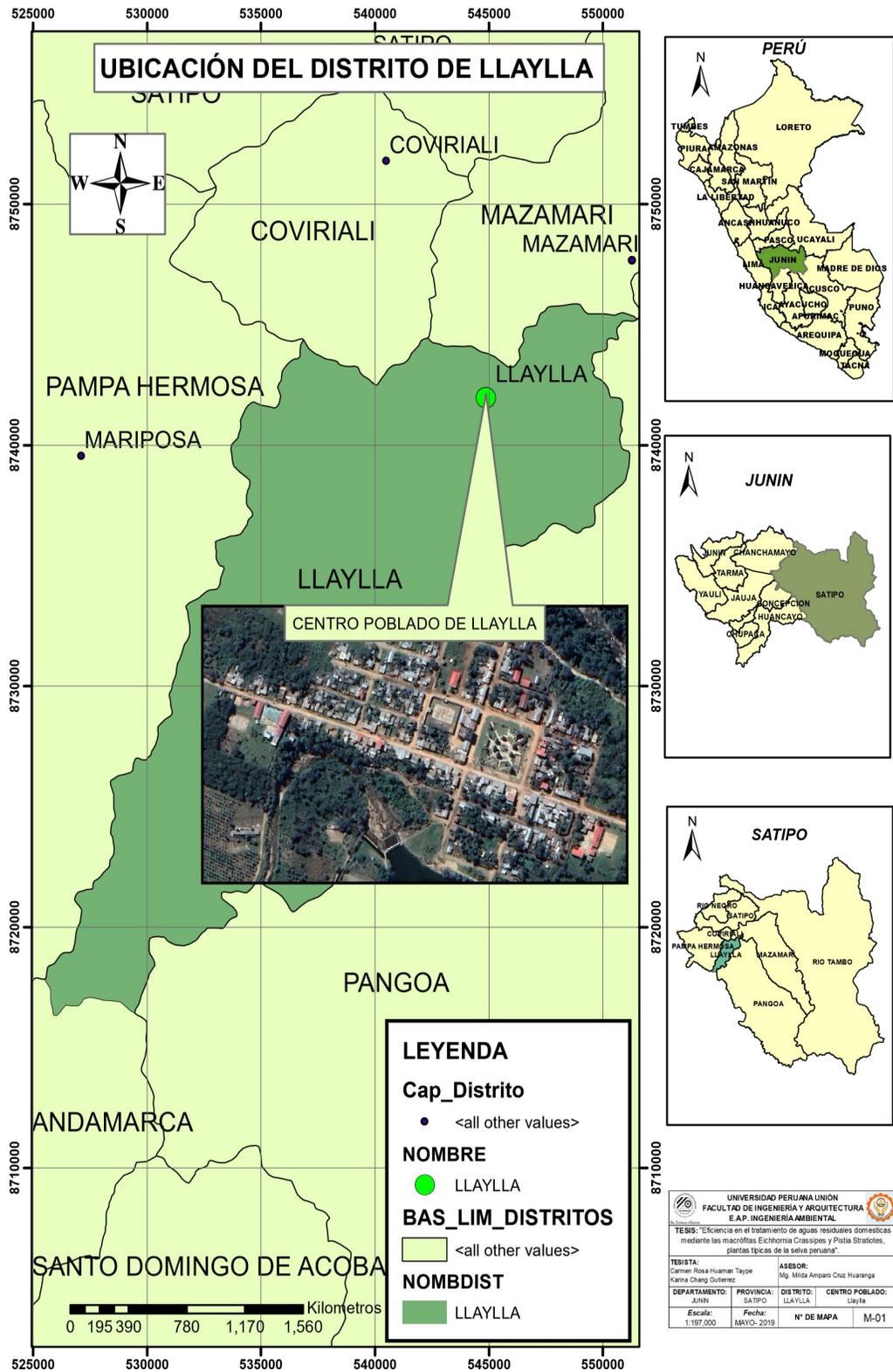
El distrito de Llaylla, se encuentra ubicado en la provincia de Satipo, región Junín. Este distrito presenta una superficie aproximadamente de 180.39 km<sup>2</sup> con una altitud promedio de 1100 msnm, cuyas coordenadas y otros indicadores se presenta a continuación (Municipalidad Distrital de Llaylla , 2016):.

**Tabla 7:** *Ubicación geográfica del distrito de Llaylla.*

<b>UBICACIÓN GEOGRAFICA</b>	
Región	Junín
Provincia	Satipo
Distrital	Llaylla
Superficie	180.39 km <sup>2</sup>
Altitud	1100 msnm
Latitud oeste	74°39'12"
Latitud sur	11°34'20"

**Tabla 8:** *Limites del distrito de Llaylla.*

<b>Limites</b>	
Por el norte	Distrito de Mazamari y Coviriali
Por el sur	Distrito de Andamarca (provincia de Concepción)
Por el este	Distrito de Pangoa
Por el oeste	Distrito de Pampa Hermosa



**Figura 13:** Mapa de ubicación geográfica del distrito de Llaylla.

### 3.1.2. Ubicación geográfica del Proyecto.

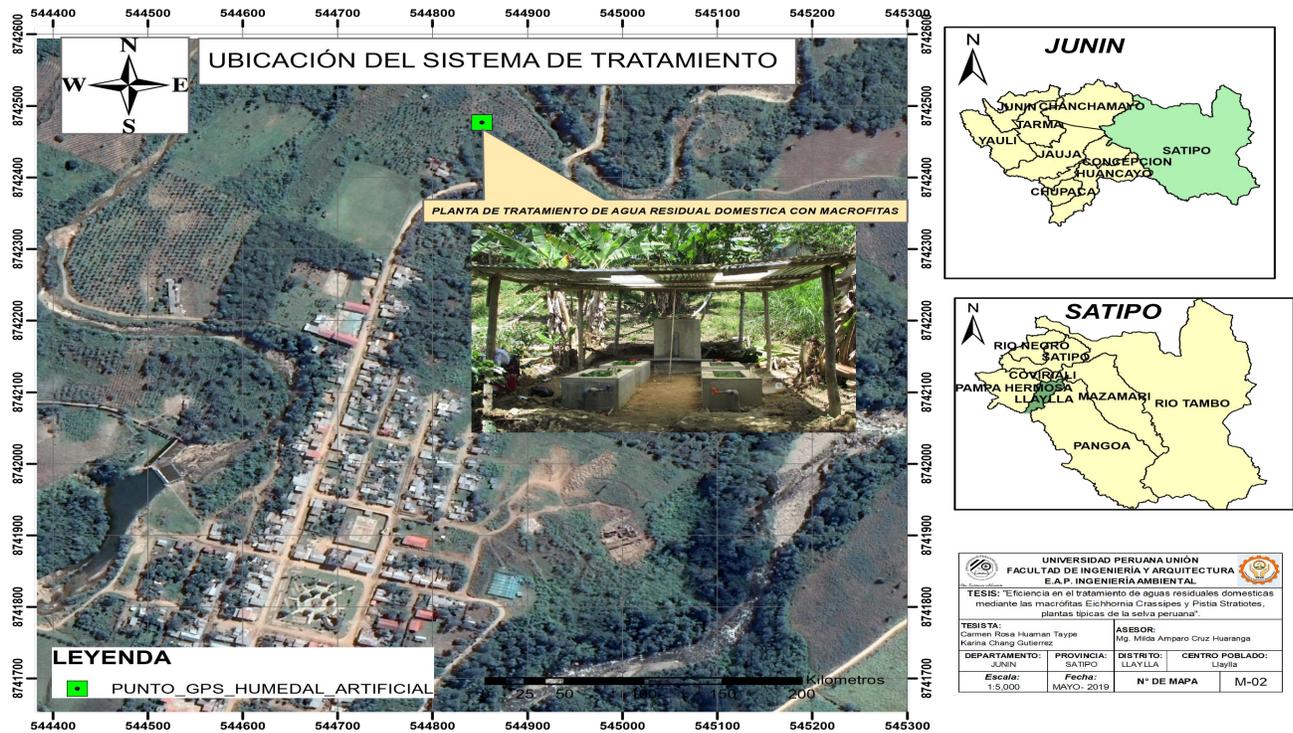
La parte experimental de la tesis se realizó en una zona específica del cercado de Llaylla, el terreno contiene cultivos de café, plátano, mandarina y otros; asimismo, se encuentra ubicada la antigua planta de tratamiento de aguas residuales municipal.

**Tabla 9:** *Ubicación geográfica del proyecto.*

<b>Ubicación geográfica</b>	
Distrito	Llaylla
Avenida	Juan Velazco Alvarado
Altitud	1084 msnm
Zona	18L
Este	0544852
Latitud Norte	8742477

**Tabla 10:** *Limites del lugar donde se encuentra el proyecto.*

<b>Limites</b>	
Por el norte	Zonas de cultivo
Por el sur	Rio Chalhuanmayo
Por el este	Antigua Planta de tratamiento de agua residual municipal
Por el oeste	Zona de viviendas.



**Figura 14:** Ubicación geográfica del proyecto.

### 3.1.3. Condiciones climatológicas.

El distrito de Llaylla posee un clima frío húmedo, pertenecientes a la selva alta o Rupa Rupa, se caracterizan por poseer un clima tropical con lluvias intensas, alta humedad relativa y evapotranspiración. La zona presenta un clima tropical, sin embargo, varía mucho dependiendo de la zona de vida y de época del año (Municipalidad Distrital de Llaylla , 2016).

Según SENAMHI son:

- Precipitación media anual se encuentra: 1 500 a 2 500 mm
- Temperatura media anual se encuentra entre: 24° C a 25° C, con máximas de 33° C y mínimas de 16° C.
- Con un clima semicálido y Húmedo.

#### **3.1.4. Descripción de las viviendas.**

Las viviendas están construidas de madera y otros de material noble, los techos en un 80% son de calamina y un 20% de hojas de palmera.

Las viviendas con acceso a este proyecto fueron aquellas que se encontraban alejadas del centro poblado (aproximadamente a 135 m), por ende, sus aguas residuales no tenían acceso a las nuevas instalaciones de alcantarillado. Las aguas residuales de estas viviendas eran conducidas a un sistema de tratamiento antiguo que actualmente se encuentra clausurado, las unidades con las que cuenta son: sedimentador, tanque imhoff y filtro. La primera y la segunda unidad del sistema se encontraban en condiciones de colapso y con rajaduras en las paredes, ya que, desde su construcción no tuvieron ningún mantenimiento; la última unidad nunca entro en funcionamiento, por lo tanto, el efluente del sistema que era vertida directamente al rio Chalhumayo no cumplía con el LMP para efluentes de Plantas de Tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (DS. N° 003-2010-MINAN).

El número de hogares beneficiados del proyecto son 5 y cada una de ellas cuenta con 6 miembros (papá, mamá e hijos)



**Figura 15:** Vivienda de los beneficiarios.

## 3.2. METODOLOGÍA

### 3.2.1. Diagnóstico mediante la caracterización de los efluentes domésticos sin tratamiento.

#### C. Aforo de Caudal

El aforo del caudal se realizó mediante el método volumétrico, ya que, el agua residual es vertido al río a través de una tubería de PVC. Por consiguiente, el aforamiento tuvo las siguientes actividades:

- Limpieza del área mediante el desbroce de malezas y retiro de troncos.
- Aforamiento de caudal mediante la utilización de un balde de 20L y un cronometro; la medición se efectuó 3 veces al día (6 am, 12pm y 6pm) por 2 días, cada una con 3 repeticiones.

Para la realización de estas actividades se utilizaron los siguientes materiales:

**Tabla 11:** *Materiales y equipos para el aforo del caudal.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Balde de 20 L	Cronometro
Botas	Cámara fotográfica
Guantes desechables	
Machete	
Respiradores	
Libreta de campo	
Guardapolvo	

Los datos obtenidos en el campo (volumen y tiempo) fueron aplicados en la **Ecuación 1**, obteniendo como resultado 0.061 l/s.

**Ecuación 1:** *Caudal del Efluente.*

$$Q = V \times t$$



**Figura 16:** Aforo del caudal de las viviendas.

#### **D. Monitoreo de las aguas residuales domesticas**

Para saber el porcentaje de contaminación en el que se encuentra el efluente se tuvo que realizar un análisis de laboratorio de los parámetros físicos, químicos y microbiológico. Y así obtener un resultado madre.

El muestreo del efluente consistió en:

**Tabla 12:** Descripción del muestreo realizado al agua residual doméstica.

<b>Parámetro</b>	<b>Tipo de envase</b>	<b>Vol. mínimo</b>	<b>Preservación</b>	<b>N° de envases</b>	<b>Tiempo de vida</b>
DBO	Plástico	1L	Se llenó el frasco sin presencia de burbujas.	1	48 horas
BQO	Plástico	½ L	Al agua residual se tuvo que añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta llegar a un pH menor a 2.	1	28 días
Solidos Totales Suspendidos	Plástico	½ L	El agua residual se llenó hasta el cuello de la botella.	1	7 días
Aceites y grasas	Vidrio ámbar	1L	A la muestra se tuvo que añadir H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> hasta llegar a un pH menor a 2.	1	28 días

pH	Plástico	¼ L	El agua residual se llenó hasta el cuello de la botella.	1	--
Temperatura	Vidrio	1 L	El agua residual se llenó hasta el cuello de la botella.	1	--
Coliformes termolerantes	Plástico estéril	¼ L	Para este parámetro se llenó el frasco a un nivel de ¾.	1	24 horas

El pH y temperatura son parámetro de campo, no obstante, por falta de instrumento para poder medirlo se tuvo que enviar a la ciudad de Lima conjuntamente como los demás parámetros.

Después de culminar todo el muestreo se realizó el rotulado adecuado de los envases y en seguida se le colocó en el coolers para su preservación y traslado hacia el laboratorio.

**Tabla 13:** *Materiales y equipos para el muestreo de efluente.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>	<b>Reactivo</b>
Botas	Cámara fotográfica	Ácido Sulfúrico 1:1
Guantes desechables	GPS	
Respiradores		
Libreta de campo		
Coolers		
Guardapolvo		
2 envases de plástico de 1L		
2 envases de plástico de 1/2L		
Envase de vidrio ámbar 1L		
Envase de plástico de 1/4L		
Envase de plástico esterilizado de 1/4L		
Tiras indicadoras de pH		
8 ice pack		



**Figura 17:** Muestreo del Efluente de las viviendas.

### 3.2.2. Implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes*) y (*Pistia Stratiotes*).

#### A. Diseño y construcción del tratamiento primario

La unidad del tratamiento primario que se consideró para el sistema fue un sedimentador convencional; para el diseño de este se consideraron los siguientes pasos:

- Cálculo de diseño mediante la utilización de la **Ecuación 2, 3, 4 y 5**. Las dimensiones internas calculadas son:  $An = 0.70 m$  ,  $L = 2.5 m$  y  $h = 1.5 m$ .

**Ecuación 2:** Volumen del sedimentador.

$$V = T_r \times Q$$

**Ecuación 3:** Área del sedimentador.

$$A = \frac{V}{h}$$

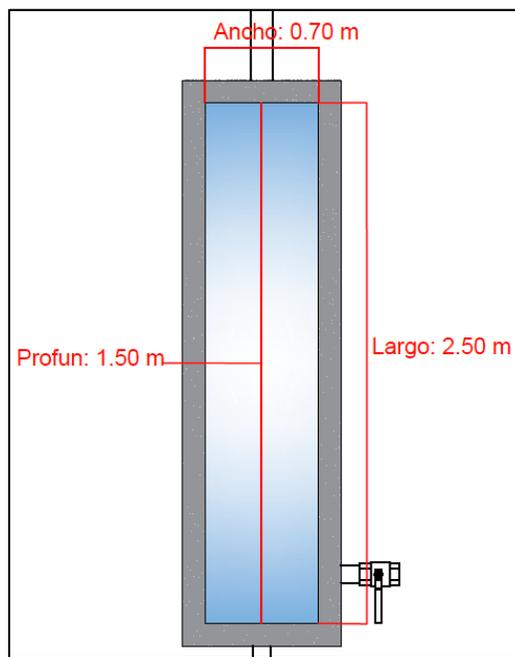
**Ecuación 4:** Ancho del sedimentador.

$$A_n = \sqrt{\frac{A}{L:A}}$$

**Ecuación 5:** Largo del sedimentador.

$$L = A_n \times (L:A)$$

- Con los datos obtenidos se realizó el diseño o grafico en el programa de AutoCAD.



**Figura 18:** Dimensiones del sedimentador.

Para la construcción del sedimentador se realizaron las siguientes actividades:

- Trazo del terreno, en esta etapa se ubican puntos referenciales para realizar una mejor construcción en concordancia con los cálculos.
- Movimiento de tierras o excavación del terreno; esta actividad se realizó con el fin de que el terreno este nivelado y con un pendiente de 10%, el porcentaje propuesto se obtuvo de los criterios propuestos por (Organización Panamericana de Salud , 2005).

- Obras de concreto o construcción.

Las actividades o etapas mencionadas fueron realizadas por personales calificadas para esa área, por otro lado, los materiales utilizados tanto para el diseño y construcción se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 14:** *Materiales y equipos para la construcción del sedimentador.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Cemento	Laptop
Arena fina y gruesa	
Impermeabilizante	
Fierro	
Tubos de PVC de 4", 3".	
Herramienta de construcción (pala, pico, barras, carretilla)	
Alambre	
Cinta métrica	
Madera y listones	

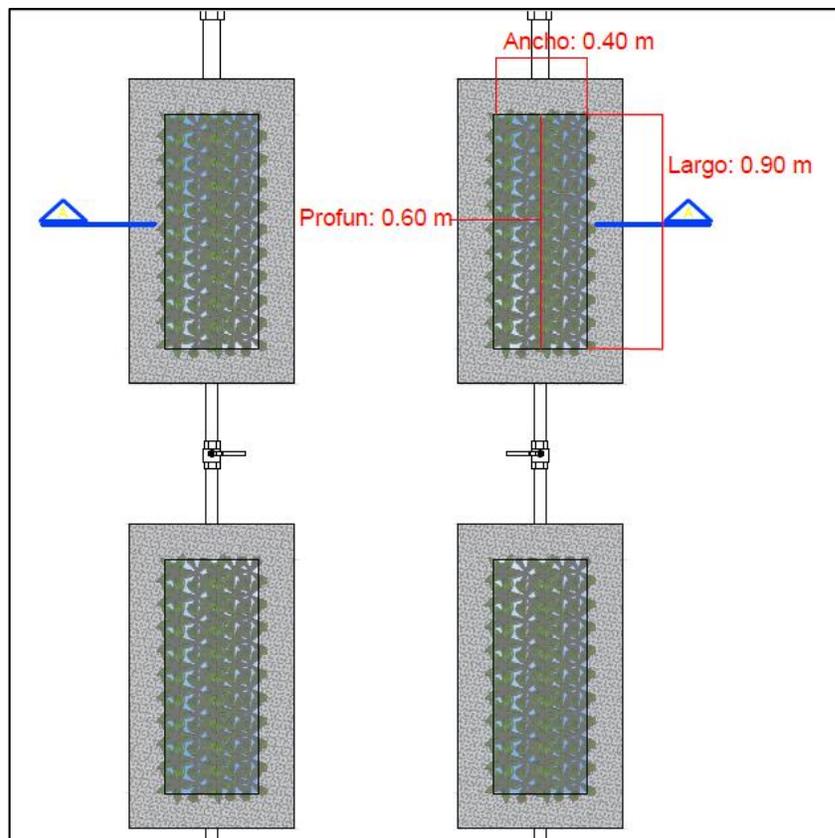


**Figura 19:** Construcción del tratamiento primario.

## B. Diseño y Construcción del tratamiento secundario

El tratamiento secundario es una unidad basada en 2 humedales artificiales de flujo superficial con la macrófita *Eichhornia Crassipes* y 2 humedales artificiales de flujo superficial con la macrófita *Pistia Stratiotes*, para realizar el diseño se siguieron los siguientes ítems:

- Cálculo de las dimensiones de los humedales mediante las **Ecuaciones 2,3,4 y 5**; las dimensiones obtenidas son:  $L = 0.90\text{ m}$ ,  $A_n = 0.40\text{ m}$  y  $h = 0.60\text{ m}$ . Las dimensiones obtenidas son aplicadas a los 4 humedales.
- Con las dimensiones obtenidas se realizaron los diseños correspondientes el programa de AutoCAD.



**Figura 20:** Dimensiones de los humedales.

La construcción de los humedales se realizó de acuerdo con las siguientes actividades:

- Trazo del terreno, en esta etapa se ubican puntos referenciales para realizar una mejor construcción en concordancia con los cálculos.
- Movimiento de tierras o excavación del terreno; esta actividad se realizó con el fin de que el terreno este nivelado y con un pendiente de 1%, según (Espinoza & Peralta, 2009) este porcentaje ayudara a la buena circulación del agua.
- Obras de concreto o construcción propiamente dicho de los humedales.

Las actividades o etapas mencionadas fueron realizadas por personales calificadas para esa área, por otro lado, los materiales utilizados tanto para el diseño y construcción se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 15:** *Materiales y equipos para la construcción de los humedales.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Cemento	Laptop
Arena fina y gruesa	
Impermeabilizante	
Fierro	
Tubos de 2"	
Herramienta de construcción (pala, pico, barras, carretilla)	
Alambre	
Cinta métrica	
Madera y listones	



**Figura 21:** Construcción del tratamiento secundario.

### **C. Obras y actividades complementarias**

Las actividades y obras complementarias realizadas son:

- a. Construcción de la cubierta: La cubierta fue construida de calaminas para poder impedir el ingreso de lluvias y hojas secas al sistema, las dimensiones de la cubierta son:  $An = 3.70m$  y  $L = 8.50 m$ .
- b. Instalación de tuberías y accesorios: Se instalaron tuberías de 4", 3" y 2" con sus respectivos accesorios; las tuberías conductoras del afluente (llave matriz-sedimentador) fueron instaladas de forma área y las tuberías salientes o conductoras del efluente de los humedales fueron instaladas bajo suelo. Las tuberías que se encuentran contentadas entre humedales tienen un pendiente de 2%.
- c. Prueba hidráulica: Las pruebas hidráulicas se realizaron para observar la existencia de alguna falla en las conexiones de las tuberías.

Para la ejecución de las actividades y obras mencionadas se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

**Tabla 16:** *Materiales y equipo para la obras y actividades complementarias.*

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Cinta métrica	Cámara fotográfica
Calamina o techo traslucido y metálico	
Listones y columnas de madera	
Clavo y martillo	
Herramientas de construcción (pico, pala, machete)	
Tubos y accesorios de PVC de 4", 3, 2"	
2 grifos de PVC	
Pegamento para tubo	
Manguera	



**Figura 22:** *Instalación de tuberías y accesorios.*

#### **D. Integración de las macrófitas.**

Para realizar la integración de las macrófitas se realizaron las siguientes actividades:

##### **a. Obtención de las macrófitas**

Las macrófitas *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) y *Pistia Stratiotes* (lechuga de agua) se recolectaron de un estanque ubicada afueras del centro poblado de Llaylla, exactamente en el barrio Vía Progreso. Las obtenciones de las macrófitas se realizaron bajo los siguientes ítems:

- Selección de las plantas; en esta etapa se recolectaron aquellas macrófitas que tenían buena pigmentación y con raíces de aproximadamente 30 cm.
- Después de la recolección se transportó en una tina de 74L.
- Por último, se realizó la limpieza o el lavado de las plantas y así quitar toda la suciedad que se encontraba impregnado.

**Tabla 17:** *Materiales y equipos para la recolección de las macrófitas.*

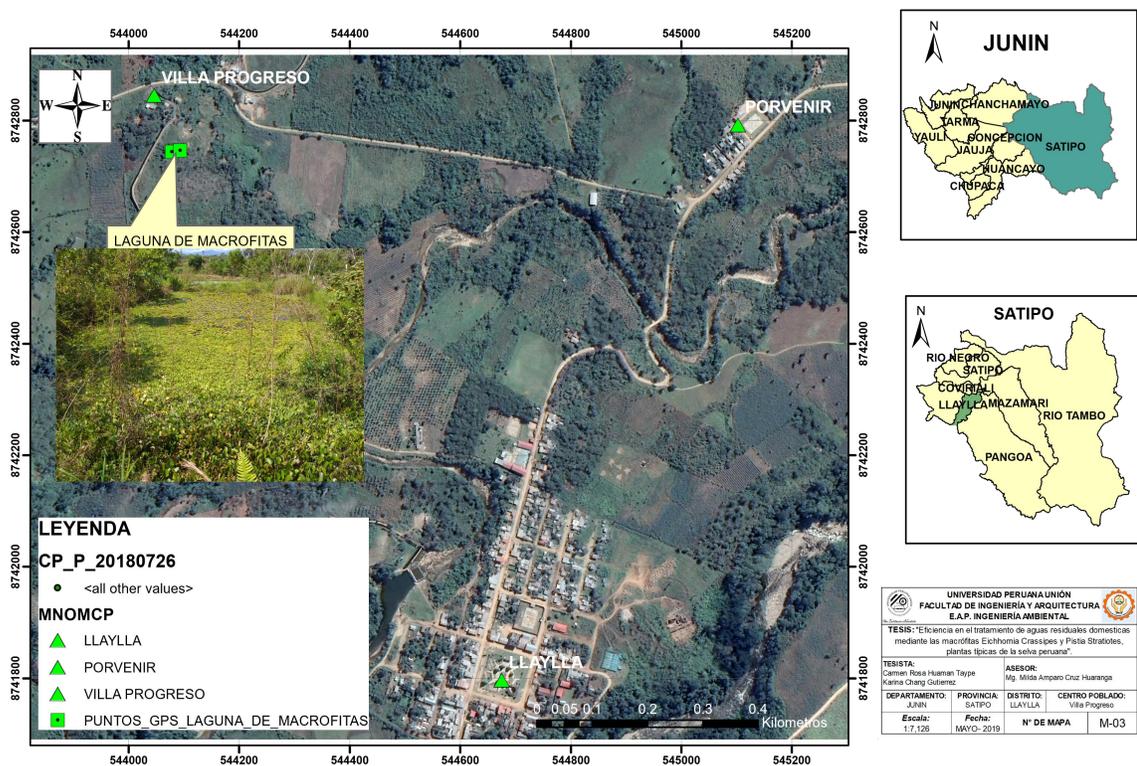
<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
2 tinas de 74L	Cámara fotográfica
Guantes quirúrgicos	GPS
Botas	
Machete	
Guardapolvo	
Libreta de campo	



**Figura 23:** Recolección de las macrófitas.

**Tabla 18:** Ubicación geográfica del estanque o laguna.

<b>Macrófita</b>	<b>Coordenadas geográficas (UTM)</b>	<b>Altitud (msnm)</b>	<b>zona</b>
Eichhornia Crassipes	E 0544078 N 8742744	1102	18 L
Pistia Stratiotes	E 0544093 N 8742746	1102	18 L



**Figura 24:** Ubicación geográfica de las lagunas con macrófitas.

**b. Siembra**

Antes de realizar la siembra se realizó la medición del tamaño de las plántulas con la ayuda de una cinta métrica, para así poder realizar el seguimiento del desarrollo de la macrófita una vez introducida en el humedal. El número de macrófitas que se sembraron en cada humedad fue de 11 plantas. Estas tienen las siguientes características:

**Tabla 19:** Características de las macrófitas.

Plantas acuáticas	Raíz (cm)	Ancho (cm)	Largo total (cm)	Color
Eichhornia Crassipes	25-30	14-17	38-42	Verde esmeralda
Pistia Stratiotes	32-40	15-19	40-42	Verde periquito



**Figura 25:** Siembra de las macrófitas en los humedales.

### 3.2.3. Muestreo del agua residual domestica tratada mediante humedales artificiales con macrófitas flotantes.

#### A. Plan de muestreo

Este plan contiene fechas de los muestreos realizados al agua residual domesticas antes y después de ingresar al sistema de tratamiento con macrófitas, al mismo tiempo, se realizó un plan para evacuar el efluente de los humedales.

**Tabla 20:** Plan de muestreo del agua residual domestica antes y después de su tratamiento.

FECHA	ESTACIÓN DE MUESTREO		
	Agua residual domestica sin tratamiento	Humedal artificial con la macrófita Eichhornia Crassipes	Humedal artificial con la macrófita Pistia Stratiotes
6/03/2019	X		
13/03/2019		X	X
09/04/2019		X	X
16/05/2019		X	X
11/06/2019	X	X	X

El primer muestro del efluente de los humedales fue realizada después de cumplir el tiempo de retención de 10 días, dado que el tratamiento en los humedales comenzó el día cuatro

de marzo, no obstante, el agua residual ingreso al sistema de tratamiento el tres de marzo siendo retenido 8 horas en el sedimentador para su tratamiento.

**Tabla 21:** *Plan de evacuación del efluente de los humedales.*

<b>FECHA</b>	<b>HUMEDAL ARTIFICIAL CON LA MACRÓFITA EICHHORNIA CRASSIPES</b>	<b>HUMEDAL ARTIFICIAL CON LA MACRÓFITA PISTIA STRATIOTES</b>
17/03/2019	X	X
23/03/2019	X	X
29/03/2019	X	X
04/04/2019	X	X
09/04/2019	X	X
15/04/2019	X	X
21/04/2019	X	X
27/04/2019	X	X
03/05/2019	X	X
09/05/2019	X	X
16/05/2019	X	X
22/05/2019	X	X
28/05/2019	X	X
03/06/2019	X	X
11/06/2019	X	X

El agua residual domestica tratada por los humedales fue evacuada cada siete días, no obstante, en algunas ocasiones la evacuación se realizaba antes o después de los siete días, esto debidos a las tomas de muestras. Por lo tanto, el plan de muestreo y el plan de evacuación están relacionadas.

## B. Muestreo y análisis de muestras recolectadas

La siguiente tabla muestra las fechas de los muestreos realizados al agua residual antes y después del tratamiento con las macrófitas. La metodología, materiales, insumos y equipos que fueron utilizadas en el muestreo se encuentran en la **Tabla 12** y **Tabla 13**.

**Tabla 22:** Fechas de muestreos del agua residual antes y después del tratamiento.

FECHA	HORA	ESTACIÓN DE MUESTREO	N° DE ENVASES	PARAMETROS
6/03/2019	6:30 pm	E.ARD*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
13/03/2019	4:30 pm	E.H.EC*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
	4:40 pm	E.H.PS*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
09/04/2019	4:19 pm	E.H.EC*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
	4:32 pm	E.H.PS*	6	DBO, DQO, Aceites y grasa, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
16/05/2019	4:20 pm	E.H.EC*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
	5:00 pm	E.H.PS*	6	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
11/06/2019	4:00 pm	E.ARD*	18	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, Coliformes termotolerantes.
	5:02 pm	E.H.EC*	18	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, C. termotolerantes, T°C.
	5:02 pm	E.H.PS*	18	DBO, DQO, Aceites y grasas, STS, pH, C. termotolerantes, T°C.

Nota:

\*E.ARD (Efluente del agua residual domestica sin tratamiento)

\*E.H.EC (Efluente del humedal artificial con la macrófita Eichhornia crassipes)

\*E.H.PS (Efluente del humedal artificial con la macrófita Pistia stratiotes)



**Figura 26:** Muestreo de efluentes de los humedales.

El análisis de los parámetros físico-químicos y microbiológico del agua residual domestica tratada y sin tratar fueron realizados por el laboratorio de análisis medioambientales Delta Lab S.A.C, no obstante, el parámetro temperatura se analizó en el laboratorio de saneamiento ambiental de la Universidad Peruana Unión en la ciudad de Lima. En la siguiente tabla se muestra la metodología que se utilizó la empresa para el análisis de los parámetros.

**Tabla 23:** Metodología para el análisis de los parámetros.

Ensayo	Descripción del método de ensayo
Aceite y grasas	EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part. 5220 D, 23rd Ed. 2017. Closed Reflux. Colorimetric Method.
Solidos Totales Suspendedos	SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total, Suspended Solids Dried at 103 105°C.
Número de Coliformes Fecales (NMP)	SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part.9212 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Termotolerant Coliform Test (EC Medium).

---

Potencial de Hidrógeno	de SMEWW-APHA-A WWA-WEF Part. 4500-H+B, 23rd Ed. 2017. pH Value: Electrometric Method.
------------------------	--

---

### 3.2.4. Eficiencia de las macrófitas en el tratamiento de las aguas residuales domésticas

Para saber la eficiencia de las macrófitas en el tratamiento de las aguas residuales domesticas se tuvo que calcular el porcentaje de remoción de cada parámetro con la siguiente ecuación.

**Ecuación 6:** Eficiencia de remoción

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{\text{Concentración del afluente} - \text{Concentración del efluente}}{\text{Concentración del afluente}} \times 100$$

La concentración del efluente se refiere a aquellos parámetros tomados al agua residual sin tratamiento y la concentración del efluente son aquellos parámetros tomados a la salida de los humedales.

### 3.2.5. Determinación de la calidad del efluente del sistema de tratamiento contrastando con las normativas vigentes.

Los resultados del análisis de los parámetros del efluente provenientes de los humedales con las macrófitas (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*) se los comparo individualmente con los límites máximos permisible para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales (**DECRETO SUPREMO N.º 003-2010-MINAM- LMP**), de esta manera se pudo identificar a la macrófita más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

**Tabla 24:** *Limites Máximo Permisibles para efluentes de PTAR.*

<b>Parámetro</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUA</b>
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5-8.5
Solidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

No obstante, se le comparo también con el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para agua en la categoría 4 (Conservación del ambiente acuático) y así poder determinar si el efluente de los humedales estaría alterando o no al cuerpo receptor (rio Chalhuamayo) antes de entrar en contacto.

**Tabla 25:** *Estándar de Calidad Ambiental para Agua. Categoría 4: Conservación del ambiente acuático.*

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>E2: Ríos</b>
		<b>Selva</b>
Aceites y grasas	mg/L	5.0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	2000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	10
pH	Unidad	6.5 a 9.0
Solidos Totales en Suspensión	mL/L	≤ 400
Temperatura	°C	Δ 3

Nota:

\*Los parámetros que se observan en la tabla son aquellos que se visualizan en los límites máximo-permisibles de efluentes para vertidos a cuerpos de agua (DECRETO SUPREMO N.º 003-2010-MINAM- LMP).

\*Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada

### **3.3. VARIABLES DE ESTUDIO**

#### **3.3.1. Variables independientes**

Las variables independientes de esta investigación son:

- Macrófita Eichhornia Crassipes.
- Macrófita Pistia Stratiotes.

#### **3.3.2. Variables dependientes**

La presente investigación cuenta con las siguientes variables dependientes:

- Parámetros fisicoquímicos y microbiológico (Aceites y grasas, DBO, DQO, STS, coliformes termotolerantes, pH, T).

### **3.4. ESTUDIO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Esta tesis según el fin que persigue, se le puede clasificar como una investigación aplicada y tecnológica, ya que, la investigación aplicada es aquella que busca resolver un problema de forma inmediata antes que el desarrollo de un conocimiento de valor universal. Por otro lado, la investigación tecnológica se caracteriza por resolver problemas prácticos no aislados, es decir que tiene un efecto multiplicador, también se distingue por ser eficiente y por difundir conocimientos contribuyendo así en forma crucial a la interpretación de la realidad (Borja, 2012)

Por otro lado, según a los tipos de datos analizados, se le considera una investigación cuantitativa, ya que, esta se basa en la medición numérica, el conteo y habitualmente en el uso de la estadística para responder o probar la hipótesis. Por último, el diseño de esta investigación es experimental, porque verifica la hipótesis mediante la manipulación “deliberada” por parte del investigador de las variables (Alfaro, 2012).

### 3.5. FORMULACIÓN DE HIPOTESIS

***H<sub>0</sub>*** = Las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes no son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

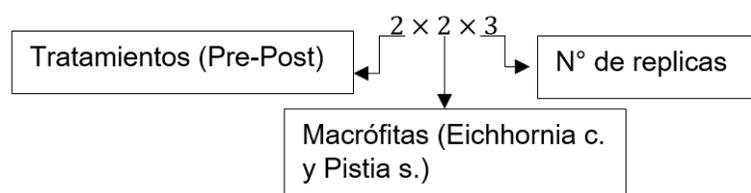
***H<sub>a</sub>*** = Las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

### 3.6. DISEÑO DE EXPERIMENTOS

#### 3.6.1. Diseño estadístico

Para esta investigación se optó por el Diseño Completamente al Azar (DCA), según (Medero, Torres, & Flores, 2002) este diseño es muy útil para condiciones en que las unidades experimentales presentan homogeneidad relativa, lo que permite colocar completamente al azar a los tratamientos en cada una de las unidades experimentales, es decir, este diseño no impone restricciones a las unidades experimentales. También es útil para ensayos de campo en que las unidades experimentales “no” requieren de agrupamiento o bloqueo (Pedroza & Dicovskyi, 2006).

Por lo tanto, en esta investigación se diseñó con el DCA de  $2 \times 2 \times 3$ , donde:



#### 3.6.2. Análisis estadístico

El análisis estadístico para un experimento establecido en diseño completamente al azar, se denomina análisis de varianza (ANOVA), el cual fue introducido por Ronal Fisher y es el conjunto de situaciones experimentales y procedimientos estadísticos para el análisis de respuestas cuantitativas, que se utiliza para comparar dos o más tratamientos, permitiendo

analizar si las diferencias detectadas entre las medias son significativas o debidas, simplemente al azar. Dado que solo consideran dos fuentes de variabilidad, los tratamientos y el error aleatorio (Roque, 2003).

El análisis de varianza para el diseño completamente al azar está dado por la siguiente tabla.

**Tabla 26:** Estructura del análisis de varianza para un diseño completamente al azar.

Fuente de variación (F.V)	Grados de libertad (G.L)	de Suma de cuadrados (S.C)	Cuadrado medio (C.M)	F calculada (F <sub>cal</sub> )	F de tablas (F <sub>tab</sub> )
Tratamiento	$GL_{trat} = t - 1$	$SC_{trat} = \sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r_i} - FC$	$CM_{trat} = \frac{SC_{trat}}{GL_{trat}}$	$F_{cal} = \frac{CM_{trat}}{CM_{error}}$	$F_{tab} = F_{\alpha}(v_1, v_2)$
Error	$GL_{error} = \sum_{i=1}^t r_i - t$	$SC_{error} = SC_{total} - SC_{trat}$	$CM_{error} = \frac{SC_{error}}{GL_{error}}$		
Total	$GL_{total} = \sum_{i=1}^t r_i - 1$	$SC_{total} = \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^{r_i} Y_{ij}^2 - FC$			

Fuente: (Peña, 2007)

Donde:

$F_{\alpha}(v_1, v_2)$  = Cuantil de la distribución F.

$(v_1)$  = Grados de libertad de los tratamientos

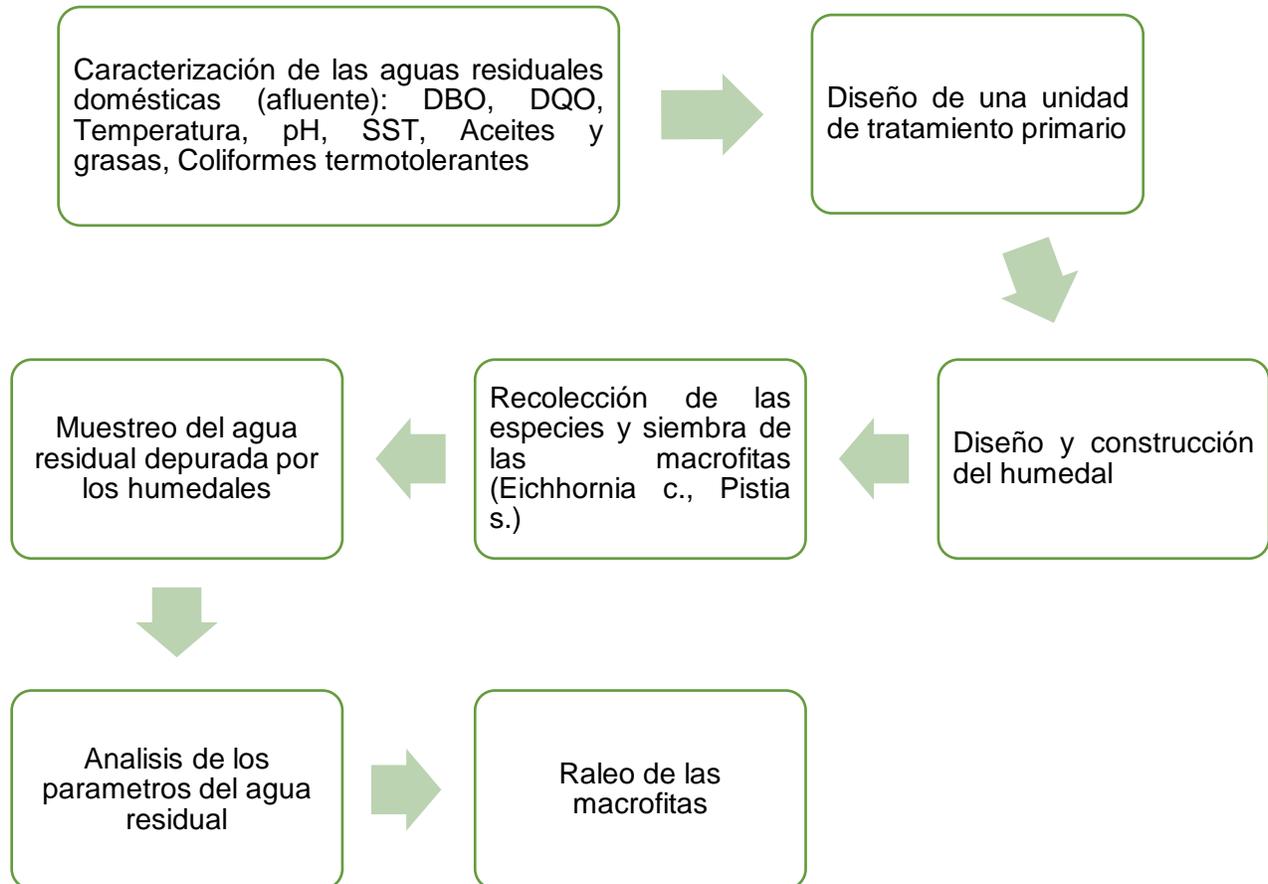
FC = Factor de corrección

Y = Suma de todas las observaciones en el experimento

$Y_i$  =Suma de todas las observaciones que pertenecen al i- ésimo tratamiento.

Para el análisis de los datos se determinó un ANOVA a  $p < 0.05$ ; todos estos cálculos se realizaron mediante el empleo del software estadístico Statistica versión 13.1.

### 3.6.3. Flujo experimental



## CAPÍTULO IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN

### 4.1. Resultados de los parámetros analizados antes y después del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*).

**Tabla 27:** Resultado del análisis de calidad de agua residual.

PARÁMETRO	UNIDAD	MESES									
		MARZO			ABRIL		MAYO		JUNIO		
		Muestra madre*	Eichhornia C.	Pistia S.	Eichhornia C.	Pistia S.	Eichhornia C.	Pistia S.	Muestra madre	Eichhornia C.	Pistia S.
Aceites y grasas	mg/L	5.7	9	8.5	2.1	4.6	1.3	1.3	5.5	1.4	1.4
Coliformes fecales	NMP/100 mL	350000	4900	7900	13	110	23	17	106333	130	59.5
DBO	mg/L	125	82	66	11	14	9	10	122.3	26.7	24.7
DQO	mg/L	211	175	142	49	52	49	49	205.3	57.3	54
pH	UpH	6.3	7.2	7	6.8	6.8	6.6	6.8	6.5	7.3	6.8
Sólidos totales en suspensión	mg/L	20	10	75	6	2	2	2	10	1.8	1.8
Temperatura	°C	24.58	23	22	--	--	--	--	22.3	22.5	22.6

\*Muestra madre = Agua residual domestica sin tratamiento.

En la tabla 27, se muestra los resultados de los muestreos realizados a los efluentes de las viviendas y de los humedales durante el periodo de cuatro meses de funcionamiento.

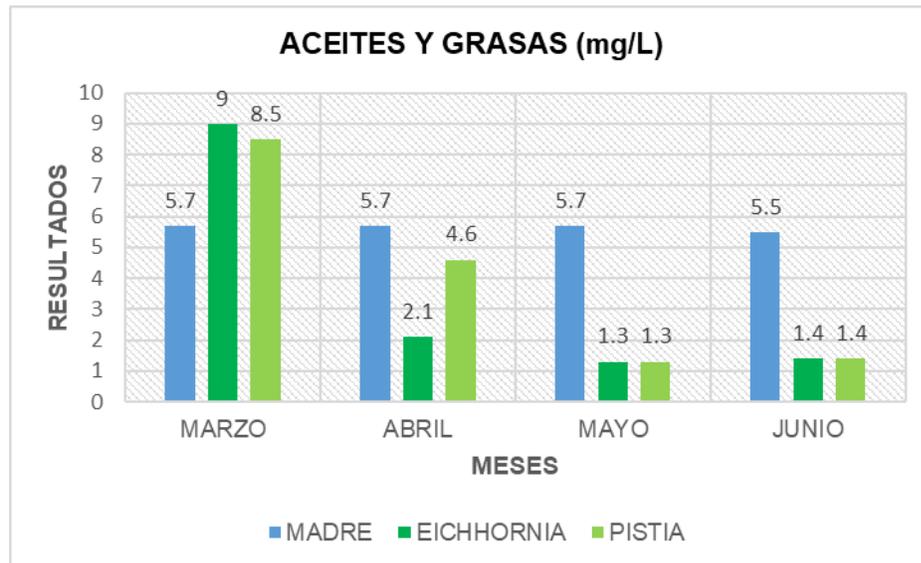
Para el mes de marzo se realizó un muestreo al agua residual domestica sin tratamiento, el cual fue en horarios de la noche (6: 30 pm); asimismo, después de diez días del inicio del tratamiento (tiempo de retención) se realizó el muestreo de los efluentes de los humedales artificiales, el cual fue en horas de la tarde (4: 30 pm). En los meses de abril y mayo solo se realizaron el muestro a los efluentes de los humedales artificiales en horario de la tarde (4:00 pm a 4:30 pm). Por último, en el mes de junio se realizó el muestreo del agua residual sin tratamiento y del efluente de los humedales, los muestreos se realizaron en horas de la tarde (4: 00pm para el ARD sin tratamiento y 5:00pm para los efluentes de los humedales).

Por otro lado, las variaciones de los horarios de los muestreos se debieron a la lejanía del distrito, ya que para el análisis de los parámetros se tuvo que enviar a la ciudad de Lima.

Por último, las variaciones de los resultados que se observan en algunos parámetros del mes de junio es debido a la fecha del muestreo, ya que se realizó antes del raleo de las macrófitas, por ende, los humedales estuvieron saturadas de macrófita al momento del muestreo.

#### 4.1.1. Resultado mensual de los parámetros analizados antes y después del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas

##### A. Aceites y grasas



**Figura 27:** Resultados del parámetro aceites y grasas.

- **Interpretación:**

La siguiente figura muestra los resultados obtenidos en el afluente de los cuatro meses de monitoreo del parámetro Aceites y Grasas que ingresó al sedimentador, siendo un valor de 5,7 mg/L, posterior el último mes de junio varió siendo un valor de 5,5 mg/L, esta variación se dio a causa de que el monitoreo fue realizado en un horario diferente a los anteriores muestreos, por motivos de disponibilidad de tiempo, lejanía del lugar y movilidad para el traslado de las muestras hacia el laboratorio ubicado en la ciudad de Lima.

Para el efluente que fue tratado y monitoreado durante los cuatro meses con las especies; Eichhornia Crassipes dio un resultado para el mes de marzo de 9 mg/L, siendo que aumentó el porcentaje debido a que la especie recién entraba en el periodo de adaptación y con la especie

Pistia Stratiotes se obtuvo un resultado de 8,5 mg/L, de la misma manera la macrofitas se encontraba en un periodo de adaptación.

En seguida para el mes de abril con la especie Eichhornia Crassipes se obtuvo un resultado de 2,1 mg/L dando un resultado muy significativo, debido a que la especie ya se encontraba adaptada y con la especie Pistia Stratiotes se obtuvo un resultado de 4,6 mg/L, de la misma manera la especie se encontraba adaptada al medio.

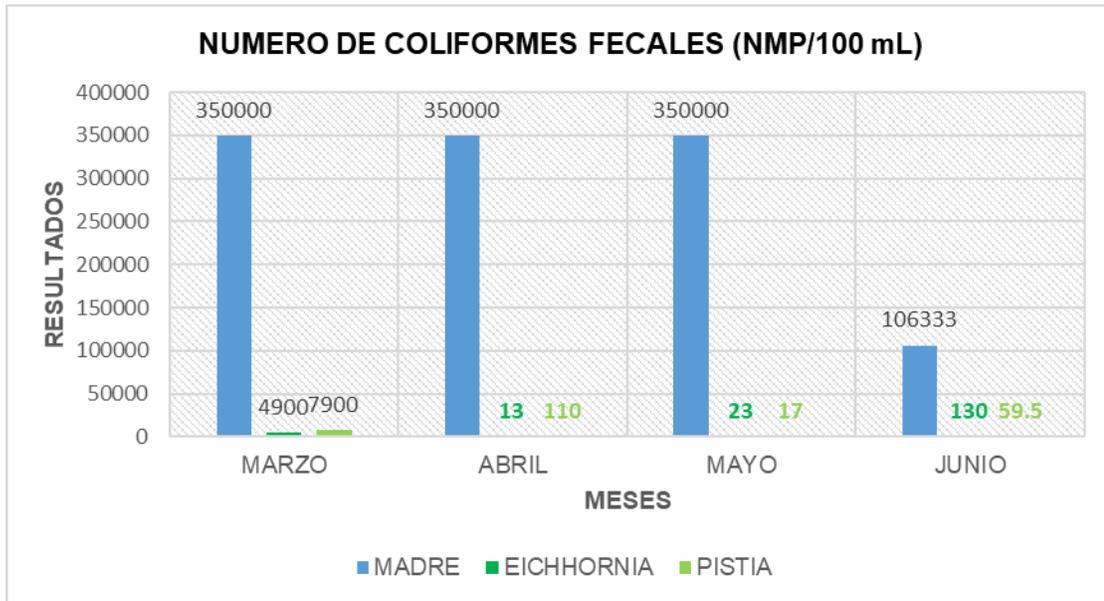
Luego para el mes de mayo con las especies Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes para ambos casos se obtuvo un resultado de 1,3 mg/, siendo que las dos especies trataron por igual el efluente. Por último, para el mes de junio ambas especies Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes obtuvieron un resultado de 1,4 mg/L. Ambas plantas tuvieron buenos resultados en la depuración de este parámetro.

- **Discusión:**

Estas reducciones del parámetro Aceites y grasas , según (Tuesta Flores, 2016) es debido a que las plantas acuáticas son muy buenas para la remoción de contaminantes orgánicos biodegradables el cual son ricos en aceites y grasas, producto de las cocinas de las viviendas. Este enunciado es corroborado por (Perales, 2018), ya que utilizo a la especie Eichhornia Crassipes para reducir este parámetro, donde su valor inicial fue de 230,3 mg/L y un final de 17,8 mg/, demostrando un buen resultado en la reducción del contaminante en las aguas residuales.

Para la especie Pistia Stratiotes según los estudios realizado por (Martinez, 2014), la reducción de este parámetro fue de 0,6 mg/L a 0,1 mg/L, demostrando de esta manera que hubo una buena remoción del parámetro.

## B. Coliformes termotolerantes



**Figura 28:** Resultados del parámetro número de coliformes fecales.

- **Interpretación**

La siguiente figura muestra los resultados obtenidos en el afluente de los cuatro meses de monitoreo del parámetro Numeración de Coliformes Fecales que ingresó al sedimentador, siendo un valor de 350000 NMP/100mL, posterior el último mes de junio varió siendo un valor de 106333 NMP/100mL, esta variación se dio a causa de que el monitoreo fue realizado en un horario diferente a los anteriores muestreos, por motivos de disponibilidad de tiempo, lejanía del lugar y movilidad para el traslado de las muestras hacia el laboratorio ubicado en la ciudad de Lima.

Para el efluente que fue tratado y monitoreado durante los cuatro meses con las especies; *Eichhornia Crassipes* dio un resultado para el mes de marzo de 4900 NMP/100mL, siendo que disminuyó un gran porcentaje y con la especie *Pistia Stratiotes* se obtuvo un resultado de 7900 NMP/100mL de la misma manera hubo una disminución.

En seguida para el mes de abril con la especie *Eichhornia Crassipes* se obtuvo un resultado de 13 NMP/100mL dando un resultado muy significativo, debido a que la especie se encontraba adaptada al medio y con la especie *Pistia Stratiotes* se obtuvo un resultado de 110 NMP/100mL, de la misma manera la especie se encontraba adaptada al medio.

Luego para el mes de mayo con las especies; *Eichhornia Crassipes* se obtuvo un resultado de 23 NMP/100mL, manteniéndose en un porcentaje considerable y con la especie *Pistia Stratiotes* se obtuvo un resultado de 17 NMP/100mL, de la misma forma hubo resultado muy bueno.

Por último, para el mes de junio con las especies; *Eichhornia Crassipes* se obtuvo un resultado de 130 NMP/100mL y la especie *Pistia Stratiotes* obtuvo un resultado de 59,5 NMP/100 mL. Ambas plantas tuvieron buenos resultados en la eliminación de este parámetro.

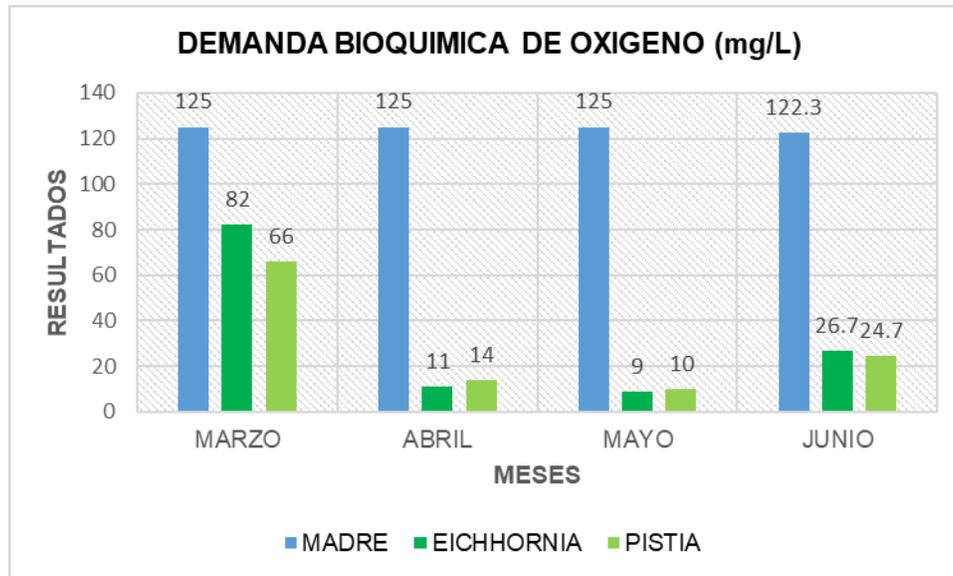
- **Discusión**

La eliminación de los coliformes Fecales según (Chumbe & Garcia, 21012) se debió por la acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos), exposición a la toxicidad por antibióticos producidos y exudados por las raíces de las macrófitas y la radiación UV contenidas en las radiaciones solares.

Según los resultados obtenidos en esta investigación la macrófita *Eichhornia crassipes* es una especie que reduce a gran medida este parámetro y esto es corroborado mediante el estudio realizado por (Ayala, Calderón, Rascón, Gomez, & Collazos, 2018), donde el parámetro redujo de 258 NMP/100mL a 20NMP/100MI. De la misma manera para (Cruz, y otros, 2016), el resultado inicial del parámetro Coliformes Fecales fue de 24000 NMP/100mL y un resultado final de 11000 NMP/100mL, obteniendo una reducción muy significativa del parámetro mencionado.

Para la macrófita Pistia Stratiotes según el estudio realizado por (Andrade, 2015) del parámetro coliformes fecales, tuvo un resultado inicial de 4200000 NMP/100m L y final de 110000 NMP/100mL, por lo cual se considera una disminución favorable

### C. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)



**Figura 29:** Resultados del parámetro DBO.

- **Interpretación**

En la figura 29 se muestra los resultados del parámetro DBO monitoreo por cuatro meses a los efluentes de las viviendas (Madre) y a los efluentes de los humedales.

Los resultados de pre-tratamiento o muestra madre son 125 mg/l en el mes de marzo y 122.3 mg/l para el mes de junio; como se puede observar no existe mucha diferencia entre los resultados obtenidos entre el mes de marzo y junio.

Los resultados del pos-tratamiento demuestran una gran reducción de este parámetro; en el mes de marzo se redujo a 82 mg/l para Eichhornia y 66 mg/l para Pistia, el mes de abril tuvo valores como 11 mg/l para Eichhornia y 14 mg/l para Pistia, para el mes de mayo se redujo a 9 mg/l para Eichhornia y 10 mg/l para Pistia; los resultados mencionados son comparados con el

resultado obtenido en el de marzo. Los resultados del mes de junio son 26.7 mg/l para Eichhornia y 24.7 mg/l para Pistia; este resultado se comparó con el ultimo muestreo realizado al efluente del ARD (muestra madre).

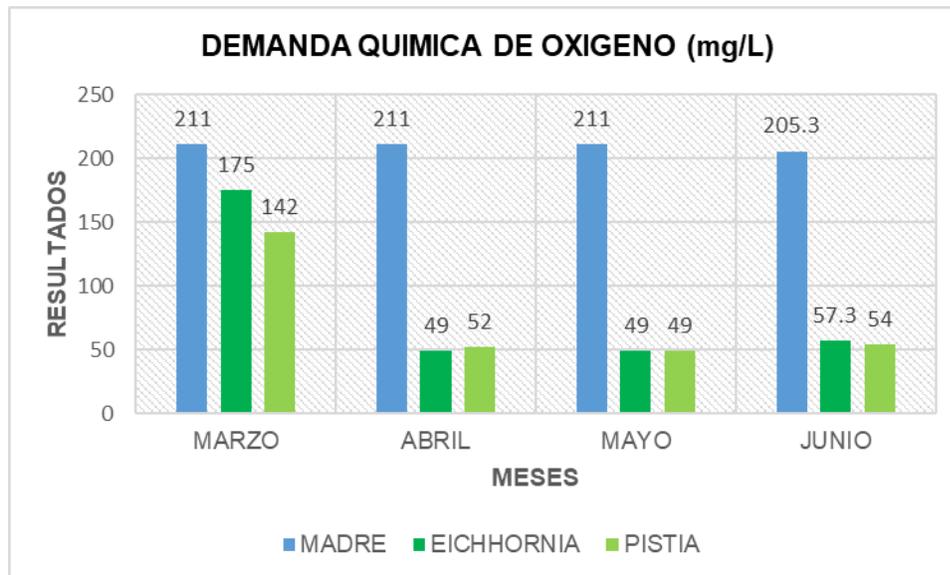
- **Discusión**

La reducción del DBO en los sistemas de tratamiento con macrófitas según (Valderrama L. , 2005) se debe a muchos mecanismos, los cuales son: la respiración aerobia, la anaerobia facultativa, y la aerobia estricta de las bacterias presentes en la zona bentónica. Por otro lado, para (Ugya & Imam, 2015) la reducción de este parámetro se debe a la poca profundidad del sistema de tratamiento.

La macrófita Pistia Stratiotes según esta investigación es una gran removedora y esto es corroborado por (Granda, 2016), ya que en su investigación el DBO redujo de 158mg/l a 3mg/l, asimismo, (Chumbe & Garcia, 21012) la macrófita Pistia Stratiotes redujo el DBO de 39.5 mg/l a 12mg/l.

Los resultados de la depuración de DBO de esta investigación también es corroborado por (Román & Méndez, 2014) donde el agua residual tratada con la macrófita Eichhornia Crassipes tuvo una reducción de 4502 mg/l a 98 mg/l; de la misma forma, (Dominguez, Gómez, & Ardila, 2016) confirman que el Jacinto de agua es buena removedora de este parámetro ya que el DBO inicial fue de 13 mg/l y de 0.15 a 0.19 mg/l el DBO después del tratamiento. Además, en el monitoreo realizado por (Domínguez O., 2001) a un sistema de tratamiento de laguna con Eichhornia Crassipes durante el periodo de 2 años pudo observar que esta macrófita remueve a gran escala, ya que en uno de los monitoreos el DBO redujo de 216 mg/l a 82 mg/l.

#### D. Demanda Química del Oxígeno (DQO)



**Figura 30:** Resultados del parámetro DQO.

- **Interpretación**

La siguiente tabla muestra los resultados obtenidos en el afluente de los cuatros meses de monitorea del parámetro Demanda Química de Oxigeno que ingresó al sedimentador, siendo un valor de 211 mg/L, posterior el último mes de junio vario siendo un valor de 205.3 mg/L, esta variación se dio a causa de que el monitoreo fue realizado en un horario diferente a los anteriores muestreos, por motivos de disponibilidad de tiempo, lejanía del lugar y movilidad para el traslado de las muestras hacia el laboratorio ubicado en la ciudad de Lima.

Para el efluente que fue tratado y monitoreado durante los cuatro meses con las especies; Eichhornia Crassipes dio un resultado para el mes de marzo de 175mg/L, y con la especie Pistia Stratiotes se obtuvo un resultado de 142 mg/L, observando una buena eliminación del parámetro.

En seguida para el mes de abril con la especie *Eichhornia Crassipes* se obtuvo un resultado de 49 mg/L y con la especie *Pistia Stratiotes* se obtuvo un resultado de 52 mg/L, obteniendo de ambos un resultado muy significativo.

Luego para el mes de mayo con las especies *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes* para ambos casos se obtuvo un resultado de 49 mg/L, siendo que las dos especies depuraron por igual el efluente.

Por último, para el mes de junio con las especies; *Eichhornia Crassipes* se obtuvo un resultado de 57,3 mg/L y la especie *Pistia Stratiotes* obtuvo un resultado de 54 mg/L. Ambas plantas tuvieron buenos resultados en la depuración de este parámetro.

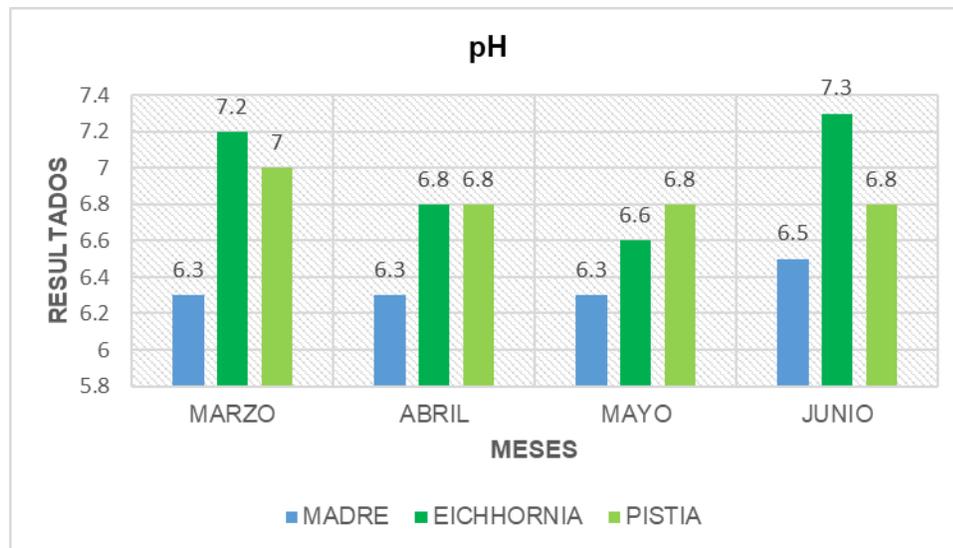
- **Discusión**

Estas macrófitas según (Espinoza & Peralta, 2009) disminuyeron debido a que poseen un sistema de raíces que tienen microorganismos adheridas a ellas que benefician la acción depuradora removiendo algunos compuestos orgánicos como la DQO (Demanda química de oxígeno).

Según los análisis obtenidos por (Ayala, Calderón, Rascón, Gomez, & Collazos, 2018) con la especie *Eichhornia Crassipes* del parámetro Demanda Química de Oxígeno, del tratamiento inicial de 79,72 mg/L y el tratamiento final de 12,11 m/L, esto demuestra que la macrófita reduce en gran medida para este parámetro. De la misma manera para (Yucra, 2010), los resultados del tratamiento del agua residual con la misma especie para el parámetro DQO inicial fue de 46,23 mg/L y el final fue de 0,07 mg/L. Obteniendo una buena remoción en el tratamiento del agua residual con la especie mencionada

Para la macrófita Pistia Stratiotes según los estudios realizados por (Bolaños, Casas, & Aguirre, 2008), del parámetro de DQO tuvo un resultado inicial de 62,30 mg/L y un resultado final de 37,70 mg/L, teniendo una reducción favorable.

### E. Potencial de hidrogeno



**Figura 31:** Resultados del parámetro pH.

- **Interpretación**

La figura 31 muestra los resultados de los muestreos realizados al parámetro pH realizados durante cuatro meses.

El primer mes (marzo) se obtuvo un resultado de 6.3 para la muestra madre (afluente) y del efluente de los humedales con Eichhornia y Pistia se obtuvo 7.2 y 7. En el mes de abril y mayo no se realizó ningún muestreo al efluente de las viviendas, por lo tanto, la comparación se realizó con el antiguo dato; el pH para el segundo mes fue de 6.8 para ambas macrófitas, 6.6 y 6.8 para Eichhornia y Pistia en el tercer mes.

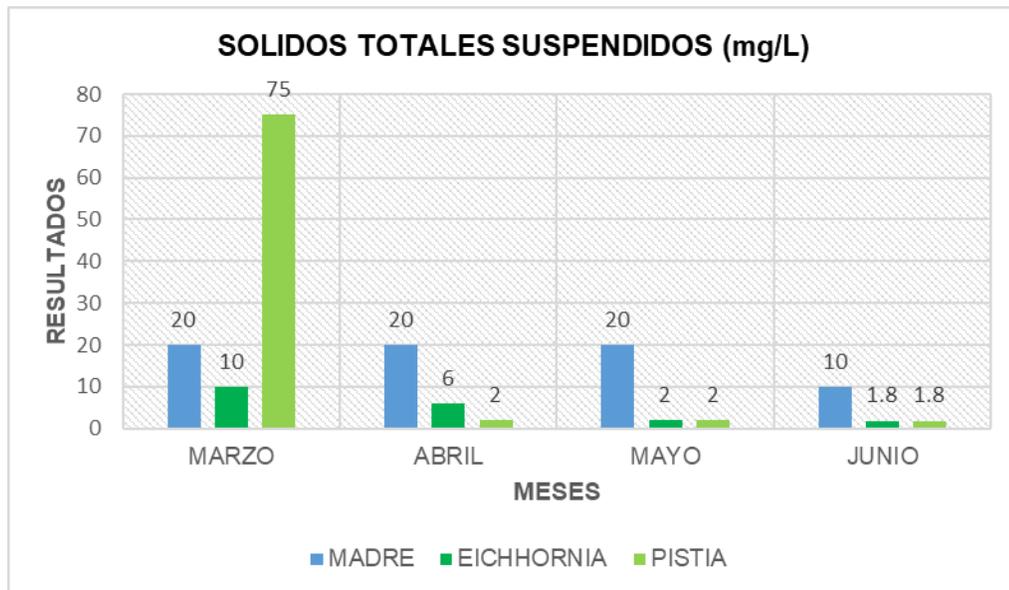
En el mes de junio se obtuvo un pH de 6.5 del efluente de las viviendas, 7.3 y 6.8 de los efluentes de las macrófitas Eichhornia y Pistia.

- **Discusión**

El aumento de pH en los humedales con macrófitas según (Lu, He, Graetz, Stoffella, & Yang, 2010) es debido a la fotosíntesis que realizan las macrófitas, no obstante en la investigación que realizaron obtuvieron valores de 7.46 (agua sin tratamiento) y 6.96 para el agua residual tratada con la macrófita *Pistia Stratiotes*. Por otro lado, lo expresado anteriormente y los resultados de nuestros análisis es corroborado también por los investigadores (León, y otros, 2018) donde el pH del agua sin tratar el primer día fue 6.60 y 8.07 para el séptimo día, en el caso del sistema con la macrófita *Pistia Stratiotes* el primer día fue de 7.50 y 7.60 para el último día. Asimismo, (Chumbe & Garcia, 21012) observaron una leve variación del pH en el tratamiento de aguas residuales con la lechuga de agua y fue de 7.7 (afluente) a 7.4 (efluente).

Por otro lado, según (Valderrama L. , 2005) la macrófita *Eichhornia Crassipes* estabiliza el pH y ayuda a producir valores más cercanos a la neutralidad del agua; esto es corroborado por, (Rodríguez-Miranda, Gómez, Garavito, & López, 2010) ya que en la investigación que realizó los valores de pH al iniciar el tratamiento fue de 6.7 y después del tratamiento o durante fue de 6 a 8 como máximo, de esta manera según el autor favorece a la estabilización del sistema de tratamiento y remoción óptima del sistema. Para los investigadores (Quiroz, Miranda, & Lot, 2008) los valores iniciales fueron de 7.7, pero durante el tratamiento con la macrófita redujo a 7.1, por lo tanto concuerda con lo mencionado por (Valderrama L. , 2005) y con nuestros resultados.

## F. Sólidos totales en suspensión (STS)



**Figura 32:** Resultados del parámetro sólidos totales suspendidos.

- **Interpretación:**

En la figura n° 32, se puede observar los resultados de los muestreos realizados al ARD sin tratamiento (muestra madre) y al efluente de los humedales durante el periodo de 4 meses.

En el primer mes (marzo) el ARD sin tratamiento tenía 20 mg/L de STS, al pasar por el humedal con la macrófita *Eichhornia Crassipes* redujo a 10 mg/L, por otro lado, el resultado obtenido del humedal con la macrófita *Pistia Stratiotes* fue de 75 mg/L. El aumento de sólidos totales suspendidos en el tratamiento con *Pistia s.* se debe al desprendimiento de las raíces de la macrófita, por lo tanto, se recomienda el uso de macrófitas jóvenes al inicio del tratamiento.

Para el mes de abril y mayo, en el caso de los resultados de la muestra madre se consideraron aquellos obtenidos del primer mes siendo este 20 mg/L; en el caso de los resultados de los efluentes de los humedales se puede observar claramente la reducción de este parámetro,

dándonos 6 mg/l (abril) y 2 mg/l (mayo) para el humedal con la macrófita *Eichhornia c.* y 2 mg/l en el mes de abril y mayo para el humedal con *Pistia s.*

Por último, en el mes de junio el ARD sin tratamiento tuvo un resultado de 10 mg/l y los humedales con la macrófita *Eichhornia c.* y *Pistia* redujeron estos valores a 1.8 mg/L.

- **Discusión**

Según (Prajapati, Bruggen, Dalu, & Malla, 2017) la reducción de este parámetro se debe a las densas raíces y a las biopelículas que se forman en estas, las biopelículas contienen muchas comunidades de microorganismos encargados de filtrar y atrapar partículas suspendidas en la columna de agua, que al paso del tiempo estas se desprenden de las raíces debido al tamaño y peso de las partículas acumuladas. Para (Chumbe & García, 2012), otro mecanismo que ayuda a la disminución de este parámetro es la poca profundidad del sistema del tratamiento.

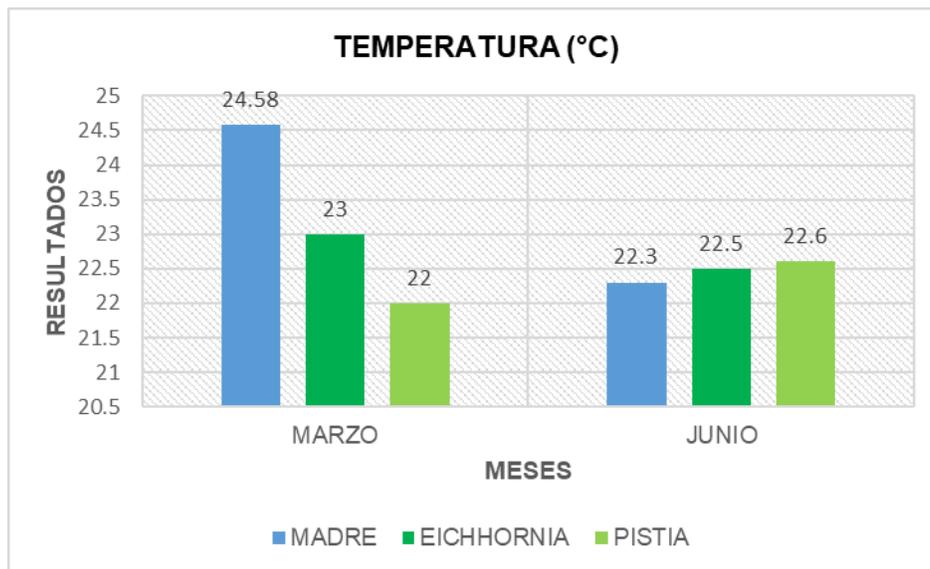
Una ensayo realizado a la macrófita *Pistia Stratiotes* por los investigadores (Lu, He, Graetz, Stoffella, & Yang, 2010) ratifica los resultados obtenidos en esta investigación, ya que los sólidos totales suspendidos redujeron de 0.42 a 0.27 mg/l; asimismo, (Granda, 2016) utilizó a la lechuga de agua para reducir los valores de los sólidos totales suspendidos de 492 mg/l a 26mg/l. Además, según (Chumbe & García, 2012) la macrófita *Pistia Stratiotes* es una de las macrófitas flotantes mejor removedoras de este parámetro, ya que en su investigación el STS redujo de 80mg/l a 31mg/l.

En una investigación realizada en un periodo cinco meses por (Belloso & Mendoza, 2000), la macrófita *Eichhornia Crassipes* redujo los valores de los sólidos totales suspendidos de 150mg/l a 50mg/l, no obstante se registraron variaciones en todos los meses en el que duró el tratamiento. Asimismo, en el monitoreo realizado por (Domínguez O., 2001) a un sistema de tratamiento de laguna con *Eichhornia Crassipes* durante el periodo de 2 años pudo observar que

esta macrófita remueve a gran escala, ya que en uno de los monitoreos el STS redujo de 26mg/l a 19mg/l. Por otro lado, según la investigación realizada por (Mendoza & Molina, 2016) la macrófita Eichhornia Crassipes remueve el 100% de los sólidos totales suspendidos de un agua residual doméstico.

Por otro lado, según (Espinoza & Peralta, 2009) menciona que la disminución del STS se debe también a las cosechas o raleo de las macrófitas, ya que, al momento de sacar las macrófitas se elimina también los sólidos adheridos a sus raíces.

### G. Temperatura



**Figura 33:** Resultados de la temperatura.

- **Interpretación**

La figura 33 nos muestra los resultados de la temperatura medida al efluente de las viviendas y al efluente de los humedales realizados los meses marzo y junio.

En el mes de marzo las macrófitas redujeron la temperatura, dado que, el agua residual sin tratamiento fue de 24.58°C y de las macrófitas fueron 23°C y 22°C para las macrófitas Eichhornia y Pistia.

Para el mes de junio las macrófitas elevaron los valores de la temperatura, ya que, el agua residual sin tratamiento tuvo 22.3 °C y los resultados de los efluentes de los humedales fueron 22.5°C para Eichhornia y 22.6°C para Pistia.

- **Discusión**

Según (Espinoza & Peralta, 2009) la macrófita Eichhornia Crassipes puede disminuir la temperatura de agua debido a sombra provocada por sus anchas hojas; este efecto fue también reportado por (Quiroz, Miranda, & Lot, 2008) donde la temperatura sin tratamiento fue de 20°C y con la macrófita fue de 18°C. Asimismo, en el tratamiento de agua residuales domesticas realizada por (Ayala, Calderón, Rascón, Gomez, & Collazos, 2018) la macrófita redujo la temperatura de 18.47°C a 17.90°C.

De igual forma, la razón por el cual Pistia Stratiotes redujo en mayor proporción la temperatura del agua se debe a que sus hojas cubren un área mayor en comparación con Eichhornia crassipes. Los investigadores (León, y otros, 2018) en su investigación obtuvieron datos similares a la de esta investigación, ya que en el primer monitoreo realizado al agua residual sin tratamiento (control) y al agua residual tratada con la macrófita Pistia stratiotes fue de 24° C y 26°C respectivamente, en el segundo monitoreo en el control se obtuvo 26.33°C y 24°C para Pistia Stratiotes. Asimismo, (Chumbe & Garcia, 21012) obtuvieron valores de 24.5 °C para el afluente y 24 °C para el efluente de los humedales con Pistia.

Por otro lado, el aumento de temperatura en algunos casos se debe a las cosechas y al crecimiento de la especie.

#### 4.2. Eficiencia del tratamiento entre las macrófitas acuáticas (Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes) en el tratamiento de aguas residuales domesticas

Para evaluar la eficiencia de los tratamientos de las macrófitas Eichhornia Crassipes (jacinto de agua) y Pistia Stratiotes (lechuga de agua), se determinó el porcentaje de eficiencia de cada uno de los parámetros.

##### a. Macrófita acuática Eichhornia Crassipes

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro aceites y grasas

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E.\text{remocion (\%)} = \frac{5,7 \text{ mg/L} - 1,4 \frac{\text{mg}}{\text{L}}}{5,7 \frac{\text{mg}}{\text{L}}} \times 100$$

$$E.\text{remocion (\%)} = 75.4 \%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Coliformes termotolerantes

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E.\text{remocion (\%)} = \frac{106333 \frac{\text{NMP}}{100} \text{ ml} - 130 \frac{\text{NMP}}{100} \text{ ml}}{106333 \frac{\text{NMP}}{100} \text{ ml}} \times 100$$

$$E.\text{remocion (\%)} = 99.9 \%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

$$\text{Eficiencia de remocion (\%)} = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = \frac{122,3 \frac{mg}{L} - 26,7 \frac{mg}{L}}{122,3 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = 78.2\%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$Eficiencia \text{ de remocion } (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = \frac{205,3 \text{ mg/L} - 57,3 \frac{mg}{L}}{205,3 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = 72.1\%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Solidos Totales en Suspensión

$$Eficiencia \text{ de remocion } (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = \frac{10 \frac{mg}{L} - 1.8 \frac{mg}{L}}{10 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = 82 \%$$

#### **b. Macrófita acuática Pistia Stratiotes**

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro aceites y grasas

$$Eficiencia \text{ de remocion } (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = \frac{5,7 \frac{mg}{L} - 1,4 \frac{mg}{L}}{5,7 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E. \text{remocion } (\%) = 75.4 \%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Coliformes termotolerantes

$$Eficiencia\ de\ remocion\ (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E.remocion\ (\%) = \frac{106333 \frac{NMP}{100} ml - 59.5 \frac{NMP}{100} ml}{106333 \frac{NMP}{100} ml} \times 100$$

$$E.remocion\ (\%) = 99.9\ \%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

$$Eficiencia\ de\ remocion\ (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$EE.remocion\ (\%) = \frac{122,3 \frac{mg}{L} - 24,7 \frac{mg}{L}}{122,3 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E.remocion\ (\%) = 79.8\%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Demanda Química de Oxígeno (DQO)

$$Eficiencia\ de\ remocion\ (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E.remocion\ (\%) = \frac{205,3 \frac{mg}{L} - 54mg}{211 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E.remocion\ (\%) = 73.7\%$$

- Porcentaje de eficiencia en la remoción del parámetro Solidos Totales en Suspensión

$$Eficiencia\ de\ remocion\ (\%) = \frac{Ca - Ce}{Ca} \times 100$$

$$E. \text{remocion} (\%) = \frac{10 \frac{mg}{L} - 1.8 \frac{mg}{L}}{10 \frac{mg}{L}} \times 100$$

$$E. \text{remocion} (\%) = 82\%$$

**Tabla 28:** Eficiencia del porcentaje de remoción del tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las especias *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*.

<b>parámetros</b>	<b>Eficiencia Eichhornia Crassipes (%)</b>	<b>Eficiencia Pistia Stratiotes (%)</b>
Aceites y grasas	75.4	75.4
Demanda bioquímica de oxigeno	78.2	79.8
Demanda química de oxigeno	72.1	73.7
Solidos totales suspendidos	82	82
Numeración de coliformes fecales	99.9	99.9
<b>Resultado total</b>	<b>81.5</b>	<b>82.2</b>

Según tabla 28, la macrófita la macrófita *Eichhornia Crassipes* tuvo una eficiencia de remoción de 75.4% para aceites y grasas, 78.2% DBO, 72.1% DQO, 82% STS y 99,9% coliformes fecales. Por lado, la especie *Pistia Stratiotes* tuvo una eficiencia de remoción de 75.4% para aceites y grasas, 79.8% DBO, 73.7% DQO, 82% STS y 99,9% coliformes fecales.

No obstante, la macrófita más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domesticas es Pistia Stratiotes (lechuga de agua) teniendo un porcentaje de remoción de 81.5% en comparación con la macrófita Eichhornia Crassipes que tuvo una eficiencia de 82.2%.

#### 4.3. Determinación de la calidad del efluente del sistema de tratamiento contrastando con las normativas vigentes.

**Tabla 29:** Comparación de resultados del pos-tratamiento con las normativas nacionales vigentes.

PARÁMETROS	UNIDAD	MESES										Eficiencia en % de remoción		LMP (1)	ECA (2)
		MARZO			ABRIL		MAYO		JUNIO			Eichhornia Crassipes	Pistia Stratiotes		
		Muestra madre*	Eichhornia Crassipes	Pistia Stratiotes	Eichhornia Crassipes	Pistia Stratiotes	Eichhornia Crassipes	Pistia Stratiotes	Muestra madre*	Eichhornia Crassipes	Pistia Stratiotes				
Aceites y Grasas	mg/L	<b>5,7</b>	9	8,5	2,1	4,6	1,3	1,3	<b>5,5</b>	1,4	1,4	75.4	75.4	20	5
Coliformes fecales	NMP/100 mL	<b>350000</b>	4900	7900	13	110	23	17	<b>106333</b>	130	59,5	99.9	99.9	10,000	2000
DBO	mg/L	<b>125</b>	82	66	11	14	9	10	<b>122,3</b>	26,7	24,7	78.2	79.8	100	10
DQO	mg/l	<b>211</b>	175	142	49	52	49	49	<b>205,3</b>	57,3	54	72.1	73.7	200	--
pH	UpH	<b>6,3</b>	7,2	7	6,8	6,8	6,6	6,8	<b>6,5</b>	7,3	6,8	--	--	6,5- 8.5	5,6 -9,0
Solidos Totales Suspendidos	mg/L	<b>20</b>	10	75	6	2	2	2	<b>10</b>	1,8	1,8	82	82	150	≤400
Temperatura	°C	<b>24,58</b>	23	22	--	--	--	--	<b>22,3</b>	22,5	22,6	--	--	< 35	Δ3
Total												<b>81.5</b>	<b>82.2</b>		

**Nota:**

- (1) D.S. N.º 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domesticas o Municipales
- (2) D.S. N.º004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias: Categoría 4; Conservación del ambiente acuático: Subcategoría E2: Ríos de la selva.
- Δ 3: significa variación de 3 grados Celsius respecto al promedio mensual multianual del área evaluada.
- (\*) muestras de las aguas residuales domesticas sin tratar.

La tabla nos muestra los resultados de los análisis de las aguas residuales doméstica realizados durante los meses de marzo, abril, mayo y junio, donde fueron tratados con las especies; Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) y Pistia Stratiotes (Lechuga de agua). Siendo que cada uno de estos parámetros se encuentran por debajo de Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales Domesticas o Municipales y para los Estándares de Calidad Ambiental para Agua en la categoría 4 (Conservación del ambiente acuático: Subcategoría E2: Ríos de la selva).

#### 4.4. Diseño estadístico de los parámetros analizados

**Tabla 30:** Réplicas de los análisis del agua residual pre y pos-tratamiento.

PARÁMETRO	UNIDAD	MUESTREOS								
		MUESTRA MADRE (PRE-TRATAMIENTO)			EFLUENTE DE LOS HUMEDALES (POS-TRATAMIENTO)					
					Eichhornia Crassipes			Pistia Stratiotes		
		*R1	R2	R3	R1	R2	R3	R1	R2	R3
Aceites y grasas	mg/ L	5.6	5.7	5.2	1.39	1.38	1.4	1.4	1.39	1.4
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/ L	125	120	122	23	26	31	21	26	27
Demanda química de oxígeno	mg/ L	211	201	204	49	55	68	49	55	58
Sólidos totales suspendidos	mg/ L	10	5	15	1.8	1.7	1.9	1.9	1.6	1.8
Numeración de coliformes fecales	NMP/100mL	130000	79000	110000	110	170	110	49	70	59.5
pH	UpH	6.4	6.5	6.5	7.1	7.3	7.4	6.5	6.8	7
Temperatura	°C	22.4	22.3	22.3	22.4	22.6	22.6	22.5	22.8	22.6

**Nota:**

\*Número de réplicas.

La tabla 30 contiene los resultados del muestreo realizado el mes de junio al efluente de las viviendas (pre-tratamiento) y al efluente de los humedales con las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes*.

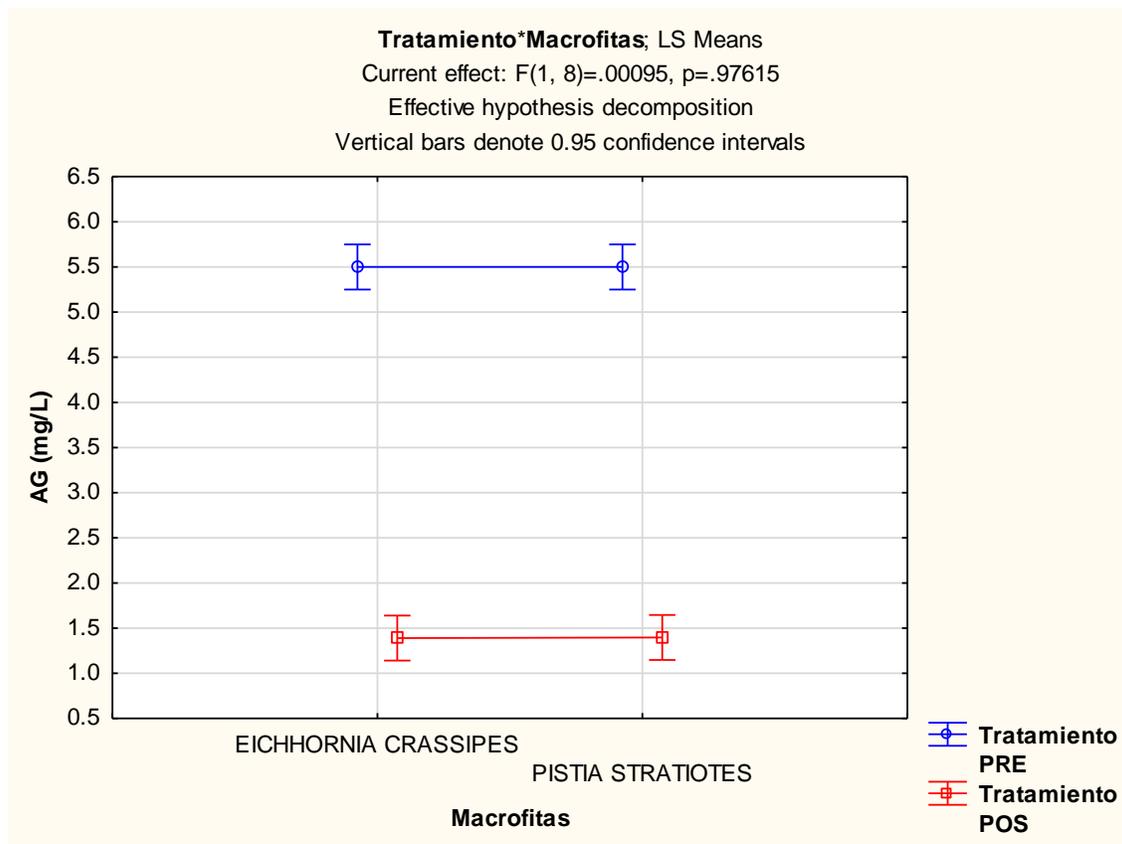
#### 4.4.1. Aceites y grasas

Tabla 31: ANOVA para el parámetro Aceite y grasas.

Effect	Univariate tests of significance for AG (mg/L) (A y G)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	142.5541	1	142.5541	4069.100	0.00000
<b>Tratamiento</b>	<b>50.5941</b>	<b>1</b>	<b>50.5941</b>	<b>1444.171</b>	<b>0.00000</b>
<b>Macrófitas</b>	0.0000	1	0.0000	0.001	0.976148
Tratamiento con macrófitas	0.0000	1	0.0000	0.001	0.976148
Error	0.2803	8	0.0350		

La tabla, nos muestra estadísticamente que existe remoción del parámetro Aceites y Grasas mediante el tratamiento con macrófitas, ya que, a un nivel de confianza del 95% el p – value es de 0.00000 siendo menor a 0.05, por lo tanto, en el tratamiento pre y pos existe significancia.

Por otra parte, estadísticamente entre macrófitas no existe significancia, ya que a un nivel de confianza de 95% el p- value es de 0.976148 siendo mayor a 0.05.



**Figura 34:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro aceites y grasas.

En la figura 34, se observa que mediante el tratamiento con macrófitas entre pre y pos hubo una gran diferencia en la remoción del parámetro aceites y grasas.

Por otra parte, entre Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes no existe una diferencia significativa, Porque ambas plantas son muy buenas removedores del parámetro aceites y grasas.

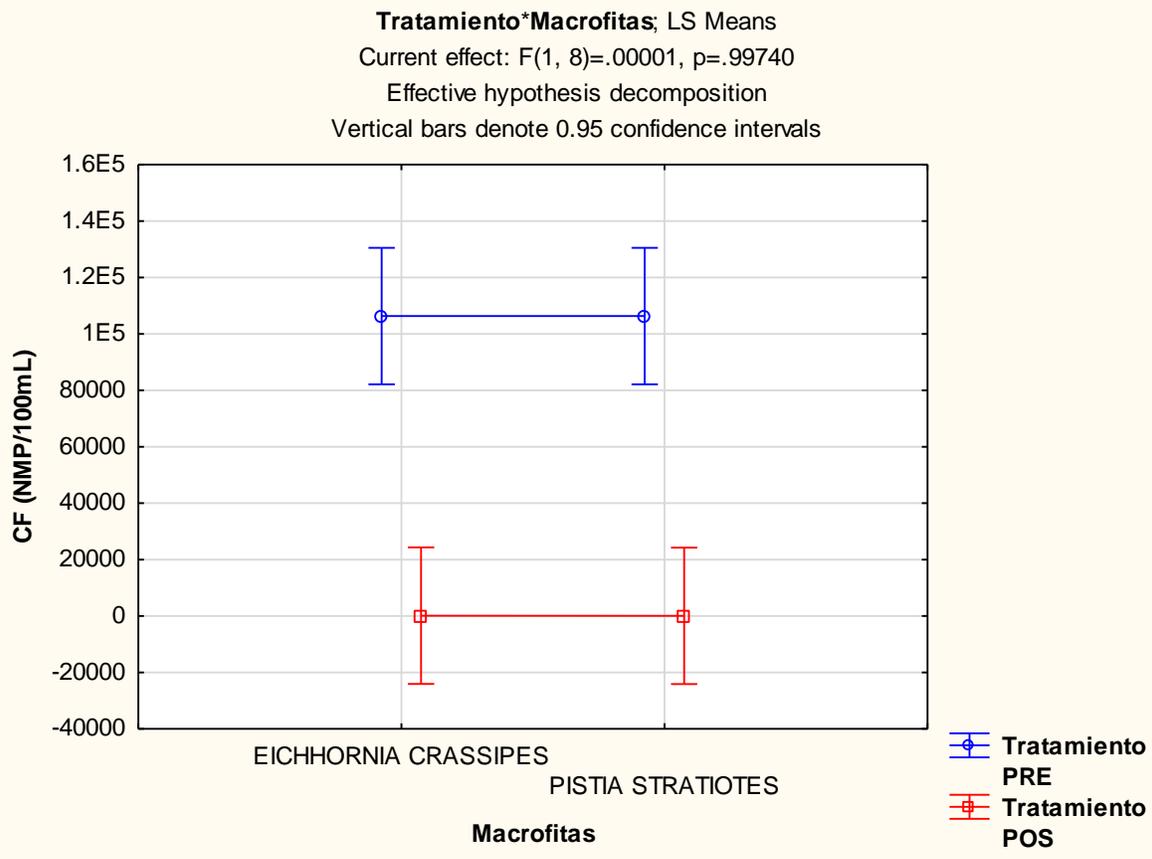
#### 4.4.2. Coliformes termotolerantes

Tabla 32: ANOVA para el parámetro Coliformes termotolerantes.

Effect	Univariate tests of significance for C.Fecales (mg/L) (C.F)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	3.398081E+10	1	3.398081E+10	102.9201	0.000008
<b>Tratamiento</b>	<b>3.385991E+10</b>	<b>1</b>	<b>3.385991E+10</b>	<b>102.5539</b>	<b>0.000008</b>
<b>Macrófitas</b>	3.727687E+03	1	3.727687E+03	0.0000	0.997401
Tratamiento con macrófitas	3.727687E+03	1	3.727687E+03	0.0000	0.997401
Error	2.641336E+09	8	3.301670E+08		

La tabla 32, nos muestra estadísticamente que existe remoción del parámetro Coliformes Fecales mediante el tratamiento con macrófitas, ya que, a un nivel de confianza del 95% el p – value es de 0.000008 siendo menor a 0.05, por lo tanto, en el tratamiento pre y pos existe significancia.

Por otra parte, estadísticamente entre macrófitas no existe significancia, ya que a un nivel de confianza de 95% el p- value es de 0.997401 siendo mayor a 0.05.



**Figura 35:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro Coliformes termotolerantes o fecales.

En la figura 35, se observa que mediante el tratamiento con macrófitas entre pre y pos hubo una gran diferencia en la remoción del parámetro Coliformes Fecales.

Por otra parte, entre Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes no existe una diferencia significativa, Porque ambas plantas son muy buenas removedores del parámetro Coliformes Fecales.

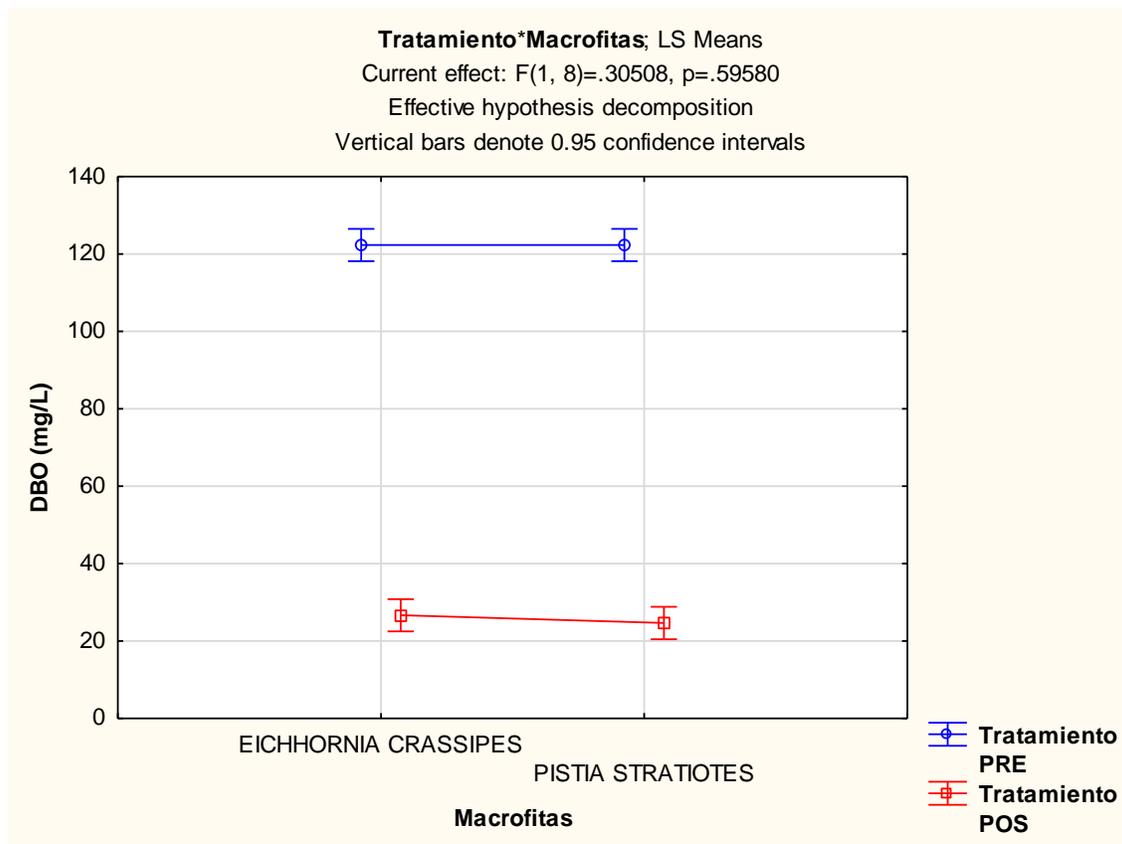
#### 4.4.3. Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 33: ANOVA para el parámetro DBO.

Effect	Univariate tests of significance for DBO (mg/L) (DBO)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	65712.00	1	65712.00	6682.576	0.00000
<b>Tratamiento</b>	<b>28033.33</b>	<b>1</b>	<b>28033.33</b>	<b>2850.847</b>	<b>0.00000</b>
<b>Macrófitas</b>	3.00	1	3.00	0.305	0.595802
Tratamiento con macrófitas	3.00	1	3.00	0.305	0.595802
Error	78.67	8	9.83		

La tabla 33, nos muestra que estadísticamente existe remoción del parámetro DBO mediante las macrófitas, ya que, a un nivel de confianza de 95% el p-value resulto ser menor a 0.05, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre el pre y pos tratamiento.

Por otro lado, estadísticamente no existe una diferencia significativa entre macrófitas, ya que a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un p-value de 0.595802.



**Figura 36:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro DBO.

En la figura 36, se puede observar que los valores de DBO se redujo en el pos tratamiento, demostrando así que las macrófitas Eichhornia y Pistia son grandes removedores de este parámetro, al mismo tiempo, se puede observar que la macrófita que más remueve es Pistia Stratiotes.

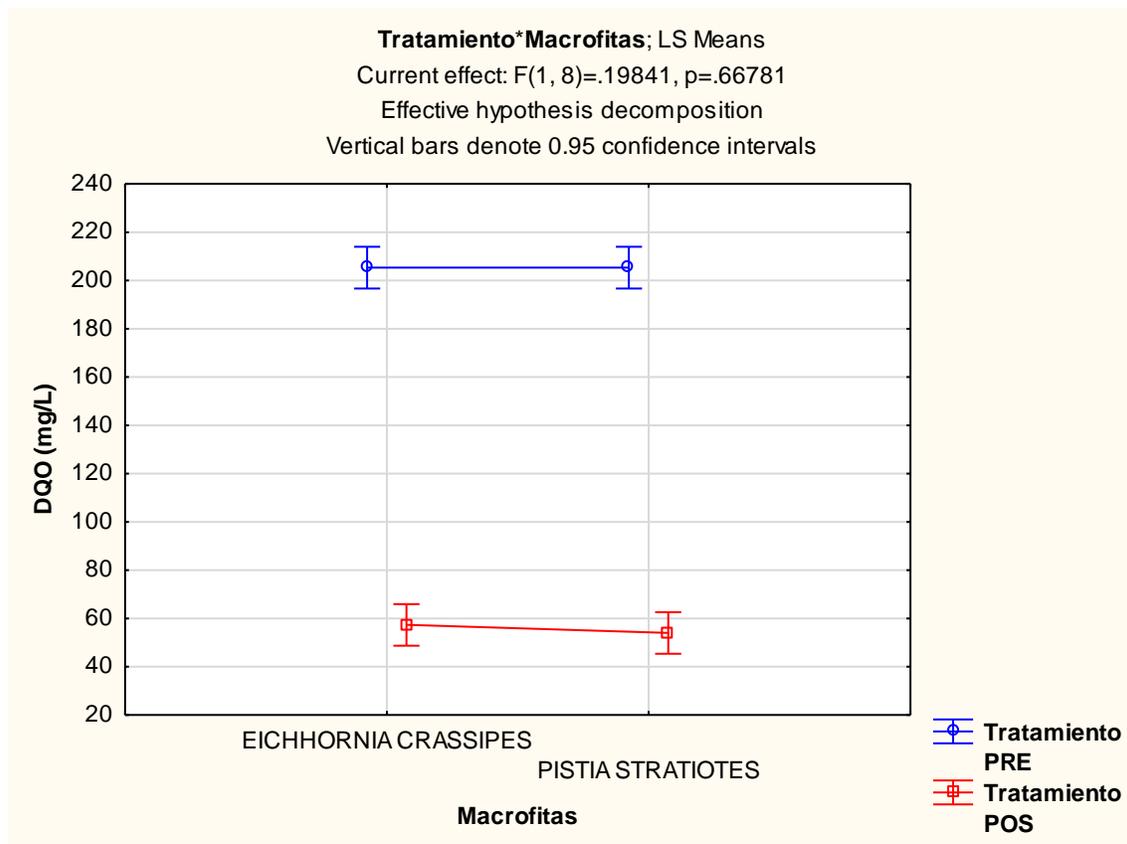
#### 4.4.4. Demanda química de oxígeno

Tabla 34: ANOVA para el parámetro DQO.

Effect	Univariate tests of significance for DQO (mg/L) (DQO)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. Of Freedom	MS	F	P
Intercept	204363.0	1	204363.0	4865.786	0.00000
<b>Tratamiento</b>	<b>67200.3</b>	<b>1</b>	<b>67200.3</b>	<b>1600.008</b>	<b>0.00000</b>
<b>Macrófitas</b>	8.3	1	8.3	0.198	0.667812
Tratamiento con macrófitas	8.3	1	8.3	0.198	0.667812
Error	336.0	8	42.0		

La tabla 34, nos muestra estadísticamente que existe remoción del parámetro Demanda Química de Oxígeno mediante el tratamiento con macrófitas, ya que, a un nivel de confianza del 95% el p – value es de 0.00000 siendo menor a 0.05, por lo tanto, en el tratamiento pre y pos existe significancia.

Por otra parte, estadísticamente entre macrófitas no existe significancia, ya que a un nivel de confianza de 95% el p- value es de 0.667812 siendo mayor a 0.05.



**Figura 37:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro DQO.

En la figura 37, se observa que mediante el tratamiento con macrófitas entre pre y pos hubo una gran diferencia en la remoción del parámetro Demanda Química de Oxígeno.

Por otra parte, se puede observar que la macrófita que reduce más el DQO es Pistia Stratiotes.

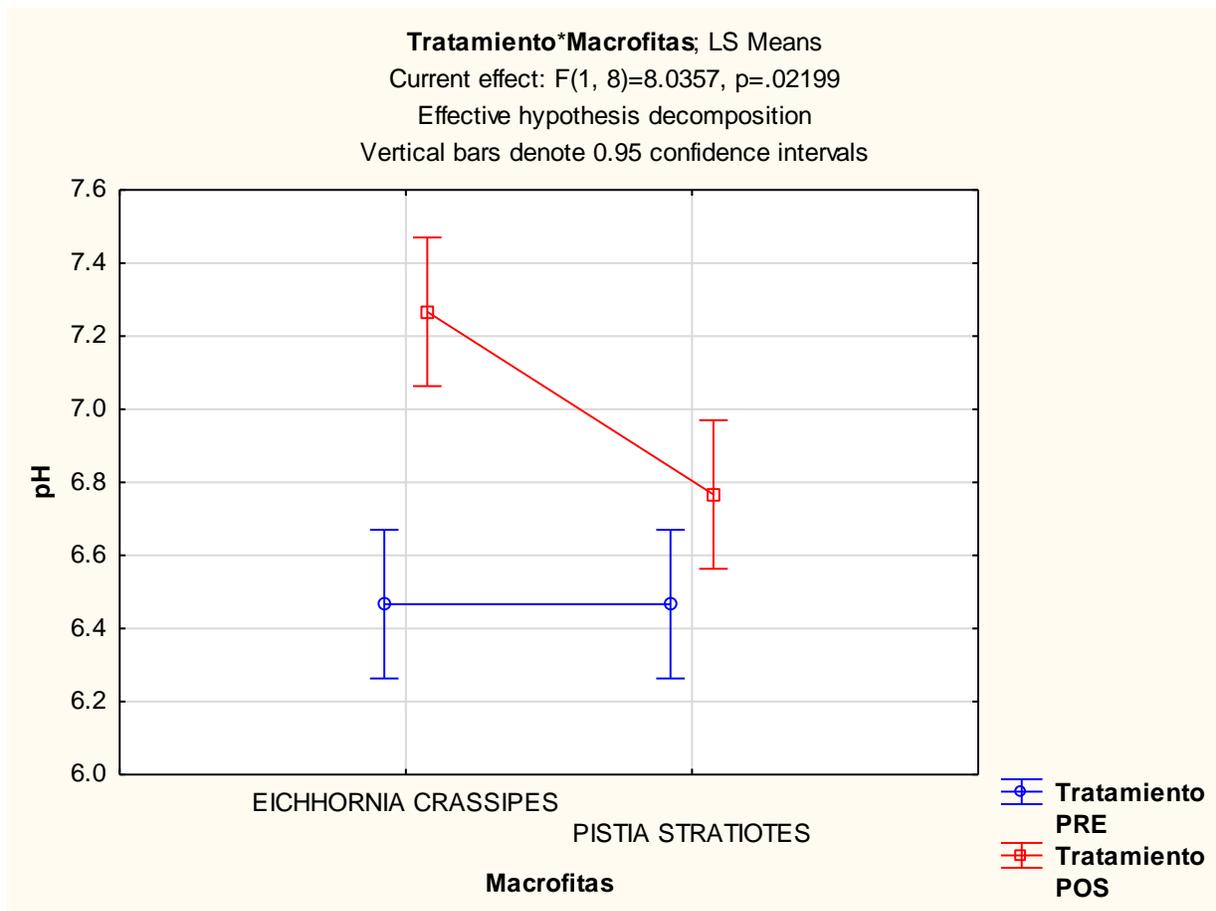
#### 4.4.5. Potencial de hidrogeno

Tabla 35: ANOVA para el parámetro pH.

Effect	Univariate tests of significance for pH (UpH) (pH)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr . Of Freedom	MS	F	P
Intercept	545.4008	1	545.4008	23374.32	0.000000
<b>Tratamiento</b>	<b>0.9075</b>	<b>1</b>	<b>0.9075</b>	<b>38.89</b>	<b>0.000249</b>
<b>Macrófitas</b>	<b>0.1875</b>	<b>1</b>	<b>0.1875</b>	<b>8.89</b>	<b>0.021989</b>
Tratamiento con macrófitas	0.1875	1	0.1875	8.04	0.021989
Error	0.1867	8	0.0233		

La tabla 35, nos muestra que estadísticamente existe una diferencia significativa entre el pre y pos tratamiento, ya que, a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un el p-value de 0.000249.

Asimismo, existe una diferencia significativa entre macrófitas, ya que a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un p-value de 0.021989, por lo tanto, el tratamiento con macrófitas es significativa.



**Figura 38:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro pH.

En la figura 38, se puede observar que en el pos tratamiento las macrófitas elevaron el pH del agua residual doméstica, y la macrófita que más elevó el parámetro fue Eichhornia Crassipes.

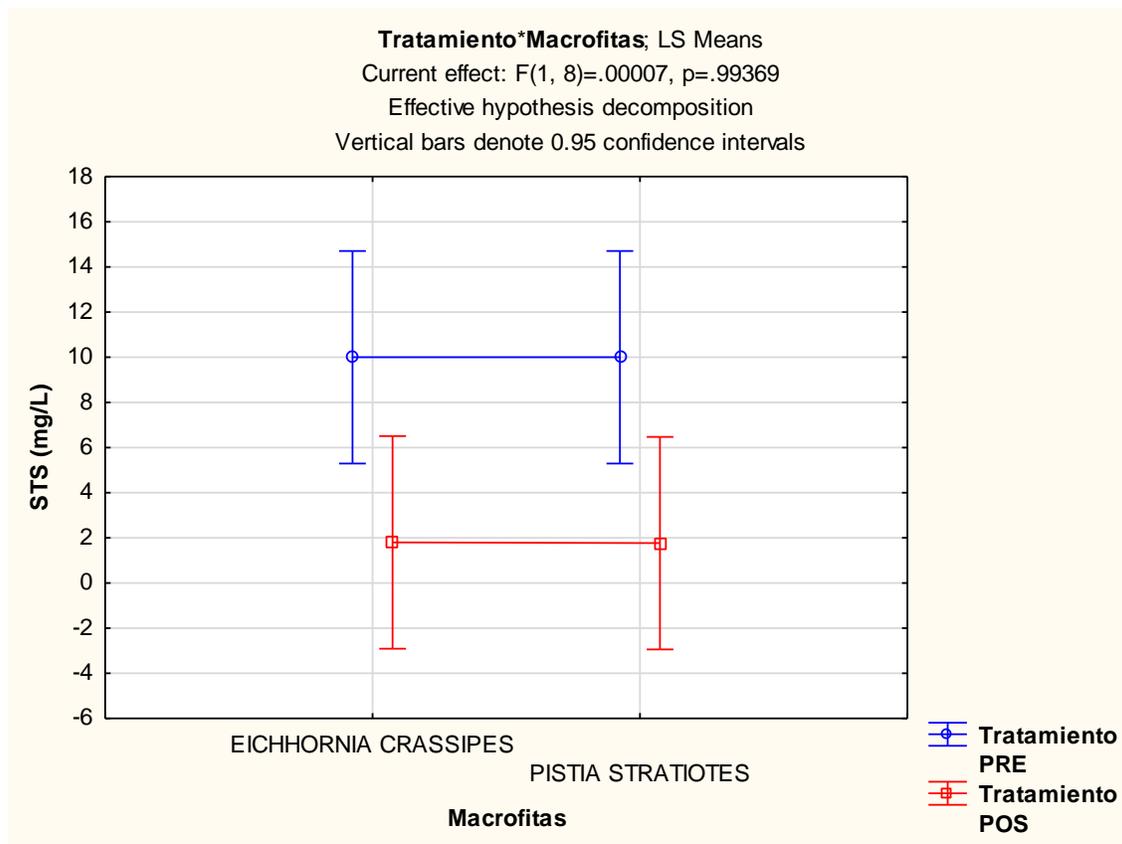
#### 4.4.6. Sólidos totales suspendidos

**Tabla 36:** ANOVA para el parámetro sólidos totales suspendidos.

Effect	Univariate tests of significance for STS (mg/L) (STS)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr . Of Freedom	MS	F	P
Intercept	416.5408	1	416.5408	33.30107	0.000419
<b>Tratamiento</b>	<b>202.5408</b>	<b>1</b>	<b>202.5408</b>	<b>16.19247</b>	<b>0.003820</b>
<b>Macrófitas</b>	0.0008	1	0.0008	0.00007	0.993687
Tratamiento con macrófitas	0.0008	1	0.0008	0.00007	0.993687
Error	100.0667	8	12.5083		

La tabla 36, nos muestra que estadísticamente el tratamiento con macrófitas reduce los sólidos suspendidos totales del agua residual doméstica, por lo tanto, existe una diferencia significativa entre el pre y pos tratamiento, ya que, a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un el p-value de 0.000419.

Por otro lado, estadísticamente no existe una diferencia significativa entre macrófitas, ya que a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un p-value de 0.993687.



**Figura 39:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro sólidos totales suspendidos.

En la figura 39, se puede observar claramente que en el pos tratamiento los valores STS se redujeron en gran escala, demostrado de esta forma que las macrófitas son grandes depuradoras de este parámetro. Por otro lado, se puede observar que no existe una gran diferencia entre el nivel de remoción que tienen las macrófitas.

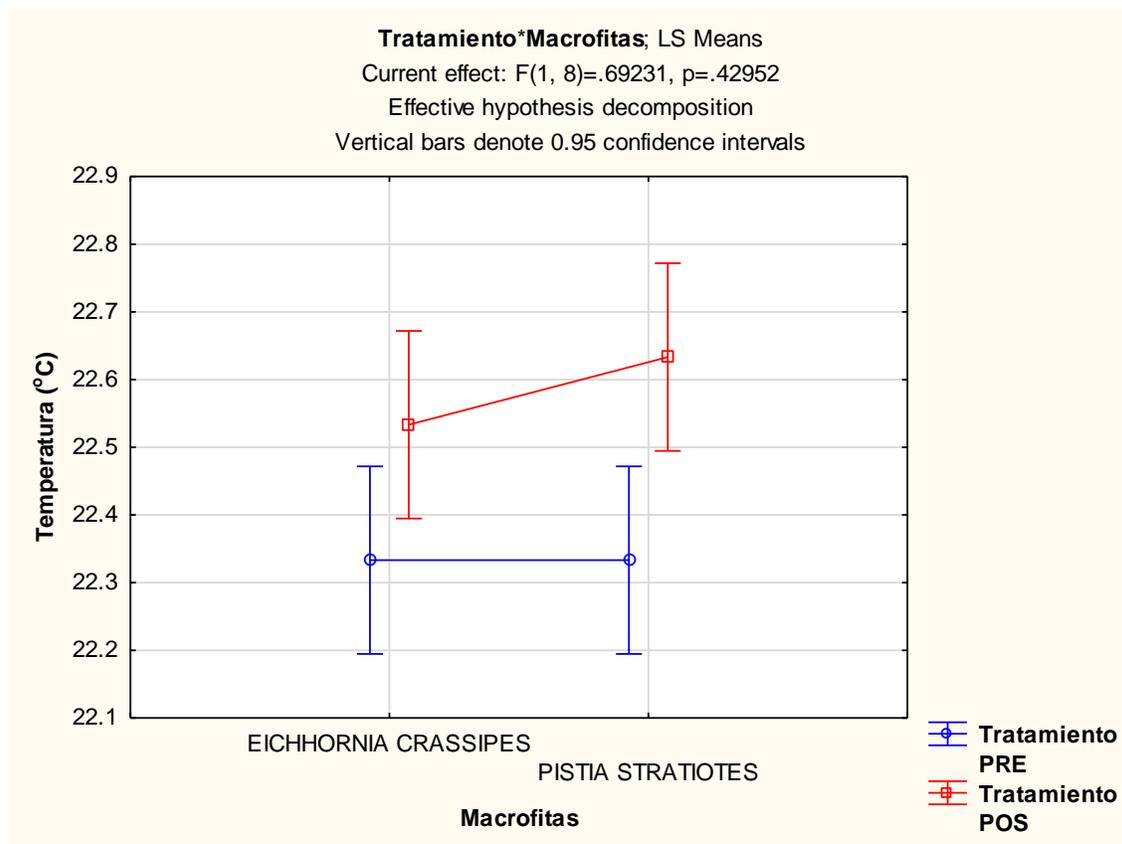
#### 4.4.7. Temperatura

Tabla 37: ANOVA para el parámetro temperatura.

Effect	Univariate tests of significance for Temperatura (°C) (T)				
	Sigma - restricted parameterization				
	Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr . Of Freedom	MS	F	P
Intercept	6052.521	1	6052.521	558694.2	0.000000
<b>Tratamiento</b>	<b>0.188</b>	<b>1</b>	<b>0.188</b>	<b>17.3</b>	<b>0.003164</b>
<b>Macrófitas</b>	0.008	1	0.008	0.7	0.429516
Tratamiento con macrófitas	0.008	1	0.008	0.7	0.429516
Error	0.087	8	0.011		

La tabla 37, nos muestra que estadísticamente existe una diferencia significativa entre el pre y pos tratamiento para el parámetro temperatura, ya que, a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un el p-value de 0.0003164.

Por otro lado, estadísticamente no existe una diferencia significativa entre macrófitas, ya que a un nivel de confianza de 95% se obtuvo un p-value de 0.429516.



**Figura 40:** Grafico de comparación entre el pre y pos tratamiento para el parámetro temperatura.

En la figura 40, se puede observar que los valores de temperatura en el pos tratamiento son altos en comparación con el pre tratamiento. Por otro lado, la macrófita que más elevó los valores de este parámetro fue Pistia Stratiotes.

#### 4.5. Hipótesis

Aun nivel de confianza del 95% y con p-value menor a 0.05 se acepta la hipótesis alterna, por lo tanto, las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes son eficientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

#### 4.6. Seguimiento del desarrollo de las macrófitas

##### 4.6.1. Eichhornia Crassipes

El seguimiento de la planta acuática Eichhornia Crassipes (jacinto de agua) se realizó durante 24 días; una vez cada fin de semana, sobre las características morfológicas: como raíz, ancho, largo, color y algunas presencias de insectos.

**Tabla 38:** Seguimiento del Eichhornia Crassipes por semana.

TIEMPO	CARACTERÍSTICAS
<b>Primera semana después de la siembra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor pigmentación en la plata</li> <li>• Aparición de 1 estolón por planta madre</li> <li>• Planta con un color verde esmeralda</li> <li>• Raíces azuladas oscuras y presencia de insectos.</li> </ul>
<b>Segunda Semana (14 días)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas muy vigorosas</li> <li>• Cada planta madre contiene 2 estolón duras.</li> <li>• Raíces de mayor tamaño</li> <li>• Presencia de vectores y algunos moquitos sobre la planta.</li> <li>• Raleo de las plántulas.</li> </ul>
<b>Tercera semana (24 días)</b>	A la tercera semana el Eichhornia Crassipes la planta ya cuenta con flores de color azulados. Presencia de raíces nuevas de color blanco junto a las raíces adultas las cuales son de color negros violáceos.

**Tabla 39:** Características morfológicas de Eichhornia Crassipes (Jacinto de agua) por semana.

Eichhornia Crassipes	A los 7 días (1 semana)	A los 14 días (2 semanas)	A los 24 días (3 semanas)
<b>Largo</b>	42	43 cm	43 cm
<b>Ancho</b>	17x 21 cm	21 x 23 cm	23x 25 cm
<b>Raíz</b>	30 cm	31 cm	32 cm
<b>Color</b>	Verde	Verde oscuro	Verde oscuro
<b>Insectos</b>	Presencia	Presencia	Presencia

**a. Insectos asociados al humedal:** Los humedales artificiales son ecosistemas donde habitan muchos organismos y uno de ellos son los insectos. En el humedal donde se plantó el *Eichhornia C.* se encontraron los siguientes insectos:

- Larvas de la familia Culicidae, más conocido en algunas partes de América como zancudos.
- Coleópteros edáficos acuáticos.

La existencia de estos insectos en humedales o lagos donde existe el *Eichhornia crassipes* es común, ya que, (García G. R., 2015) en su investigación titulada “*Macroinvertebrados acuáticos asociados a raíces de Eichhornia crassipes (Mart) Solms, en la ciénaga de Zapayán, Magdalena-Colombia*” identificaron los insectos mencionados y otros.

**b. Control biológico de las larvas de la familia Culicidae:** Para que estas larvas no se desarrollen en zancudos adultos y afecte a la salud de la población se incorporó renacuajos, ya que, según (Global Nature Fund GNF, 2018) las larvas son sus platillos favoritos y especies de mayor adaptabilidad por lo puede encontrarse en cuerpos de agua con diferentes grados de intervención, tanto naturales como artificiales incluyendo los humedales.

#### **4.6.2. Pistia Stratiotes**

El seguimiento de la planta acuática *Pistia Stratiotes* (lechuga de agua) se realizó en paralela al seguimiento hecho a *Eichhornia*.

**Tabla 40:** Seguimiento del *Pistia Stratiotes* por semana

TIEMPO	CARACTERÍSTICAS
<b>Primera semana después de la siembra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mayor pigmentación en la plata</li> <li>• Aparición de 3 a 4 estolón por madre</li> <li>• Planta con un color verde limón</li> <li>• Raíces de color mostazas y presencia de insectos.</li> </ul>
<b>Segunda Semana (14 días)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plantas muy vigorosas</li> <li>• Cada planta madre contiene 6 a 8 estolón frágiles.</li> <li>• Raíces de mayor tamaño</li> <li>• Presencia de larva de zancudos y algunos moquitos sobre la planta.</li> <li>• Raleo de las plántulas.</li> </ul>
<b>Tercera semana (24 días)</b>	A la tercera semana el <i>Pistia Stratiotes</i> ya cuenta con nuevas raíces de color verde limón, las raíces adultas las cuales son de color mostaza empiezan a desprenderse de la roseta.

**Tabla 41:** Características morfológicas de *Pistia Stratiotes* (*Lechuga de agua*) por semana.

<b>Pistia Stratiotes</b>	<b>A los 7 días (1 semana)</b>	<b>A los 14 días (2 semanas)</b>	<b>A los 24 días (3 semanas)</b>
<b>Largo</b>	57 cm	57 cm	18 cm
<b>Ancho</b>	16 x 20 cm	18 x 22 cm	19 x 23 cm
<b>Raíz</b>	47 cm	48 cm	8 cm
<b>Color</b>	Verde claro	Verde claro	Verde claro
<b>Insectos</b>	Presencia	Presencia	Presencia

**a. Insectos asociados al humedal:** En el humedal donde se plantó el *Pistia Stratiotes*.

se encontraron los siguientes insectos:

- Larvas de la familia Culicidae, más conocido en algunas partes de América como zancudos.
- Coleópteros edáficos acuáticos

- Acrididae, más conocido como saltamontes o langostas.
- Formicidae, más conocido como hormiga.

La presencia de estos insectos no es rara o fuera de lo común en ambientes acuáticos o humedales donde existe el Pistia Stratiotes, ya que, (Escher & Lounibos, 1993) en su investigación titulada "*Insect Associates of Pistia stratiotes (Arales: Araceae) in Southeastern Florida*" identificaron los insectos mencionados y otros.

- b. Control biológico de las larvas de la familia Culicidae:** El control de estas larvas lo realiza las hormigas que habitan en el humedal y los renacuajos. Por otro lado, la presencia de hormiga en el humedal de Pistia Stratiotes se debe a que las hojas o la roseta le sirve de alimento.

## CAPÍTULO V. CONCLUSIÓN

- Se evaluó que la eficiencia del Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*) y la lechuga de agua (*Pistia Stratiotes*) en el tratamiento de las aguas residuales doméstica en el distrito de Llaylla – provincia de Satipo- departamento de Junín fue de 81.5% y 82.2% respectivamente.
- Las macrófitas *Eichhornia Crassipes* consiguió remover en gran porcentaje todos los parámetros fisicoquímicos y microbiológico del agua residual domestica del distrito de Llaylla, ya que tuvo una eficiencia de remoción de 75.4% para aceites y grasas, 78.2% DBO, 72.1% DQO, 82% STS y 99,9% coliformes fecales.
- Para la especie *Pistia Stratiotes* obtuvo una eficiencia de remoción de 75.4% para aceites y grasas, 79.8% DBO, 73.7% DQO, 82% STS y 99,9% coliformes fecales. No obstante, la especie más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domesticas para esta investigación fue *Pistia Stratiotes* (lechuga de agua), ya que obtuvo un porcentaje de remoción total de 82.2% y la eficiencia de la macrófita *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) obtuvo un porcentaje de 81.5%.
- La calidad del efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas *Eichhornia Crassipes* y *Pistia Stratiotes* es apta para ser vertidas al cuerpo recetor (rio Chahuamayo), ya que al comparar los resultados de los análisis mensuales con los parámetros del D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP se encuentran dentro de los límites máximos permitidos. Por lo tanto, según esta investigación un sistema de tratamiento de agua residual domestica basada en humedales artificiales con la macrófita *Pistia Stratiotes* o *Eichhornia Crassipes* es una alternativa plausible para el tratamiento de los efluentes domésticos.

## **CAPÍTULO VI. RECOMENDACIÓN**

- Se recomienda realizar los muestreos a los efluentes domésticos en zonas rurales en horarios de la mañana o tarde, ya que, las familias suelen trabajar en el campo de siete de la mañana a cinco de la tarde, por lo tanto, los horarios donde hay mayor uso y consumo del agua son de 5am a 6am o de 5pm 7pm.
- En sistemas de tratamiento con humedales construidas en tramos, se recomienda realizar el muestro en cada humedal o tramo, para así poder identificar las anomalías que sucede en cada humedal.
- Se sugiere construir un sistema preliminar de rejillas y trampa para aceites y grasas, antes del sedimentador y así evitar la obstrucción de tuberías y válvulas.
- Para dar inicio al funcionamiento de los humedales se recomienda utilizar macrófitas con sistemas radiculares nuevas o jóvenes.
- Se exhorta a realizar el raleo de las macrófitas cada 14 días para así evitar la eutrofización del agua; en casos de presencia de larvas de zancudo se recomienda el uso de renacuajos para controlar su proliferación.
- Se sugiere el uso de esta tesis como ayuda o base para aquellas investigaciones realizadas al tema.

## REFERENCIA

- Agreda, C. R. (2002). Obtención de parámetros cinéticos en sistemas acuáticos con jacinto de agua. *XXIV Congreso de la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*.
- Alfaro, R. C. (2012). *Metodología de investigación científica aplicada a la ingeniería*. Lima: Universidad Nacional de Callao.
- Alvarado, J. D. (2005). *Diversidad Bacteriana en el perifiton de raíces de Eichhornia sp, Pistia sp y Azolla sp, en un humedal artificial de la Universidad EARTH*. Cartago: Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Alvarez, L. (2010). *Potencialidades socioeconómicas, informe temático. Proyecto Mesozonificación Ecológica y Económica para el Desarrollo Sostenible de la Provincia de Satipo, convenio entre el IIAP, DEVIDA y la Municipalidad Provincial de Satipo*. Iquitos: DEVIDA.
- Andrade, J. K. (2015). *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Eichhornia Crassipes mart. (jacinto de agua), Pistia Stratiotes l. (lechuga de agua) en el tratamiento de aguas residuales domésticas procedentes de la planta de tratamiento de aguas residuales*. Ecuador -Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Arias Lafargue, T. (2013). Evaluación teórica de un sistema de fitodepuración para la Empresa de Bebidas y Refrescos (EMBER) de Guantánamo, Cuba. *Tecnología Química*, 33(3), 289-304.
- Arias, M. A. (2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. *SENA Vol. 74*, 12-22.
- Arias, O. (2004). Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial. *Revista del Instituto del Medio Ambiente. Barcelona*, V.09, 30-46.
- Ayala, T. R., Calderón, O. E., Rascón, B. J., Gomez, R. V., & Collazos, S. R. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies *Eichhornia crassipes*, *Nymphoides humboldtiana* y *Nasturtium officinale*. *Rev. de investig. agroproducción sustentable* 2(3), 48-53.
- Banco de desarrollo de América Latina. (2015). *El futuro de los servicios de agua y saneamiento en América Latina*. Banco de desarrollo de América Latina.
- Bardon, A. (21 de Marzo de 2017). *UNESCO*. Obtenido de <https://es.unesco.org/news/son-aguas-residuales-nuevo-oro-negro>
- Barrera, A. V., Porras, E. L., & Obregon, J. J. (2007). *Estudio de Diagnóstico y zonificación para el tratamiento de la demarcación territorial de Satipo*. Huancayo: Gobierno Regional de Junín.

- Belloso, S. P., & Mendoza, N. J. (2000). Remoción de quistes de Giardia spp. de descargas residuales domésticas tratadas con jacintos de agua (*Eichhornia crassipes*) . *CIENCIA* 8(1), 19-30.
- Benidez. (2008). *Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas jacinto de agua (Eichhornia Crassipes) y Tull (thypa ssp) utilizadas en la planta de tratamiento de agua residuales la Cerra -VillaCanales por medio de flujo de rallo x recencia* . Guatemala : Universidad de San Carlos.
- Bernal, L. O. (2014). *Diseño De Unidad Piloto De Humedales Artificiales De Flujo Subsuperficial Para Tratamiento De Aguas Residuales Domesticas En El Campus Umng-Cajicá Con Fines De Reuso*. Bogotá.
- Bolaños, B. S., Casas, Z. J., & Aguirre, R. N. (2008). Analisis Comparativo de la remocion de un sustrato organico por las macrofitas Pistia Stratiotes y Egeria dense en un sistema Batch. *Gestión y Ambiente V.11*, 39-48.
- Borja, S. M. (2012). Tipos de investigación. En M. B. S., *Metodología de la investigación científica para ingenieros* (págs. 10-11). Chiclayo.
- Carhuaricra, F. P. (2019). *“Fitorremediación por el proceso de fitodegradación con dos especies macrófitas acuáticas, Limnobium Laevigatum y Eichhornia Crassipes para el tratamiento de aguas residuales domésticas de la laguna facultativa en la localidad de Pacaypampa*. Hunuco.
- Castro, E. C. (2016). *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*. Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.
- CENTA. (2008). *Manual de depuración de aguas residuales*. Centro de las nuevas tecnologías del agua de sevilla.
- Centro de Salud de Llaylla. (2013). *Nivel de Salud de Llaylla*. Llaylla: Municipalidad Distrital de Llaylla.
- Chumbe, M. I., & Garcia, K. A. (21012). *Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba-2011*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martin-Tarapoto.
- Chumbe, M. I., & Garcia, M. (2012). *Depuración de las aguas servidas , uiltizando especies acuaticas en la ciudad de Moyobamba -2011*. Moyobamba -Peru.
- Contreras, E. M. (2006). *Optimización de los Procesos de Tratamiento Biológico de Efluentes Industriales para la Remoción de Carbono y Nitrógeno*. La Plata: Universidad Tecnológica Nacional.
- Coral, J. (2002). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante el cultivo de lenteja de agua (Lemna sp.) en la cuenca del lago San Pablo*. Tesis Ing. RNR. Ibarra: Universidad Técnica del Norte.

- Cruz, M., Carbo, N., Linkolk, J., L.Gonzales, Tito, G., K.Depaz, . . . W.Quispe. (2016). Tratamientos de las aguas de la laguna "Mansion" mediante la especie *Eichhornia Crassipes*, para el riego de áreas verdes en la universidad Peruana Union. *Journal of Agriculture and Veterinary Science*, 53-65.
- Cupe Flores, E. (2009). *Evaluación de la eficiencia de las plantas acuáticas flotantes Lemna minor (lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (jacinto de agua) y Pistia Stratiotes (lechuga de agua) para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Lima- Peru.
- Del Lungo, A. (2012). Estudios de caso sobre el aprovechamiento sostenible de las aguas residuales. *Unasyva* 239, Vol. 63, 63.
- Delgadillo Zurita, M., & Condori Carrasco, L. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales con macrofitas para comunidades cercanas al lago Titicaca. *JOURNAL BOLIVIANO DE CIENCIAS*, vol.7, 63-66.
- Delgadillo, O., Camacho, A., Perez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba – Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Domínguez O., A. (2001). Evaluación de la depuración de las aguas residuales provenientes de un sistema de tratamiento combinado de laguna de estabilización y laguna con Jacinto de agua. *Actualidades Biológicas*, vol 23, 75-82.
- Dominguez, M. C., Gómez, S., & Ardila, A. (2016). Fitorremediación de mercurio presente en aguas residuales provenientes de la industria minera . *UGCiencia*, 22 , 227-237.
- Escher, R., & Lounibos, L. (1993). Insect Associates of *Pistia stratiotes* (Arales: Araceae) in Southeastern Florida. *The Florida Entomologist*, 76(3), 473-500.
- Espinoza, M. L., & Peralta, A. M. (2009). *Estudio de Eicchornia Crassipes, Lemna Gibba y Azolla Filiculoides en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Canton Cotachi*. Ibarra: Universidad Técnica del Norte .
- Espinoza, P. A. (2017). *CALIDAD DEL AGUA EN EL PERÚ, Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales*. Lima: DAR.
- Feng, W., Xiao, K., Zhou, W., Zhu, D., Zhou, Y., Yuan, Y., . . . Zhao, J. (2017). Analysis of utilization technologies for *Eichhornia crassipes* biomass harvested after restoration of wastewater. *Bioresource Technology*, 287-295.
- Fernandez., J. (2001). *Filtro autoflotante de macrofitas para la depuración de aguas*.
- Flores, T. V. (2016). *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia crassipes M. ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014*. Moyobamba.
- Freitas Coelho, F., Deboni, L., & Santos Lopes, F. (2005). Density-dependent reproductive and vegetative allocation in the aquatic plant *Pistia stratiotes* (Araceae). *Revista de Biología Tropical*, 369-376.

- Fundación Humedales. (2016). *Filtros Verdes, Agua limpia para Colombia*. Bogota: Fundación Humedales.
- Gallego, I. (2010). *Monografía Sobre Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial (HAFSS) para remoción de metales pesados en aguas residuales*. PEREIRA: Universidad Tecnológica De Pereira.
- Ganuza, I. J., & Argueta, M. G. (2012). *Desarrollo De Un Microhumedal Artificial Para El Tratamiento De Aguas Residuales De Tipo Ordinario*. Centro de America.
- García, G. R. (2015). Macroinvertebrados acuáticos asociados a raíces de *Eichhornia crassipes* (Mart) Solms, en la ciénaga de Zapayán, Magdalena-Colombia. . *Intropica*, 52-59.
- 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: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Girón, C. A. (2015). *Determinación de la acumulación de los metales pesados plomo, cadmio y cromo en la planta Pistia Stratiotes conocida como lechuga de agua*. Santiago de Cali: Universidad Icesi.
- Global Nature Fund GNF. (2018). *Filtros verdes agua limpia para colombia*. Colombia: Paleta digital SAS.
- Gomez, I. C. (2000). Tratamiento secundario. En *Saneamiento Ambiental* (pág. 63). Costa Rica: EUNED.
- Granda, C. E. (2016). *Evaluación del potencial fitorremediador de dos especies vegetales (Pistia stratiotes L) y (Hydrocotyle Ranunculoides L.F), en el tratamiento de las aguas contaminadas por la porcicultura en la granja "El Guayabal" del barrio Nambija Bajo, Cantón Zamora*. Zamora: Universidad Nacional de Loja.
- Hidalgo, J. C., Montano, J. J., & Estrada, M. S. (2005). Recientes aplicaciones de la depuración de aguas residuales con plantas acuáticas. *Theoria*, vol. 14, núm. 1., 17-25.
- Isabel, P. M., & Pilar, A. M. (2011). Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales . *Estudio de Impacto Ambiental* , num 6 , revista.eia.edu.co/articulos6/articulo5.pdf.
- Kadlec, R., & Knight, R. (1995). *Treatment wetlands*. University of Michigan and Wetland Management Services.
- Kahn, F., León, B., & Young, K. R. (1993). *Las plantas vasculares en las aguas continentales del Perú*. Lima: Instituto Frances de Estudios Andinos.
- Kärcher, d. A. (diciembre de 2016). *Filtros Verdes agua limpia para Colombia*. Obtenido de <https://media-ashoka.oengine.com/attachments/fa959aa9-002f-4cf0-8c99-8b0dc99a0c08.pdf>: <http://diariolaeconomia.com/notas-de-actualidad/item/3678-filtros-verdes-la-solucion-al-agua-de-calidad-en-colombia.html>-  
<https://www.iagua.es/noticias/colombia/fundacion-humedales/16/05/04/filtros-verdes-alternativa-tratamiento>

- Lallana, V. H. (2006). *Reproducción vegetativa y sexual de dos plantas acuáticas flotantes libres (Eichhornia crassipes (Mart.) Solms. y Pistia stratiotes L.)*. Bahía Blanca: Facultad de Ciencias Agrarias .
- León, R., Pernía, B., Siguencia, R., Franco, S., Noboa, A., & Cornejo, X. (2018). Potencial de plantas acuáticas para la remoción de coliformes totales y Escherichia coli en aguas servidas. *Enfoque UTE*, V.9-N.4, 131-144.
- Liliana, V. P. (2018). *mmm*. Moyobamba: Universidad Nacional San Martín de Tarapoto.
- Lin, Y.-L., & Li, B.-K. (2016). Removal of pharmaceuticals and personal care products by Eichhornia crassipes and Pistia stratiotes. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, Volume 58, 318-323.
- Llagas Chafloque, W. A., & Guadalupe Gómez, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Revista del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalúrgica y Geográfica*, 85-96.
- Llantoy, V. R., & Negrón, A. C. (2014). Estudio de los parámetros físicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (II) y mercurio (II) con la especie Eichhornia crassipes (Jacintod eagua). *La Revista de la Sociedad Química del Perú*, 163-173.
- Lolmede, P., Jácome, A., Vidart, T., & Tejero, I. (2000). Tratamiento de agua residual con elevado contenido de nitrato utilizando reactores biomenbrana aerado. *Ingeniería del agua vol.7*, 243-254.
- López, E. P. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango*. Chihuahua: Centro de Investigación de Materiales Avanzados, SC.
- Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Lu, Q., He, Z. L., Graetz, D. A., Stoffella, P. J., & Yang, X. (2010). Phytoremediation to remove nutrients and improve eutrophic stormwaters using water lettuce (Pistia stratiotes L.). *Environmental Science and Pollution Research*, 84-96.
- Maldonado, Y. V. (2004). Sedimentación. En Y. V. Maldonado, *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima: CEPIS/OPS.
- Manahan, S. E. (2007). Tratamiento primario de los efluentes residuales. En S. E. Manahan, *Introducción a la química ambiental* (pág. 2009). México: Reverte SA.
- Maqueda, A. R. (16 de mayo de 2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales. Conceptos e historia*. Obtenido de Madrid: <http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>
- Martelo, J., & Lara, J. A. (2012). Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales; una revisión del estado del arte. *Ingeniería y Ciencia, Volumen 8*, 221-243.

- Martinez, A. P. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal para la depuración de aguas residuales domésticas*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Mayo, A. W., & Hanai, E. E. (2017). Modeling phytoremediation of nitrogen-polluted water using water hyacinth (*Eichhornia crassipes*). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 170-180.
- Medero, M. A., Torres, C. R., & Flores, C. L. (2002). Diseño completamente al zar. En M. A. Medero, C. R. Torres, & C. L. Flores, *Estadística aplicada a la investigación* (pág. 29). Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit.
- Mendoza, L. V., & Molina, N. F. (2016). Efectos de *Eisenia foetida* y *Eichhornia crassipes* en la remoción de materia orgánica, nutrientes y coliformes en efluentes domésticos. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica* 19 (1), 189-198.
- Mendoza, S. P. (2015). *Diseño de un sistema de Tratamiento de aguas residuales para la parroquia San Mateo del Caton Esmeraldas*. Riobamba: Universidad Superior Politécnica de Chomborazo.
- MINAM. (2010). *Ministerio del Ambiente Límites máximos permisibles*. Lima: Minam.
- MINAM. (2017). *Ministerio del ambiente estándares de calidad ambiental*. Lima: Minam.
- Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. (2013). *Catálogo español de especies exóticas invasoras*. España.
- Mora, M. D. (2016). Fitodepuración en humedales. En E. d. Beascochea, J. d. Muñoz, & M. D. Mora, *Manual de fitodepuración* (pág. 67). Madrid: Fundación Global Nature.
- Municipalidad de Satipo. (2014). *Diagnóstico Ambiental Local de la Provincia de Satipo*. Satipo: CAM.
- Municipalidad Distrital de Llaylla. (2016). *Estudio de caracterización de residuos sólidos domiciliarios de la zona urbana del distrito de Llaylla, provincia de Satipo, Región Junín*. Llaylla: SGDEMA.
- Municipalidad Distrital de Llaylla. (2014). *Diagnóstico Ambiental Local del Distrito de Mazamari*. Mazamari: Comisión Ambiental Municipal - (CAM).
- Municipalidad Distrital de Llaylla. (2018). *Ficha de Análisis Multianual de Gestión Fiscal 2018*. Satipo: Municipalidad Distrital de Llaylla.
- Murillo, P. G., Zamudio, R. F., & Bracamonte, S. C. (2010). *Habitantes del agua: Macrofitos*. Andalucía: Agencia Andaluza del agua.
- Nataly, L. J. (2012). *Aprovechamiento del Lechuquín (Eichhornia Crassipes) para la generación del Abono orgánico Mediante la Utilización de tres diseños diferentes de biodigestores*. Ecuador: Universidad Politécnica.

- Nivala, J., Knowles, P., Dotro, G., García, J., & Wallace, S. (2012). Clogging in subsurface-flow treatment wetlands: Measurement, modeling and management. *Water Research, Vol. 46*, 1625-1640.
- Novotny, V., & Olem, H. (1994). *Water quality: prevention, identification and management*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- OEFA. (2014). *Fiscalización Ambiental en aguas residuales*. Perú: Depósito Legal en la Biblioteca Nacional.
- OEFA. (Abril de 2014). *ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN*. Obtenido de OEFA: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Organización Panamericana de Salud . (2005). *Guía para el diseño de sedimentadores y desarenadores* . Lima: CEPIS.
- Pacheco, C. A. (2017). *Plan Anual de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental -PLANEFA -2017 - Llaylla*. Llaylla.
- Pedroza, H., & Dicovskyi, L. (2006). Analisis de varianza para un diseño completamente aleatorizado. En H. Pedroza, & L. Dicovskyi, *Sistema de Analisis Estadistico con SPSS* (pág. 57). Managua: IICA, INTA.
- Peña, R. G. (2007). *Modelos de un solo factor: Diseño completamente al azar*. Puebla: Centro de bachillerato tecnologico agropecuario N° 184.
- Peñafiel, R., C. M., & Ochoa-Herrera, V. (2016). Eliminación de nitrógeno y contaminación orgánica de agua residual industrial pretratada en lagunas anaeróbicas mediante un biofiltro de arena. *Avances en ciencias e ingeniería* , 86-97.
- Perales, V. K. (2018). *Tratamiento de aguas residuales domesticas por fitorremediacion con Eichhoenia Crassipes en la sona rural del caserío Santa Catalina Moyobamba 2017*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martin de Tarapoto.
- Peternell, E. F. (2010). *Proyecto Ejecutivo de Planta de Tratamiento de aguas residuales para la localidad*. Mexico: Universidad de Veracruz.
- Pliago, M. R. (2013). *Evaluacion de sistema de fitorremediacion de aguas residuales dentro de aguas residuales dentro de una biorreferieria* . Mexico.
- Pliago, M. R. (2013). *Evaluación de sistemas de fitorremediación de aguas residuales dentro de una biorefineria* . Veracruz: Instituto de Ecología.
- Prajapati, M., Bruggen, J. J., Dalu, T., & Malla, R. (2017). Assessing the effectiveness of pollutant removal by macrophytes in a floating wetland for wastewater treatment. *Applied Water Science Vol.7*, 4801–4809.
- Quiroz, F. A., Miranda, A. M., & Lot, H. A. (2008). Estudio comparativo de algunas variables fisicoquímicas del agua en canales secundarios de Xochimilco con y sin Eichhornia crassipes (Martius) Solms-Laubach. *Polibotanica Num.25*, 127-133.

- Rabat, B. J. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. España: Universidad de Alicante.
- Ramirez, G. M., & Linares, L. D. (2007). *Efecto antimicrobiano de Bixa orellana "achiote", Genipa americana "huito" y Pistia stratiotes "huama" sobre agentes que producen infecciones dérmicas y vaginales*. Iquitos: Universidad Nacional de la Amazonia peruana.
- Rodríguez, P. d., Díaz, M. M., Guerra, D. L., & Hernández, d. A. (2001). *Acción depuradora de algunas plantas acuáticas sobre las aguas*. La Habana: Instituto Superior Politécnico "José A. Echeverría".
- Rodríguez-Miranda, J. P., Gómez, E., Garavito, L., & López, F. (2010). Estudio de comparación del tratamiento de aguas residuales domésticas utilizando lentejas y buchón de agua en humedales artificiales. *Tecnología y Ciencias del Agua, antes Ingeniería hidráulica en México, vol. 1*, 59-68.
- Rojas. (2005). *Diversidad bacteriana en el perifiton de raíces de Echinornia Crassipes sp, Pistia s, y Azolla sp; en un humedal artificial de la universidad EARTH*. . Cartago, Costa Rica : EARTH.
- Rojas, E. W. (2017). *Eficiencia de Lemna sp y Eichhornia crassipes, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín*. Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Román, J. G., & Méndez, J. R. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Manglar* , 43-50.
- Romero Rojas, J. A. (2005). *Tratamiento de aguas residuales; Teoría y principios de diseño* (3a. ed., 2a. reimp.). Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .
- Roque, S. G. (2003). *Introducción al análisis de datos experimentales: tratamiento de datos en bioensayos*. España: Castellón : Universidad Jaime I.
- Rzedowski. (2004). *Flora de bajo y Regiones Adyacentes*. San Luis ,Missouri, Estados Unidos: Centro Regional dl Bejío Fascículo 121.
- Saavedra, C. B. (2017). *Aplicación de macrofitas en flotación como ayuda en el tratamiento de aguas residuales en la laguna UDEP*. Piura: Universidad de Piura.
- Salati, E. (2000). *UTILIZACIÓN DE SISTEMAS WETLANDS CONSTRUIDAS PARA TRATAMIENTO DE AGUAS*. PIRACICABA.
- Salazar, J. I. (2015). *Optimización de la fitoremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia Crassipes "jacinto de agua"*. Tingo María -Perú: UNAS.
- Saldaña, M. F. (2014). *Aplicación de Humedal Artificial con macrofitas flotantes en la recuperación de aguas residuales domésticas*. Tarapoto: Universidad Nacional San Martín.
- Sanz, J. M., Martín, N., & Camacho, J. V. (2009). *Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos*. CONAMA.

- Sarango Araujo, O. P., & Sánchez Ramírez, J. A. (2016). *Diseño y construcción de 2 biofiltros con Eichhornia Crassipes y Lemna Minor para la evaluación de la degradación de contaminantes en aguas residuales de la extractora Río Manso EXA S.A. "Planta la Comuna", Quinindé*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Sayago, U. F. (2016). Diseño y evaluación de un biosistema de tratamiento a escala piloto de aguas de curtiembres a través de la Eichhornia crassipes. *Colombiana de Biotecnología*, Vol. 18, Núm. 2.
- Shiguango, J. O. (2016). *Diseño e implementación de una biojardinería mediante fitorremediación, para el tratamiento y reutilización de agua grises domiciliarias en la comunidad de Yawari*. Loja: Universidad Nacional de Loja.
- Shutes, R. (2001). Artificial wetlands and water quality improvement. *Environment International*, Vol. 26, 441-447.
- Sierra, P. O., & López, O. G. (2013). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *KUXULKAB*. Vol 19, 47-54.
- Sooknah, R. D., & CWilkie, A. (2004). Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecological Engineering* Vol.22, 27-42.
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2016). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Lima: SUNASS.
- Tewari, A., Singh, R., Singh, N. K., & Rai, U. (2008). Amelioration of municipal sludge by Pistia stratiotes L.: Role of antioxidant enzymes in detoxification of metals q. *Bioresource Technology*, 8715–8721.
- Toco, R. Y., Ordoñez, E. C., Rascon, J., Ramirez, V. H., & Silva, R. C. (2018). Fitorremediación de aguas residuales domésticas utilizando las especies Eichhornia Crassipes s ,Nymphoides Humboldtiana y Nasturtion Officinale. *Revista de investigación agroproducción sustentable* 2 (3), 48-53.
- Trujillo, Z. M. (2012). *"comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas"*. Lima.
- Tuesta Flores, N. V. (2016). *Evaluación de las especies Lemna minor L. ("Lenteja de agua") y Eichhornia Crassipes M ("Jacinto de agua") en remoción de materia orgánica biodegradable en efluentes de piscigranjas de la empresa acuícola Alto Mayo, provincia de Moyobamba-2014*. Moyobamba: Universidad Nacional de San Martín-Tarapoto.
- Turcios, R. A. (2015). t-Student. Usos y abusos. *Revista Mexica: Cardiología Volumen 26, Número 1*, 59-61.

- Ugya, A., & Imam, T. (2015). The Efficiency of *Eichhornia crassipes* in the Phytoremediation of Waste Water from Kaduna Refinery and Petrochemical Company. *IOSR Journal of Pharmacy and Biological Sciences*, 76-80.
- Valderrama, L. (2005). Las plantas acuáticas una alternativa para el tratamiento de aguas. *Unidad de Saneamiento y Biotecnología Ambiental*, 3-7.
- Valderrama, L. T., Campos, C., Velandia, S., & Zapata, N. (2014). Evaluación del efecto del tratamiento con plantas acuáticas en la remoción de indicadores de contaminación fecal en aguas residuales domésticas. *Seminario Internacional sobre métodos naturales para el tratamiento de aguas residuales*, 193-201.
- Vásquez, L., Newman, C., Urdaneta, M. J., Zabaleta, F. A., & Valbuena, A. (1998). Plantas acuáticas vasculares como fuente de proteínas para consumo humano. *XXVI Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*.
- Villamagna, A. M., & Murphy, B. R. (2010). Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater biology*, 282-298.
- Vymazal, J. (2009). The use constructed wetlands with horizontal sub-surface flow for various types of wastewater. *Ecological Engineering* vo.35, 1-17.
- Yang, X., Chen, S., & Zhang, R. (2014). Utilization of two invasive free-floating aquatic plants (*Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes*) as sorbents for oil removal. *Environ Sci Pollut Res*, 781-786.
- Yucra, M. C. (2010). "Cuantificación de la remoción de Pb Y Cd mediante la lenteja de agua *Lemna gibba* y azolla *Azolla fuliculoides* de las aguas de la bahía interior de Puno". Puno: Universidad Nacional del Altiplano-Puno.
- Zimmels, Y., Kirzhner, F., & Malkovskaja, A. (2006). Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, 420-428.
- Zuñiga, M. A. (2004). *IDEAM*. Obtenido de <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/018834/MEMORIAS2004/CapituloII/6Remociondenitrogenoyfosforo2.pdf>

# **ANEXOS**

ANEXO 1: Informe de ensayo de los análisis del efluente de las viviendas (pre-tratamiento)



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Registro N° LE - 077

Pág. 1/1

INFORME DE ENSAYO N° 1903043

**Cliente :** KARINA CHANG GUTIERREZ  
**Domicilio legal :** Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.  
**Producto :** Agua Residual  
**Referencia del cliente :** Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual domestica mediante los macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* plantas típicas de la selva peruana"  
**Procedencia de las muestras :** Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junín.  
**Referencia del plan de muestreo :** No Aplica  
**Procedimiento de muestreo :** No Aplica  
**Fecha de recepción de las muestras :** 2019/03/08  
**Fecha de inicio del ensayo :** 2019/03/08  
**Fecha de término del ensayo :** 2019/03/14

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	5,7	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	71	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	152	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	20	mg/L
APHA 9221 E-1(*)	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	3,5 x 10 <sup>5</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (**)	pH	---	---	6,3	UpH

**Código de Laboratorio:** 1903043-1      **Estación de Muestreo:** Efluentes de las viviendas      **Fecha de Muestreo:** 2019/03/06  
**Hora:** 19:08  
**Tipo de muestra:** Agua Residual Doméstica

**Ensayo: Descripción del Método de Referencia:**

**Aceites y Grasas:** EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT-HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
**Demanda Química de Oxígeno:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.  
**Sólidos Totales Suspendedos:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.  
**Numeración de Coliformes Fecales (NMP):** Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)  
**pH:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno y vidrio ámbar.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (\*) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

WILBER CONDOR  
 JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA

JESSICA ANDREA TAKOHATSU  
 JEFE DE LAB DE HIDROBIOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA

Lima, 14 de marzo del 2019.  
  
 RAQUEL ROSALES TORRES  
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

## ANEXO 2: Cálculos de diseño

### A. DISEÑO DEL SEDIMENTADOR

#### a. CÁLCULO DEL VOLUMEN (Ecuación n° 2)

$$V = T_r \times Q_{maxh}$$

$$V = 28800 \text{ s} \times 0.000079 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = 2.29 \text{ m}^3$$

DONDE:

$T_r$ : Tiempo de retención (segundos)

$Q_{maxh}$ : Caudal máximo horario ( $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ )

- El tiempo de retención hidráulico para el sedimentador fue de 8 horas, ya que según (Coral, 2002) citado (Espinoza & Peralta, 2009) el periodo de 8 horas es suficiente para que los sólidos suspendidos sedimenten. Por otro lado, el pendiente del cimientado del sedimentador fue de 1% con respecto a los humedales.

#### b. Área del sedimentador (ecuación n° 3)

$$A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{2.29 \text{ m}^3}{1.5 \text{ m}}$$

$$A = 1.50 \text{ m}^2$$

DONDE:

$V$ : Volumen del sedimentador ( $\text{m}^3$ )

$h$ : Profundidad (m)

#### c. Ancho del sedimentador (ecuación n° 4)

$$A_n = \sqrt{\frac{A}{L:A}}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{1.50 \text{ m}^2}{4}}$$

$$A_n = 0.62 \text{ m}$$

DONDE:

$A$ = área del sedimentador  $\text{m}^2$

$L:A$  = relación largo ancho

- El ancho del sedimentador mediante cálculos fue de 0.62 m, por criterios de construcción se optó por redondear a 0.70 m. Por otro lado, con respecto al dato de relación (largo: ancho) para (Coral, 2002) citado por (Castro, 2016) propuso el valor de 10:1 para que el agua residual cumpliera con la teoría de flujo pistón, no obstante, para este sistema (escala mediana) se optó por establecer una relación (largo: ancho) de 4:1.

d. Largo del sedimentador (Ecuación n° 5)

$$L = A_n \times (L:A)$$

$$L = 0.62 \text{ m} \times 4$$

$$L = 2.5 \text{ m}$$

## B. DISEÑO DE LOS HUMEDALES

Los cálculos para los humedales se realizaron teniendo en cuenta el número de estos sistemas (4 humedales), por lo tanto, todos los humedales tendrán las mismas dimensiones.

a. Volumen del humedal.

$$V = T_r \times Q$$

$$V = 9000 \text{ s} \times 0.00001986 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$V = 0.17 \text{ m}^3$$

- El tiempo de retención hidráulico para cada humedal fue de 2.5 días, pero, por tipo de macrófita cada humedal tuvo un tiempo de retención de 5 días, esto concuerda con (CENTA, 2008) citado por (Rojas E. W., 2017) donde menciona que 5 días es el tiempo básico para una mejor remoción.

b. Área del humedal

$$A = \frac{V}{h}$$

$$A = \frac{0.17 \text{ m}^3}{0.60 \text{ m}}$$

$$A = 0.29 \text{ m}^2$$

- La altura del humedal fue propuesta de acuerdo a la altura de las raíces de las macrófitas.

c. Ancho del humedal

$$A_n = \sqrt{\frac{A}{L:A}}$$

$$A_n = \sqrt{\frac{0,29 \text{ m}^2}{2.7}}$$

$$A_n = 0.33 \text{ m}$$

- El ancho del humedal mediante cálculos fue de 0.33 m, por criterios de construcción se optó por redondear a 0.40 m. Por otro lado, con respecto al dato de relación (largo: ancho) (García Z. , 2012) citado por (Castro, 2016) recomendó los valores de 2.7 para humedales de menor proporción o escala y así poder aproximarse al flujo pistón.

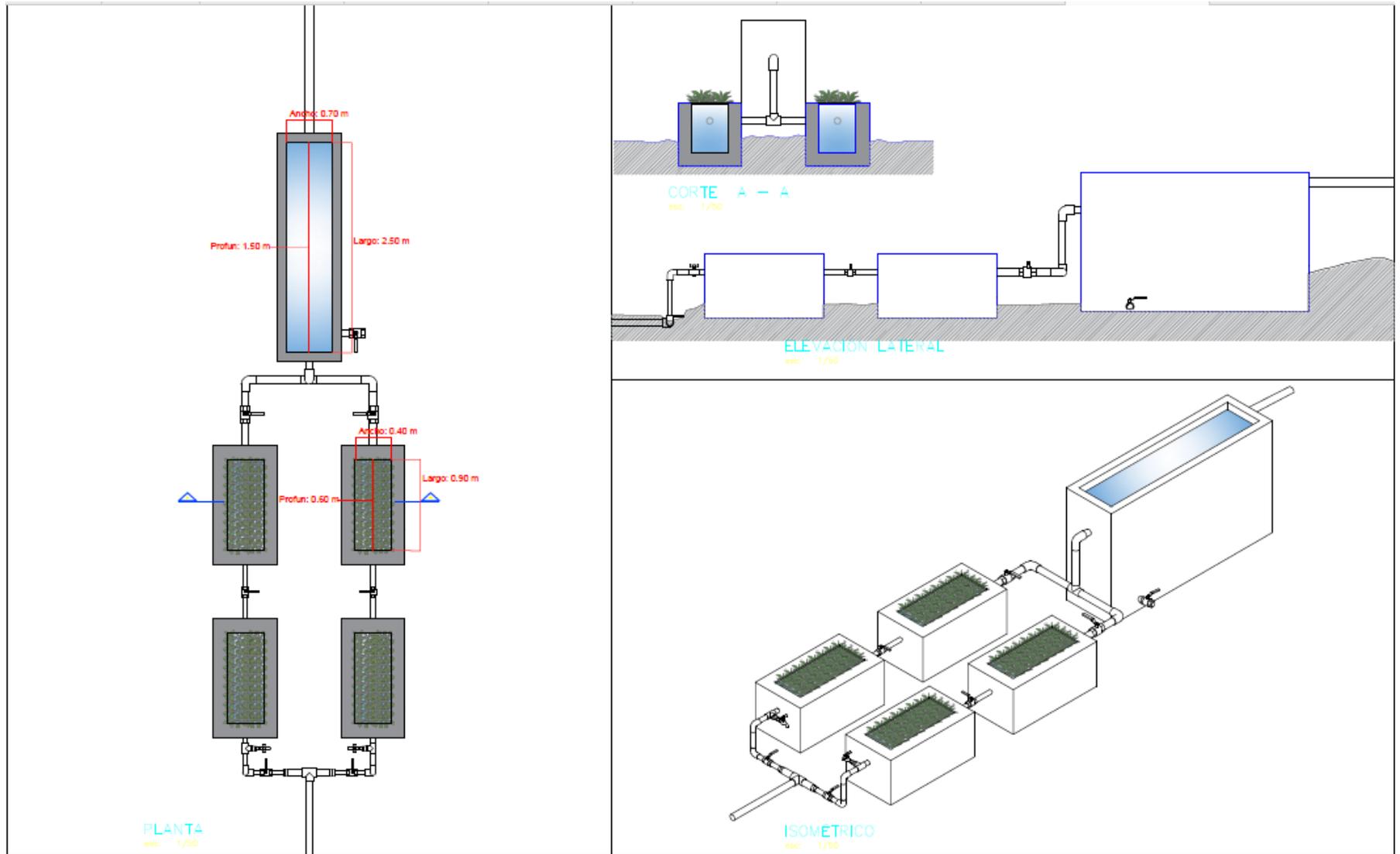
d. Largo del humedal

$$L = A_n \times (L:A)$$

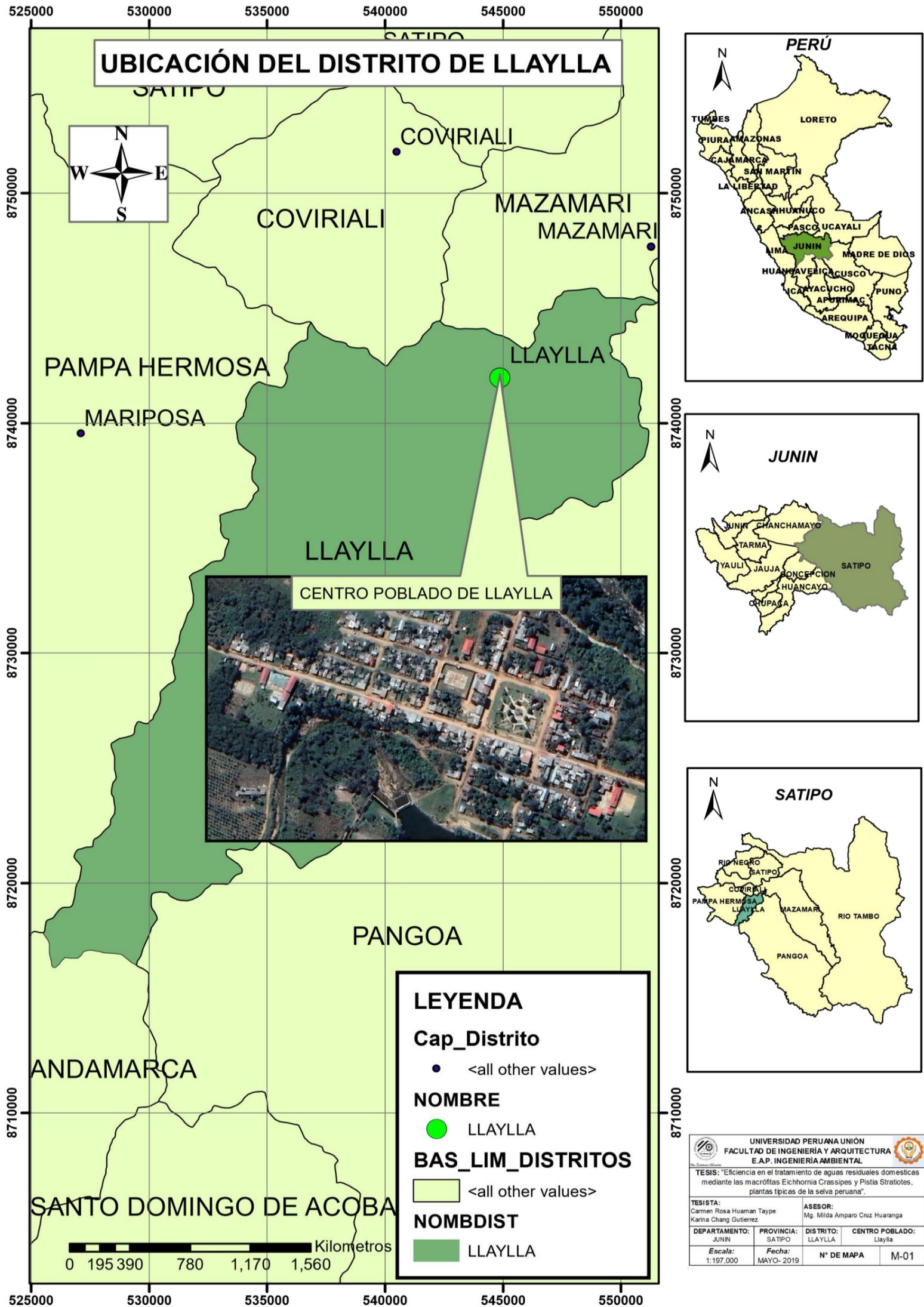
$$L = 0.33 \text{ m} \times 2.7$$

$$L = 0.89 \text{ m} \sim 0.90 \text{ m}$$

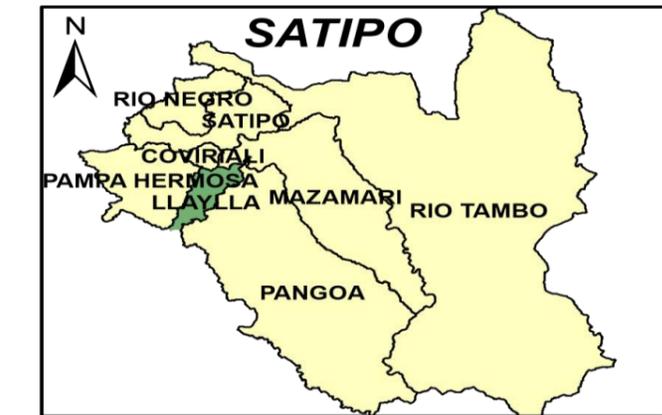
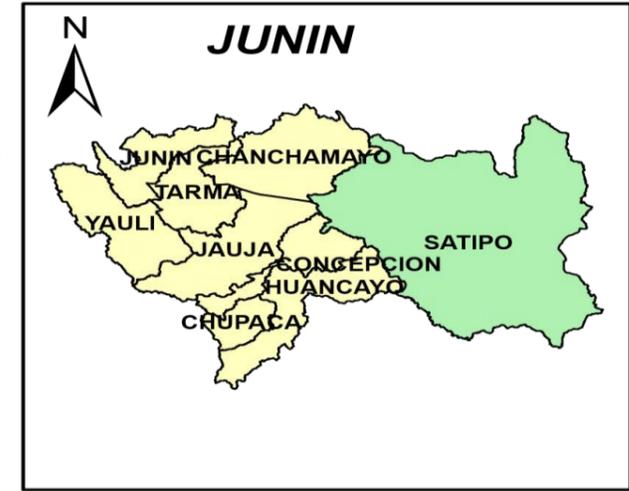
ANEXO 3: Esquema del sistema de tratamiento de agua residual doméstica.



ANEXO 4: Mapa geográfica del distrito de Llaylla.

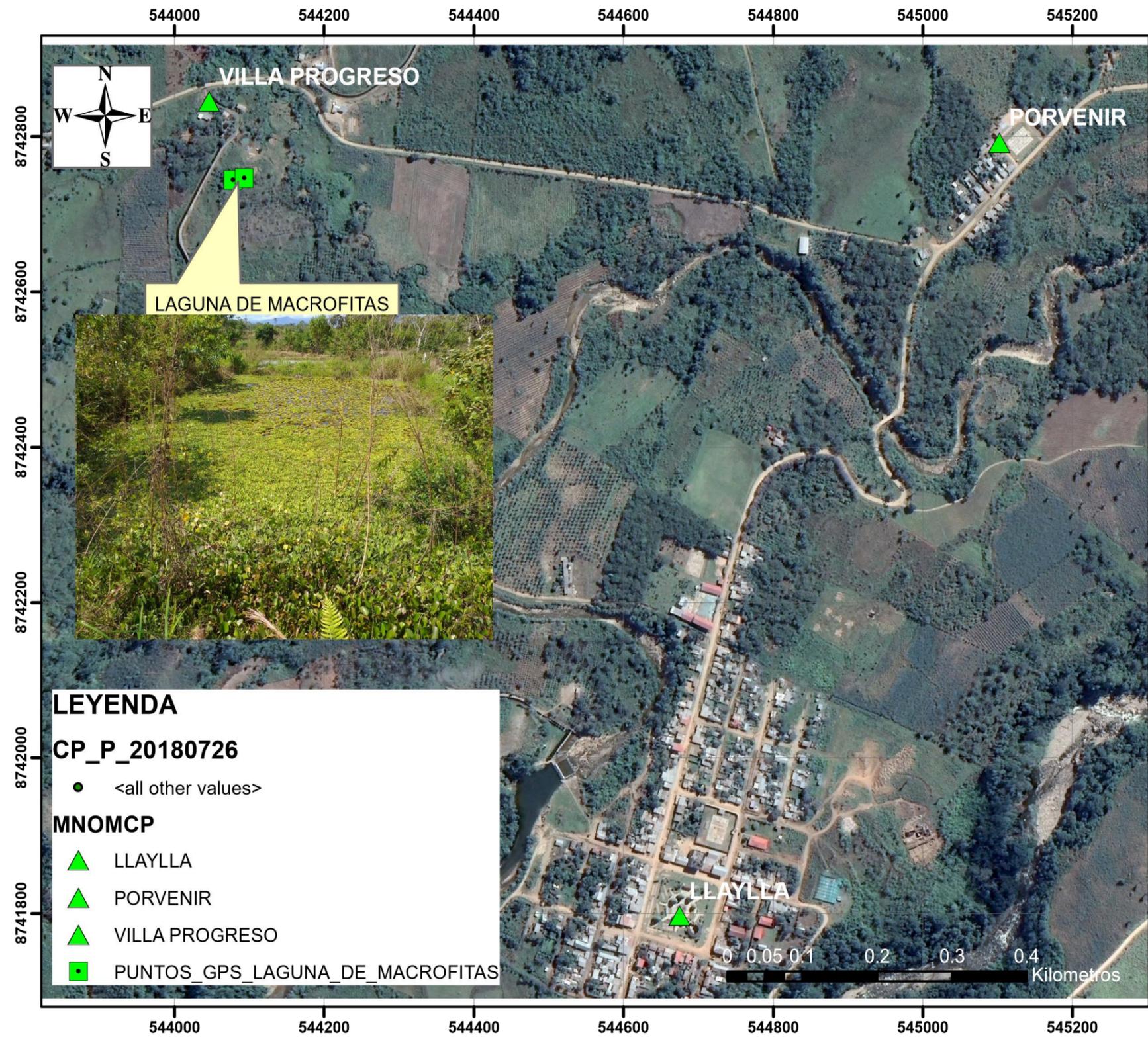


ANEXO 5: Área geográfica del proyecto.



<p>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA E.A.P. INGENIERÍA AMBIENTAL</p>			
<p>TESIS: "Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domesticas mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes, plantas típicas de la selva peruana".</p>			
<p>TESISTA: Carmen Rosa Huaman Taype Karina Chang Gutierrez</p>		<p>ASESOR: Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga</p>	
<p>DEPARTAMENTO: JUNIN</p>	<p>PROVINCIA: SATIPO</p>	<p>DISTRITO: LLAYLLA</p>	<p>CENTRO POBLADO: Llaylla</p>
<p>Escala: 1:5,000</p>	<p>Fecha: MAYO- 2019</p>	<p>N° DE MAPA</p>	<p>M-02</p>

ANEXO 6: Ubicación geográfica de las lagunas con macrófitas.



**LEYENDA**

CP\_P\_20180726

- <all other values>

**MNOMCP**

- ▲ LLAYLLA
- ▲ PORVENIR
- ▲ VILLA PROGRESO
- PUNTOS\_GPS\_LAGUNA\_DE\_MACROFITAS



<b>TESIS:</b> "Eficiencia en el tratamiento de aguas residuales domésticas mediante las macrófitas Eichhornia Crassipes y Pistia Stratiotes, plantas típicas de la selva peruana".			
<b>TESISTA:</b> Carmen Rosa Huaman Taype Karina Chang Gutierrez		<b>ASESOR:</b> Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga	
<b>DEPARTAMENTO:</b> JUNIN	<b>PROVINCIA:</b> SATIPO	<b>DISTRITO:</b> LLAYLLA	<b>CENTRO POBLADO:</b> Villa Progreso
<b>Escala:</b> 1:7,126	<b>Fecha:</b> MAYO-2019	<b>N° DE MAPA</b>	<b>M-03</b>

## ANEXO 7: Panel fotográfico

### A. Aforo del caudal



**Imagen 1:** Aforo del caudal

### B. Implementación del sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófitas acuáticas (*Eichhornia Crassipes*) y (*Pistia Stratiotes*).



**Imagen 2:** Trazo de terreno y movimiento de tierra para realizar la construcción.



**Imagen 3:** Construcción de los humedales (tratamiento secundario) y del sedimentador (tratamiento primario).



**Imagen 4:** Instalación de tuberías, accesorios y construcción de la cubierta.



**Imagen 5:** Prueba hidráulica en el sistema de tratamiento.



**Imagen 6:** Georreferenciación de la laguna de donde se extrajo las macrófitas.



**Imagen 7:** Recolección de las macrófitas.



**Imagen 8:** Medición del tamaño de las macrófitas antes de ser sembradas en el humedal.



**Imagen 9:** Incorporación de las macrófitas a los humedales artificiales.



**Imagen 10:** Sistema de tratamiento de agua residual domestica mediante humedales artificiales con macrófitas flotantes.

C. Monitoreo de las aguas residuales domésticas.



**Imagen 11:** Toma de muestra del agua residual domestica del efluente proveniente de las viviendas.



**Imagen 12:** Toma de muestra del agua residual domestica tratada por el humedal artificial con la macrófita Pistia Stratiotes.



**Imagen 13:** Toma de muestra del agua residual domestica tratada por el humedal artificial con la macrófita *Eichhornia Crassipes*.



**Imagen 14:** Muestras de agua residual doméstica antes y después del tratamiento.

D. Seguimiento del desarrollo de las macrofitas.



**Imagen 15:** Medición del tamaño de la macrófita *Eichhornia crassipes*.



**Imagen 16:** Medición del tamaño de la macrófita *Pistia Stratiotes*.



**Imagen 17:** Coleóptero edáfico acuáticos y Larvas de la familia Culicidae encontrados en los humedales artificiales



**Imagen 18:** Insectos Formicidae y Acrididae identificadas en el humedal artificial con la macrófita *Pistia stratiotes*.



**Imagen 19:** Humedales artificiales saturadas por las macrófitas debido a su expansión y crecimiento veloz.



**Imagen 20:** Raleo o cosecha de las macrófitas.

ANEXO 8: Ejemplares de la cadena de custodia.

**DELTA SAC** CADENA DE CUSTODIA

CLIENTE: Karina Chang Gutiérrez  
 DIRECCIÓN: Av. Juan Velasco Alvarado 34  
 LUGAR DE MUESTREO: Llaylla

CADENA DE CUSTODIA N°: 95600502  
 CORREO: karinachang@deltasac.com.pe  
 DISTRITO: Llaylla  
 PROVINCIA: Salto  
 DEPARTAMENTO: Junín

REFERENCIA / PROYECTO: Tesis de licenciatura en el área de Ingeniería de Alimentos, tesis de grado "Efecto de la temperatura en la conservación de los microorganismos en leche y queso".

ESTACIÓN DE MUESTREO	CODIGO DE LABORATORIO (1)	TIPO DE MUESTRO (2)	FECHA (aa-mm-dd)	HORA (24:00)	N° DE ENVASES	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM - WGS84)	PARAMETROS EN CAMPO
Estaciones de la Uvula	ARD	ARD	2019-02-06	11:00	01		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	
Estaciones de la Uvula	ARD	ARD	2019-02-06	11:00	01		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	
Estaciones de la Uvula	ARD	ARD	2019-02-06	11:00	01		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	
Estaciones de la Uvula	ARD	ARD	2019-02-06	11:00	01		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	

Responsable del Muestreo: Corina Rosa Huamán Tajpe  
 Cliente (Supervisor): Karina Chang Gutiérrez  
 Fecha y Hora: 19-06-2019 11:00

**DELTA SAC** CADENA DE CUSTODIA

CLIENTE: Karina Chang Gutiérrez  
 DIRECCIÓN: Av. Juan Velasco Alvarado 34  
 LUGAR DE MUESTREO: Llaylla

CADENA DE CUSTODIA N°: 956006005  
 CORREO: karinachang@deltasac.com.pe  
 DISTRITO: Llaylla  
 PROVINCIA: Salto  
 DEPARTAMENTO: Junín

REFERENCIA / PROYECTO: Tesis de licenciatura en el área de Ingeniería de Alimentos, tesis de grado "Efecto de la temperatura en la conservación de los microorganismos en leche y queso".

ESTACIÓN DE MUESTREO	CODIGO DE LABORATORIO (1)	TIPO DE MUESTRO (2)	FECHA (aa-mm-dd)	HORA (24:00)	N° DE ENVASES	DESCRIPCIÓN DEL PUNTO DE MUESTREO	COORDENADAS GEOGRÁFICAS (UTM - WGS84)	PARAMETROS EN CAMPO
ARD - Madre	ARD	ARD	19-06-18	11:00	18		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	
H Jueñito	ARD	ARD	19-06-18	11:00	18		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	
H Lechuga	ARD	ARD	19-06-18	11:00	18		E: 05247857 1084 N: 8442477 182	

Responsable del Muestreo: Karina Chang Gutiérrez  
 Cliente (Supervisor): Corina Rosa Huamán Tajpe  
 Fecha y Hora: 19-06-2019

ANEXO 9: Informe mensual de los análisis del agua residual domestica (pre-post)



Registro N° LE- 077

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA CON REGISTRO N° LE-077

Pág. 1/2

INFORME DE ENSAYO N° 1903049

Cliente : KARINA CHANG GUTIERREZ  
 Domicilio legal : Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junin.  
 Producto : Agua Residual  
 Referencia del cliente : Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual domestica mediante los macrofitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* plantas típicas de la selva peruana"  
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junin.  
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
 Procedimiento de muestreo : No Aplica  
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/03/14  
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/03/14  
 Fecha de término del ensayo : 2019/03/19

Código de Laboratorio: 1903049-1		Estación de Muestreo: H. Jacinto		Fecha de Muestreo: 2019/03/13	
				Hora: 16:30	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	9,0	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	82	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	175	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	10	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	4,9 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,2	UpH

Código de Laboratorio: 1903049-2		Estación de Muestreo: H. Lechuga		Fecha de Muestreo: 2019/03/13	
				Hora: 16:40	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	8,5	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	66	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	142	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	75	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	7,9 x 10 <sup>3</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,0	UpH

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT- HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
 Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT- HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.  
 Sólidos Totales Suspendedos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.  
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)  
 pH: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C. Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1903049**

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno y vidrio ámbar.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (\*) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Lima, 20 de marzo del 2019.



DELTA LAB S.A.C.  
WILDER CONOCOR CASTRO  
JEFE DE LABORATORIO DE FISIQUIMICA



DELTA LAB S.A.C.  
JESSICA ANDREA WU KOHATSU  
JEFE DE LAB DE HIDROBIOLOGIA Y MICROBIOLOGIA



DELTA LAB S.A.C.  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: [servicioalcliente@deltalabsac.com](mailto:servicioalcliente@deltalabsac.com) [www.deltalabsac.com](http://www.deltalabsac.com)

INFORME DE ENSAYO N° 1904028

**Cliente** : KARINA CHANG GUTIERREZ  
**Domicilio legal** : Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.  
**Producto** : Agua Residual  
**Referencia del cliente** : Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual domestica mediante los macrófitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* plantas típicas de la selva peruana"  
**Procedencia de las muestras** : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junín.  
**Referencia del plan de muestreo** : No Aplica  
**Procedimiento de muestreo** : No Aplica  
**Fecha de recepción de las muestras** : 2019/04/10  
**Fecha de inicio del ensayo** : 2019/04/10  
**Fecha de término del ensayo** : 2019/04/15

**Código de Laboratorio:** 1904028-1      **Estación de Muestreo:** H. Jacinto      **Fecha de Muestreo:** 2019/04/09  
**Hora:** 16:19  
**Tipo de muestra:** Agua Residual Doméstica

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	2,1	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	11	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	6	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	1,3 x 10	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	6,8	UpH

**Código de Laboratorio:** 1904028-2      **Estación de Muestreo:** H. Lechuga      **Fecha de Muestreo:** 2019/04/09  
**Hora:** 16:32  
**Tipo de muestra:** Agua Residual Doméstica

Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	4,6	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	14	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	52	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,1	1,1 x 10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	6,8	UpH

**Ensayo: Descripción del Método de Referencia:**

**Aceites y Grasas:** EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT- HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
**Demanda Bioquímica de Oxígeno:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
**Demanda Química de Oxígeno:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.  
**Sólidos Totales Suspendedos:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.  
**Numeración de Coliformes Fecales (NMP):** Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)  
**pH:** SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1904028**

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno y vidrio ámbar.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (\*) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

**Lima, 16 de abril del 2019.**



**DELTA LAB S.A.C.**  
WILDER PONCE QUIROZ  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA



**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1905041

Cliente : KARINA CHANG GUTIERREZ  
 Domicilio legal : Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.  
 Producto : Agua Residual  
 Referencia del cliente : Tesis: “Eficiencia en el tratamiento de agua residual domestica mediante los macrofitas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* plantas típicas de la selva peruana”  
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junín.  
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
 Procedimiento de muestreo : No Aplica  
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/05/17  
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/05/17  
 Fecha de término del ensayo : 2019/05/22

Código de Laboratorio: 1905041-1	Estación de Muestreo: H. Jacinto	Fecha de Muestreo: 2019/05/16			
		Hora: 16:20			
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	9	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	2,3 x 10	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (°)	pH	---	---	6,6	UpH

Código de Laboratorio: 1905041-2	Estación de Muestreo: H. Lechuga	Fecha de Muestreo: 2019/05/16			
		Hora: 17:00			
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	10	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,7 x 10	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (°)	pH	---	---	6,8	UpH

**Ensayo: Descripción del Método de Referencia:**

Aceites y Grasas: EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT- HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.  
 Demanda Bioquímica de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.  
 Demanda Química de Oxígeno: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.  
 Sólidos Totales Suspendidos: SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.  
 Numeración de Coliformes Fecales (NMP): SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)  
 pH: SMEWW – APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. “A” Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1905041**

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno y vidrio ámbar.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (\*) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Lima, 23 de mayo del 2019.



**DELTA LAB S.A.C.**  
WILDER CONDOR CASTRO  
JEFE DE LABORATORIO DE FÍSICO QUÍMICA



**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: [servicioalcliente@deltalabsac.com](mailto:servicioalcliente@deltalabsac.com) [www.deltalabsac.com](http://www.deltalabsac.com)

INFORME DE ENSAYO N° 1906042

Cliente : KARINA CHANG GUTIERREZ  
 Domicilio legal : Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.  
 Producto : Agua Residual  
 Referencia del cliente : Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual doméstica mediante los macrófitas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Lechuga de agua (*Pistia stratiotes*) plantas típicas de la selva peruana"  
 Procedencia de las muestras : Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla - Satipo - Junín.  
 Referencia del plan de muestreo : No Aplica  
 Procedimiento de muestreo : No Aplica  
 Fecha de recepción de las muestras : 2019/06/12  
 Fecha de inicio del ensayo : 2019/06/12  
 Fecha de término del ensayo : 2019/06/20

Código de Laboratorio: 1906042-1		Estación de Muestreo: ARD-Bruta-R1		Fecha de Muestreo: 2019/06/11	
				Hora: 16:00	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	5,6	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	125	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	211	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	10	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,3 x 10 <sup>6</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H* B (*)	pH	---	---	6,4	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-2		Estación de Muestreo: ARD-Bruta-R2		Fecha de Muestreo: 2019/06/11	
				Hora: 16:00	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	5,7	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	120	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	201	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	5	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	7,9 x 10 <sup>6</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H* B (*)	pH	---	---	6,5	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-3		Estación de Muestreo: ARD-Bruta-R3		Fecha de Muestreo: 2019/06/11	
				Hora: 16:00	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	5,2	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	122	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	204	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	15	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,1 x 10 <sup>6</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H* B (*)	pH	---	---	6,5	UpH

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Nira. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1906042

Código de Laboratorio: 1906042-4		Estación de Muestreo: H. Lechuga-R1		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	21	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	59,5x10	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	6,5	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-5		Estación de Muestreo: H. Lechuga-R2		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	26	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	55	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	7,0 x 10	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	6,8	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-6		Estación de Muestreo: H. Lechuga-R3		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	27	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	58	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendidos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,4 x 10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,0	UpH

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

INFORME DE ENSAYO N° 1906042

Código de Laboratorio: 1906042-7		Estación de Muestreo: H. Jacinto-R1		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	23	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	< 50	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,1 x 10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,1	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-8		Estación de Muestreo: H. Jacinto-R2		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	26	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	55	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,7 x 10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,3	UpH

Código de Laboratorio: 1906042-9		Estación de Muestreo: H. Jacinto-R3		Fecha de Muestreo: 2019/06/11 Hora: 17:02	
Tipo de muestra: Agua Residual Doméstica					
Método de Referencia	Ensayo	Límite de Detección del Método	Límite de Cuantificación del Método	Resultado	Unidad
EPA 1664	Aceites y Grasas	1,4	5	< 1,4	mg/L
APHA 5210 B	Demanda Bioquímica de Oxígeno	2	8	31	mg/L
APHA 5220 D	Demanda Química de Oxígeno	---	50	68	mg/L
APHA 2540 D	Sólidos Totales Suspendedos	2	8	< 2	mg/L
APHA 9221 E-1	Numeración de Coliformes fecales	---	1,8	1,1 x 10 <sup>2</sup>	NMP/100 mL
APHA 4500-H <sup>+</sup> B (*)	pH	---	---	7,4	UpH

Ensayo: Descripción del Método de Referencia:

Aceites y Grasas:	EPA Method 1664, Revisión B (EPA-821-R-10-001) 2010 N-Hexane Extractable Material (HEM; Oil and Grease) and Sílica Gel Treated N-Hexane Extractable Material (SGT- HEM; Non-polar Material) by Extraction and Gravimetry.
Demanda Bioquímica de Oxígeno:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 5210 B, 23rd Ed. 2017. 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. DQO, Closed Reflux. Colorimetric Method.
Sólidos Totales Suspendedos:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part. 2540 D, 23rd Ed. 2017. Total Suspended Solids Dried at 103 105°C.
Numeración de Coliformes Fecales (NMP):	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
pH:	SMEWW - APHA-AWWA-WEF Part 4500-H <sup>+</sup> B, 23rd Ed 2017. pH Value: Electrometric Method

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1906042**

**Notas:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras llegaron refrigeradas y preservadas.
- Las muestras llegaron en frascos de polietileno y vidrio ámbar.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.
- El informe de control de calidad le será proporcionado a su solicitud.
- (\*) El resultado del método de ensayo indicado se encuentra fuera del alcance de acreditación otorgada por INACAL-DA, debido a que la muestra no es idónea para el ensayo.

Lima, 20 de junio del 2019.



**DELTA LAB S.A.C.**  
JESSICA ANDREA WUKOHATSU  
JEFE DE LAB DE BIOTECNOLOGIA Y MICROBIOLOGIA



**DELTA LAB S.A.C.**  
WILDER OCHOA  
JEFE DE LAB DE QUIMICA ANALITICA Y QUIMICA



**DELTA LAB S.A.C.**  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**ANEXO DEL INFORME DE ENSAYO N° 1906042**

Cliente	: KARINA CHIANG GUTIERREZ
Domicilio legal	: Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual domestica mediante los macrófitas Jacinto de agua ( <i>Elchhornia crassipes</i> ) y Lechuga de agua ( <i>Pistia stratiotes</i> ) plantas típicas de la selva peruana"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junín.
Referencia del plan de muestreo	: No Aplica
Procedimiento de muestreo	: No Aplica
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/06/12

**DATOS DE LA ESTACIÓN DE MUESTREO**

Estación	Hora	Fecha	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
			ESTE	NORTE	
ARD-Bruta-R1	16:00	2019/06/11	0544852	8742477	1084
ARD-Bruta-R2	16:00	2019/06/11	0544852	8742477	1084
ARD-Bruta-R3	16:00	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Jacinto-R1	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Jacinto-R2	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Jacinto-R3	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Lechuga-R1	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Lechuga-R2	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084
H. Lechuga-R3	17:02	2019/06/11	0544852	8742477	1084

Lima, 20 de junio del 2019.


**DELTA LAB S.A.C.**  
**AQUEL R. MORALES FORRES**  
 SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
 CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducción total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
 Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
 Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD DEL INFORME DE ENSAYO N° 1906042**

Cliente	: KARINA CHANG GUTIERREZ
Domicilio legal	: Av. Juan Velazco Alvarado S/N, Llaylla – Satipo – Junín.
Producto	: Agua Residual
Referencia del cliente	: Tesis: "Eficiencia en el tratamiento de agua residual doméstica mediante los macrófitas Jacinto de agua ( <i>Eichhornia crassipes</i> ) y Lechuga de agua ( <i>Pistia stratiotes</i> ) plantas típicas de la selva peruana"
Procedencia de las muestras	: Muestras enviadas por el cliente indicando lugar de muestreo: Llaylla – Satipo – Junín.
Fecha de recepción de las muestras	: 2019/06/12

**RESULTADO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Parámetro	Unidad	Estaciones de muestreo			ECA <sup>(1)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
		ARD-Bruta-R1	ARD-Bruta-R2	ARD-Bruta-R3		
Aceites y Grasas	mg/L	5,6	5,7	5,2	5,0	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	120	120	122	10	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	211	201	204	-	200
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	10	5	15	≤ 400	150
Numeración de Coliformes fecales	NMP/100 mL	1,3 x 10 <sup>5</sup>	7,9 x 10 <sup>4</sup>	1,1 x 10 <sup>5</sup>	2 000	10 000
pH	UpH	6,4	6,5	6,5	6,5 – 9,0	6,5 – 8,5

(1) D.S. N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias: Categoría 4. Conservación del ambiente acuático.

(2) D.S. N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas Municipales.

**COMENTARIO:**

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas y Sólidos Totales Suspendidos en las tres estaciones, cumplen con el estándar ambiental establecido, así mismo el pH (en las estaciones ARD-Bruta-R2 y ARD-Bruta-R3) están dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Sin embargo, los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno y Numeración de Coliformes fecales en las tres estaciones superan el estándar establecido en la norma, además el pH en la estación ARD-Bruta-R1 está fuera del intervalo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno y Sólidos Totales Suspendidos en las tres estaciones, están por debajo del límite máximo permisible establecido, así mismo el pH (en las estaciones ARD-Bruta-R2 y ARD-Bruta-R3) están dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM. Sin embargo, los resultados de Numeración de Coliformes fecales en las tres estaciones superan el límite establecido en la norma, además el pH en la estación ARD-Bruta-R1 está fuera del intervalo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD DEL INFORME DE ENSAYO N° 1906042**
**RESULTADO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA**

Parámetro	Unidad	Estaciones de muestreo			ECA <sup>(1)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
		H-Lechuga-R1	H-Lechuga-R2	H-Lechuga-R3		
Aceites y Grasas	mg/L	< 1,4	< 1,4	< 1,4	5,0	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	21	26	27	10	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	< 50	55	58	-	200
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	< 2	< 2	< 2	≤ 400	150
Numeración de Coliformes fecales	NMP/100 mL	4,9 x 10	7,0 x 10	59,5x10	2 000	10 000
pH	UpH	6,5	6,8	7,0	6,5 – 9,0	6,5 – 8,5

(1) D.S. N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias: Categoría 4, Conservación del ambiente acuático.

(2) D.S. N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

**COMENTARIO:**

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas, Sólidos Totales Suspendedos y Numeración de Coliformes fecales en las tres estaciones, cumplen con el estándar ambiental establecido, así mismo el pH en las tres estaciones están dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Sin embargo, los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las tres estaciones superan el estándar establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales Suspendedos y Numeración de Coliformes Fecales en las tres estaciones, están por debajo del límite máximo permisible establecido, así mismo el pH está dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM.



Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Telefax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

**DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD DEL INFORME DE ENSAYO N° 1906042**

RESULTADO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA						
Parámetro	Unidad	Estaciones de muestreo			ECA <sup>(1)</sup>	LMP <sup>(2)</sup>
		H-Jacinto-R1	H-Jacinto-R2	H-Jacinto-R3		
Aceites y Grasas	mg/L	< 1,4	< 1,4	< 1,4	5,0	20
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	23	26	31	10	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	< 50	55	68	-	200
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	< 2	< 2	< 2	≤ 400	150
Numeración de Coliformes fecales	NMP/100 mL	1,1 x 10 <sup>2</sup>	1,7 x 10 <sup>2</sup>	1,1 x 10 <sup>2</sup>	2 000	10 000
pH	UpH	7,1	7,3	7,4	6,5 – 9,0	6,5 – 8,5

(1) D.S. N° 004-2017-MINAM. Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias: Categoría 4, Conservación del ambiente acuático.

(2) D.S. N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales.

**COMENTARIO:**

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas, Sólidos Totales Suspendidos y Numeración de Coliformes fecales en las tres estaciones, cumplen con el estándar ambiental establecido, así mismo el pH en las tres estaciones están dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM. Sin embargo, los resultados de Demanda Bioquímica de Oxígeno en las tres estaciones superan el estándar establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM.

Los resultados de análisis de Aceites y Grasas, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Demanda Química de Oxígeno, Sólidos Totales Suspendidos y Numeración de Coliformes Fecales en las tres estaciones, están por debajo del límite máximo permisible establecido, así mismo el pH está dentro del intervalo establecido en el D.S. N° 003-2010-MINAM.



Lima, 20 de junio del 2019.

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfax: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalabsac.com www.deltalabsac.com

ANEXO 10: Clasificación del río Chalhuanayo

El río Chalhuanayo es parte de la cuenca del río Perene y según la Resolución Jefatural N°56 -2018-ANA, algunos ríos de la cuenca Perene son de la categoría 4, tal como lo muestra la siguiente tabla.

CURSO DE AGUA					UNIDAD HIDROGRÁFICA		
N°	Código Curso	Nombre	Categoría	Longitud (km)	Código UH	Nombre	
953	49931	Río Ucayali	Categoría 4	192,19	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
954	49932	Quebrada Genepanshea	Categoría 4	186,48	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
955	49933	Río Ucayali	Categoría 4	110,64	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
956	49934	Río Tahuania	Categoría 4	189,76	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
957	49935	Río Ucayali	Categoría 4	48,46	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
958	49936	Río Cohengua	Categoría 4	185,78	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
959	49937	Río Ucayali	Categoría 4	40,09	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
960	49938	Río Unine	Categoría 4	137,72	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
961	49939	Río Ucayali	Categoría 4	31,17	4993	Intercuenca Medio Bajo Ucayali	
962	49951	Río Tambo	Categoría 4	70,62	49951	Intercuenca 49951	
963	49952	Quebrada Poyeni	Categoría 4	63,39	49952	Cuenca Poyeni	
964	49953	Río Tambo	Categoría 4	80,44	49953	Intercuenca 49953	
965	499541	Río Perené	Categoría 4	8,54	49954	Cuenca Perené	
966	499542	Río Pangoa	Categoría 4	133,68	49954	Cuenca Perené	

Por consiguiente, en el Estándar de Calidad Ambiental para Agua la categoría 4 se clasifica de la siguiente forma:

**Categoría 4: Conservación del ambiente acuático**

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>FÍSICOS- QUÍMICOS</b>						
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Cianuro Libre	mg/L	0,0052	0,0052	0,0052	0,001	0,001
Color (b)	Color verdadero Escala Pt/Co	20 (a)	20 (a)	20 (a)	**	**
Clorofila A	mg/L	0,008	**	**	**	**
Conductividad	( $\mu$ S/cm)	1 000	1 000	1 000	**	**
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>2</sub> )	mg/L	5	10	10	15	10
Fenoles	mg/L	2,56	2,56	2,56	5,8	5,8
Fósforo total	mg/L	0,035	0,05	0,05	0,124	0,062
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) (c)	mg/L	13	13	13	200	200
Amoniaco Total (NH <sub>3</sub> )	mg/L	(1)	(1)	(1)	(2)	(2)
Nitrógeno Total	mg/L	0,315	**	**	**	**
Oxígeno Disuelto (valor mínimo)	mg/L	≥ 5	≥ 5	≥ 5	≥ 4	≥ 4
Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,5 a 9,0	6,8 – 8,5	6,8 – 8,5
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	≤ 25	≤ 100	≤ 400	≤ 100	≤ 30
Sulfuros	mg/L	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Temperatura	°C	Δ 3	Δ 3	Δ 3	Δ 2	Δ 2
<b>INORGÁNICOS</b>						
Antimonio	mg/L	0,64	0,64	0,64	**	**
Arsénico	mg/L	0,15	0,15	0,15	0,036	0,036
Bario	mg/L	0,7	0,7	1	1	**
Cadmio Disuelto	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088
Cobre	mg/L	0,1	0,1	0,1	0,05	0,05
Cromo VI	mg/L	0,011	0,011	0,011	0,05	0,05
Mercurio	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Níquel	mg/L	0,052	0,052	0,052	0,0082	0,0082
Plomo	mg/L	0,0025	0,0025	0,0025	0,0081	0,0081
Selenio	mg/L	0,005	0,005	0,005	0,071	0,071
Talio	mg/L	0,0008	0,0008	0,0008	**	**
Zinc	mg/L	0,12	0,12	0,12	0,081	0,081
<b>ORGÁNICOS</b>						
<b>Compuestos Orgánicos Volátiles</b>						
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Hexaclorobutadieno	mg/L	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006	0,0006
<b>BTEX</b>						
Benceno	mg/L	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
<b>Hidrocarburos Aromáticos</b>						
Benzo(a)Pireno	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Antraceno	mg/L	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004	0,0004
Fluoranteno	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001

Parámetros	Unidad de medida	E1: Lagunas y lagos	E2: Ríos		E3: Ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y sierra	Selva	Estuarios	Marinos
<b>Bifenilos Policlorados</b>						
Bifenilos Policlorados (PCB)	mg/L	0,000014	0,000014	0,000014	0,00003	0,00003
<b>PLAGUICIDAS</b>						
<b>Organofosforados</b>						
Malatión	mg/L	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
Paratión	mg/L	0,000013	0,000013	0,000013	**	**
<b>Organoclorados</b>						
Aldrín	mg/L	0,000004	0,000004	0,000004	**	**
Clordano	mg/L	0,0000043	0,0000043	0,0000043	0,000004	0,000004
DDT (Suma de 4,4'-DDD y 4,4-DDE)	mg/L	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001	0,000001
Dieldrín	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000019	0,0000019
Endosulfán	mg/L	0,000056	0,000056	0,000056	0,0000087	0,0000087
Endrin	mg/L	0,000036	0,000036	0,000036	0,0000023	0,0000023
Heptacloro	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Heptacloro Epóxido	mg/L	0,0000038	0,0000038	0,0000038	0,0000036	0,0000036
Lindano	mg/L	0,00095	0,00095	0,00095	**	**
Pentaclorofenol (PCP)	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
<b>Carbamato</b>						
Aldicarb	mg/L	0,001	0,001	0,001	0,00015	0,00015
<b>MICROBIOLÓGICO</b>						
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1 000	2 000	2 000	1 000	2 000



ANEXO 12: Presupuesto de la tesis.

CÓD.	ÍTEM	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL	PRECIO SUBTOTAL POR ÍTEM	PRECIO TOTAL POR ÍTEM	
1	Gastos administrativos y de papelería						S/.3,600.00	
1.1	Proceso de tesis					S/.3,200.00		
1.1.1	Recibo de pago por derecho de asesoría	Unidad	2	S/.300.00	S/.600.00			
1.1.2	Recibo de pago por derecho de inscripción y asesoría de ejecución del proyecto de tesis	Unidad	2	S/.600.00	S/.1,200.00			
1.1.3	Recibo de pago por derecho de sustentación	Unidad	2	S/.700.00	S/.1,400.00			
1.2	Otros gastos (impresión, copias, empastado)					S/.400.00		
2	Implementar un sistema de tratamiento de aguas residuales mediante macrófita acuática (Eichormia Crassipes).						S/.4,994.04	
2.1	Caracterización de aguas residuales					S/.9.00		
2.1.1	Guantes desechables	UNIDAD	2	S/.1.00	S/.2.00			
2.1.2	Respirador	UNIDAD	2	S/.3.50	S/.7.00			
2.2	Analisis de parametros					S/356.74		
2.2.1	Costo total del analisis de los parametros fisicoquimicos y microbiologico	UNIDAD	1	S/286.74	S/286.74			
2.2.2	Traslado al laboratorio	UNIDAD	1	S/70.00	S/70.00			
2.3	Construcción del sistema de tratamiento de ARD					S/4,628.30		
2.3.1	Cemento	BOLSA	21	S/23.70	S/497.70			
2.3.2	Impermeabilizante	UNIDAD	1	S/24.00	S/24.00			
2.3.3	Fierro	UNIDAD	22	S/16.00	S/352.00			
2.3.4	Alambre	kg	13	S/4.00	S/52.00			
2.3.5	Hoja de sierra	UNIDAD	2	S/5.00	S/10.00			
2.3.6	Tripley	UNIDAD	3	S/25.00	S/75.00			
2.3.7	Arena gruesa	m3	4	S/40.00	S/160.00			
2.3.8	Arena fina	m3	3	S/50.00	S/150.00			
2.3.9	Tubo de desagüe 4"	UNIDAD	11	S/12.00	S/132.00			
2.3.10	Tubo de desagüe 3"	UNIDAD	3	S/9.00	S/27.00			
2.3.11	Tubo de desagüe 2"	UNIDAD	2	S/6.00	S/12.00			
2.3.12	Accesorios de las tuberías	TOTAL	1	S/198.20	S/198.20			
2.3.13	Llave de paso 4"	UNIDAD	1	S/65.00	S/65.00			
2.3.14	Llave de paso 3"	UNIDAD	3	S/39.70	S/119.10			
2.3.15	Llave de paso 2"	UNIDAD	2	S/25.00	S/50.00			
2.3.16	Caño	UNIDAD	2	S/6.00	S/12.00			
2.3.17	Cinta teflon	UNIDAD	8	S/1.00	S/8.00			
2.3.18	Pegamento para tubo	UNIDAD	4	S/22.80	S/91.20			
2.3.19	Calamina	UNIDAD	16	S/14.70	S/235.20			
2.3.20	Fibraforte blanco	UNIDAD	2	S/52.00	S/104.00			
2.3.21	Clavo	kg	3	S/4.30	S/12.90			
2.3.22	Traslado de materiales de construcción	UNIDAD	1	S/206.00	S/206.00			
2.3.23	Mano de obra calificada	TOTAL	1	S/2,035.00	S/2,035.00			
3	Analisis de parametros (Post-tratamiento)						S/3,421.88	S/3,421.88
3.1	Guantes desechables	UNIDAD	20	S/.1.00	S/.20.00			
3.2	Respirador	UNIDAD	10	S/.3.50	S/.35.00			
3.3	Costo total del analisis de los parametros fisicoquimicos y microbiologico	UNIDAD	6	S/286.74	S/1,720.44			
3.4	Costo total del analisis de los parametros fisicoquimicos y microbiologico con replicas	UNIDAD	1	S/1,366.44	S/1,366.44			
3.5	Traslado al laboratorio	UNIDAD	4	S/70.00	S/280.00			
TOTAL							S/12,015.92	