

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



*Una Institución Adventista*

**Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de material orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca, 2018**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

Por:

Elizabeth Umasi Olarte

Asesor:

Mg. Noé Coila Jallahui

Juliaca, noviembre de 2019

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS

Noé Coila Jallahui, 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: **“EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUBSUPERFICIAL Y FLUJO SUPERFICIAL CON DOS ESPECIES FITODEPURADORAS PARA LA REMOCIÓN DE MATERIAL ORGÁNICA DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS - JULIACA, 2018”** constituye la memoria que presenta la Bachiller **Elizabeth Umasi Olarte** para obtener el 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 declaración en Juliaca, a los 02 días del mes de enero del año 2020.



---

Mg. Noé Coila Jallahui  
Asesor



059

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 29 día(s) del mes de noviembre del año 2019, siendo las 11:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Juan Eduardo Vigo Rivera, el secretario: Msc. Rosa Adeline Gallego Chura y los demás miembros: Msc. Joel Calla Calla y el asesor Mg. Noé Loiza Tallahuí

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de material orgánica de las aguas residuales domésticas Juliaca, 2018. de el(los)/a(la)s bachiller(es): a) Elizabeth Umari Olarte

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Elizabeth Umari Olarte

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
Aprobado	14	C	aceptable	Bueno

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

Signatures of Presidente, Aesor, and Candidato(a)

Signature of Miembro

Signature of Secretario

Signature of Miembro

Signature of Candidato/a (b)

### **Dedicatoria**

A Dios por acompañarme en el transcurso de la elaboración del proyecto y permitir culminar de manera satisfactoria.

A mis padres Alejandro y Maria, por la confianza depositada y su constancia en la dedicación del mi proyecto.

A mis hermanas por su compañía y apoyo en este proceso.

Con mucho cariño para Maciej, quien es mi motivación e inspiración para cumplir cada objetivo en mi vida.

## **Agradecimiento**

En primer lugar, a Dios, por su encaminar y dirigir este proyecto de investigación.

A mis padres Alejandro y María, por formar parte en la etapa universitaria mediante el apoyo económico y moral.

A los ingenieros que fueron participes en la elaboración del proyecto, Ing. Danny Chambi y al Mg. Noé Coila por su asesorado.

A mis dictaminadores Ing. Ing. Eduardo Vigo, Mg. Rose Callata y al MSc. Jael Calla que gracias a sus oportunas observaciones para el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca por permitir ser parte de una institución con principios y valores que acrecentaron mi desarrollo personal, a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindar los conocimientos adquiridos.

A todas las personas que estuvieron acompañándome en el proceso de investigación, a Betzabeth y Virginia mi apoyo moral y perseverancia

## ÍNDICE

<b>Dedicatoria.....</b>	<b>iv</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE .....</b>	<b>vi</b>
<b>Índice de tablas.....</b>	<b>ix</b>
<b>Índice de anexos .....</b>	<b>xii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>xiv</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xv</b>
<b>CAPITULO I.....</b>	<b>16</b>
<b>EL PROBLEMA .....</b>	<b>16</b>
1.1. Identificación del problema .....	16
1.2. Objetivos .....	20
1.2.1. Objetivo General.....	20
1.2.2. Objetivos específicos .....	20
1.3. Justificación .....	20
1.4. Presuposición filosófica.....	22
<b>CAPITULO II .....</b>	<b>23</b>
<b>REVISIÓN DE LA LITERATURA .....</b>	<b>23</b>
2.1. Antecedentes .....	23
2.1.1. A nivel Internacional .....	23
2.1.2. A nivel Nacional .....	26
2.2. Marco Legal .....	28
2.3. Marco Concepto.....	31
2.3.1. Aguas Residuales.....	31
2.3.2. Caudal de aguas residuales .....	32
2.4. Características de aguas residuales .....	33
2.4.1. Características físicas.....	34
2.4.2. Características químicas .....	37
2.4.3. Características biológicas .....	39
2.5. Sistema de tratamiento naturales – Humedales artificiales.....	41
2.5.1. Clasificación de los humedales.....	42
2.5.2. Tipos de Humedales Artificiales .....	43

2.5.3. Sustrato .....	51
2.5.4. Vegetación .....	52
2.6. Modelos matemáticos del diseño de humedales artificial.....	57
<b>CAPITULO III.....</b>	<b>60</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>60</b>
3.1. Datos Generales .....	60
3.1.1. Ubicación.....	60
3.2. Caracterización del agua residual de la caja de registro .....	62
3.3. Cálculo de caudal.....	63
3.4. Diseño de humedales artificiales .....	63
3.4.1. Diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial .....	63
3.5. Diseño de humedales artificiales de flujo superficial .....	66
3.6. Monitoreo de las aguas residuales .....	66
3.7. Diseño Estadístico.....	68
<b>CAPITULO IV .....</b>	<b>69</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>69</b>
4.1. Resultados de Caracterización de aguas Residuales.....	69
4.2. Resultado de Diseño de Humedales artificiales.....	71
4.2.1. Dimensión del humedal artificial subsuperficial y Superficial.....	71
4.2.2. Instalación del humedal artificial.....	73
4.3. Análisis de parámetros pre test y post –test .....	78
4.4. Resultados de la Comparación de los LMP 003-2010-MINAM .....	81
4.4.1. Comparación con SST .....	81
4.4.2. Comparación con DBO <sub>5</sub> .....	82
4.4.3. Comparación con DQO .....	82
4.5. Resultados de eficiencia de remoción en Humedales Artificiales.....	83
4.5.1. Eficiencia en SST - 5 días.....	84
4.5.2. Eficiencia en DBO <sub>5</sub> - 5 días .....	84
4.5.3. Eficiencia de DQO – 5 días .....	85
4.5.4. Eficiencia de SST – 15 días .....	86
4.5.5. Eficiencia de DBO <sub>5</sub> - 15 días .....	86
4.5.6. Eficiencia de DQO – 15 días .....	87

4.6. Análisis estadístico de Humedales artificiales .....	88
4.6.1. Prueba estadística.....	88
4.6.2. KRUSKAL WALLIS para SST.....	89
4.6.3. KRUSKAL WALLIS para DBO <sub>5</sub> .....	90
4.6.4. KRUSKAL WALLIS para DQO.....	92
4.7. Discusión.....	93
4.7.1. Instalación de humedales artificiales .....	93
4.7.2. Eficiencia de remoción .....	94
4.7.3. Análisis estadístico en relación a la especie y tiempo .....	95
<b>CAPITULO V.....</b>	<b>98</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>98</b>
5.1. Conclusiones .....	98
5.2. Recomendaciones .....	100
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>101</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>108</b>



## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Límites Máximos Permisibles para Aguas Residuales .....	30
<b>Tabla 2.</b> Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales.....	31
<b>Tabla 3.</b> Contaminantes de importancia en las aguas residuales .....	34
<b>Tabla 4.</b> Relación con el agua residual y el elemento.....	38
<b>Tabla 5.</b> Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales .....	42
<b>Tabla 6.</b> Sistemas naturales con sus plantas características .....	43
<b>Tabla 7.</b> Ventajas y desventajas de los Humedales FS .....	47
<b>Tabla 8.</b> Ventajas y desventajas de Humedales Artificiales de Flujo Libre (FLS) .....	49
<b>Tabla 9.</b> Especies vegetales utilizadas en humedales artificiales superficiales .....	53
<b>Tabla 10.</b> Especies vegetales utilizadas en los humedales artificiales subsuperficiales ..	53
<b>Tabla 11.</b> Características de especies vegetales .....	54
<b>Tabla 12.</b> Características de las especies <i>schoenoplectus californicus</i> y <i>Hydrocotyle vulgaris</i> .....	56
<b>Tabla 13.</b> Modelo matemático para determinar el área superficial del humedal .....	57
<b>Tabla 14.</b> Modelo matemático de la constante de reacción de primer orden .....	58
<b>Tabla 15.</b> Relación de largo y ancho del humedal artificial.....	59
<b>Tabla 16.</b> Metodología de los análisis de parámetros .....	62
<b>Tabla 17.</b> Superficie del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial .....	64
<b>Tabla 18.</b> Constante de reacción de primero orden ( $T^{\circ}$ ) .....	65
<b>Tabla 19.</b> Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales	65
<b>Tabla 20.</b> Requisito para toma de muestras de agua residual y presentación de las muestras para el momento. ....	67
<b>Tabla 21.</b> Resultados de la caracterización de los parámetros de las aguas residuales.....	69
<b>Tabla 22.</b> Medición de caudal .....	70
<b>Tabla 23.</b> Resultados de los análisis del antes y después del tratamiento (5 días).....	79
<b>Tabla 24.</b> Resultados de los análisis del antes y después del tratamiento (15 días).....	80
<b>Tabla 25.</b> Resumen de prueba de hipótesis para SST .....	89
<b>Tabla 26.</b> Resumen de prueba de hipótesis para $DBO_5$ .....	91
<b>Tabla 27.</b> Resumen de prueba de hipótesis para DQO .....	92

## Índice de figuras

<i>Figura 1.</i> Clasificación e intervalo de tamaño de las partículas presentes en el agua. (Metcalf & Eddy, 1995).....	36
<i>Figura 2.</i> Mapa conceptual de sistema de humedales Artificiales .....	42
<i>Figura 3.</i> Humedal de flujo subsuperficial (Fuente: (Reed, 1995)) .....	44
<i>Figura 4.</i> Humedal superficial de flujo horizontal (Fuente:):.....	45
<i>Figura 5.</i> Humedal sub-superficial de flujo vertical.....	47
<i>Figura 6.</i> Humedal artificial de flujo superficial .....	49
<i>Figura 7.</i> Clasificación de macrófitas: Emergentes (1-4),.....	54
<i>Figura 8.</i> Ubicación de la Investigación,.....	61
<i>Figura 9.</i> Diseño del sistema de humedal artificial. Fuente: Elaboración propia.....	73
<i>Figura 10.</i> Diseño de instalación de los humedales artificial.....	75
<i>Figura 11.</i> Dimensión del Humedal artificial subsuperficial Control (H1).....	76
<i>Figura 12.</i> Dimensión del humedal artificial de flujo subsuperficial con <i>Schoenoplectus californicus</i> (H2).....	77
<i>Figura 13.</i> Dimensión del humedal artificial superficial con <i>Hydrocotyle Vulgaris</i> (H3).....	78
<i>Figura 14.</i> Comparación de SST con los LMP del (H1), (H2) y (H3). .....	81
<i>Figura 15.</i> Comparación de DBO5 con los LMP del (H1), (H2) y (H3). .....	82
<i>Figura 16.</i> Comparación de DQO con los LMP del (H1), (H2) y (H3). .....	83
<i>Figura 17.</i> Eficiencia de remoción de SST en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días .....	84
<i>Figura 18.</i> Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días .....	85
<i>Figura 19.</i> Eficiencia de remoción de DQO en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días .....	86
<i>Figura 20.</i> Eficiencia de remoción de SST en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días .....	86
<i>Figura 21.</i> Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días.....	87
<i>Figura 22.</i> Eficiencia de remoción de DQO en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días .....	88
<i>Figura 23.</i> Comparación de las especies en relación a los SST. ....	90
<i>Figura 24.</i> Comparación de las especies en relación a la DBO <sub>5</sub> .....	91
<i>Figura 25.</i> Comparación de las especies en relación a los DQO .....	92
<i>Figura 26.</i> Muestreo de aguas residuales del sistema de tratamiento .....	120
<i>Figura 27.</i> Almacenamiento de muestras de aguas residuales .....	120
<i>Figura 28.</i> Sistema de tratamiento de humedales artificiales.....	121

Figura 29. Lechos de humedales artificiales .....	121
Figura 30. Instalación de Humedales Artificiales.....	122
Figura 31. Medición de Caudal.....	122
<i>Figura 32. Humedal artificial superficial con la especie <i>Hydrocotyle Vulgaris</i> (Sombrero de agua).....</i>	<i>123</i>
Figura 33. Humedal artificial de flujo subsuperficial Control sin Especie.....	123
Figura 34. Lugar de obtención de especies fitodepuradoras.....	124
Figura 35. Humedal artificial de flujo subsuperficial con la especie.....	124

## Índice de anexos

<b>ANEXO A.</b> Informe de la muestra general de las aguas residuales de la UPeU .....	109
<b>ANEXO B.</b> Informe de la muestra control (1) de las aguas residuales de la UPeU .....	109
<b>ANEXO C.</b> Informe de la muestra “Tatora” (1) de las aguas residuales de la UPeU ..	110
<b>ANEXO D.</b> Informe de la muestra “Sombrero de agua” (1) de las aguas residuales de la UPeU.....	111
<b>ANEXO E.</b> Informe de la muestra de Control (2) de las aguas residuales de la UPeU	112
<b>ANEXO F.</b> Informe de muestra “Tatora (2) de las aguas residuales de la UPeU .....	113
<b>ANEXO G.</b> Informe de muestra “sombrero de agua (2) de las aguas residuales de la UPeU.....	114
<b>ANEXO H.</b> Informe de la muestra Control (3) de las aguas residuales de la UPeU ....	115
<b>ANEXO I.</b> Informe de la muestra de “Tatora” (3) de las aguas residuales de la UPeU	116
<b>ANEXO J.</b> Informe de la muestra de “Sombrero de agua” (3) de las aguas residuales de la UPeU.....	117
<b>ANEXO K.</b> Cadena de Custodia para Aguas Residuales.....	118
<b>ANEXO L.</b> Ficha de ubicación y puntos de monitoreo de los humedales.....	119
<b>ANEXO M.</b> Panel Fotográfico.....	120

## **Símbolos usados**

**MINAM:** Ministerio del medio ambiente

**SST:** Sólidos totales en suspensión

**DQO:** Demanda Química de Oxígeno

**DBO<sub>5</sub>:** Demanda Bioquímica de Oxígeno

**UPeU:** Universidad Peruana Unión

**LMP:** Límites Máximos Permisibles

**ECA:** Estándares de Calidad Ambiental

**H:** Humedal Artificial

**H1:** Humedal artificial de flujo sub superficial Control

**H2:** Humedal artificial de flujo sub superficial con *Schoenoplectus californicus*

**H3:** Humedal artificial de flujo superficial con *Hydrocotyle Vulgaris*

## Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de humedales artificiales de flujo superficial y flujo sub superficial mediante dos especies fitodepuradoras para el tratamiento de las aguas residuales domésticas de la UPeU- FJ. El proyecto se realizó en las inmediaciones del campus universitario. La metodología comprende las siguientes etapas: Primero se caracterizó los parámetros de las aguas residuales de la universidad los cuales forman los datos iniciales, segundo se empleó cálculos matemáticos para la determinación de los diseños y dimensiones de los humedales artificiales, tercero se obtuvo los materiales que requieren las instalaciones de los 3 humedales en el cual se utilizó materiales como tuberías, codos, T, llaves de paso, estructuras, grava de 1" y ½", arena, y entre otros, cuarto se instaló el primer Humedal de flujo sub superficial Control (H1), el segundo Humedal de flujo sub superficial con la especie *Schoenoplectus californicus* (H2) y el tercero Humedal de flujo superficial con la especie *Hydrocotyle vulgaris* (H3). Por último, se hizo el monitoreo de cada humedal con las aguas salientes, después de su tratamiento respectivo en 5 y 15 días de retención hidráulica para su verificación de disminución de los parámetros. Los resultados de los análisis en laboratorio fueron de un 96 % de remoción de los parámetros de (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) en el (H3), 85 %, 88% y 86 % de (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) en el (H2) y 79 %, 81% y 79 % de (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) en el (H1), concluyendo que los humedales son eficientes ya que los parámetros evaluados no superan los límites establecidos por la legislación peruana por tanto son adecuados para la disposición a cuerpos receptores.

**Palabras claves:** Aguas residuales, *Schoenoplectus californicus*, *Hydrocotyle vulgaris*, humedal artificial de flujo sub superficial, humedal de flujo superficial, porcentaje de remoción.

## Abstract

The main objective of this research is to guarantee the efficiency of artificial areas of surface and underground flow through phytopurification species for the treatment of agile domestic residents of UPeU-FJ. The occurrence was in the immediate vicinity of the university project. A methodology included in the following stages: a first characteristic is to characterize the residual waste parameters of the university, what form of data is initiated, in accordance with the mathematical procedures for the determination of two projects and dimensions of artificial matter, and a third Obtain part of the material needed to install two 3 stops, using materials such as pipes, belts, T, grass floors, structures, discs and 1 "and ½" area, among others, to install or first. Verification (H1), according to the second swamp of the subsoil of *Schoenoplectus californicus* (H2) and the third swamp of *Lemna gibba* (H3). Finally, the monitoring of each unharmed area with outgoing agility is carried out in accordance with the respectful treatment in 5 and 15 days of retention to verify two parameters of decrease. The results of the laboratory analysis for a 96% elimination of two parameters (SST, BOD5 and COD) in (H3), 85%, 88% and 86% of (SST, BOD5 and COD), respectively. (H2) and 79%, 81% and 79% of (SST, BOD5 and COD) respectively in (H1), concluding that the unifiers are efficient and that the available parameters exceed the limits of the stable limits of the legislation. Peruvians are, therefore, suitable for disposal in the recipient's body.

**Keywords:** Sewage, *Schoenoplectus californicus*, *lemna gibba*, artificial sub-surface flow wetland, surface flow wetland, percentage of removal.

## **CAPITULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1. Identificación del problema**

Las aguas residuales también llamadas aguas cloacales, a través de los años se ha incrementado debido a la demanda de agua y al crecimiento de la población; las aguas residuales son generadas por el uso de actividades como la industria, comercio, agrícola y uso doméstico los cuales son vertidos a cuerpos receptores (ríos, laguna, lagos y otras superficie) sin ningún tipo de tratamiento, por lo que introduce elementos contaminantes en el agua en consecuencia ocasiona diversos problemas a la salud pública y al medio ambiente degradando los factores ambientales como es el agua, el suelo y el aire.

La (UNESCO, 2017) “clasifica los efectos nocivos del agua residual en tres grupos: para la salud humana, efectos ambientales negativos y repercusiones desfavorables para las actividades económica”. “Los efectos van asociados a enfermedades como el cólera, la diarrea, la disentería, la hepatitis A, la fiebre tifoidea y la poliomiilitis”. (OMS, 2018)

En América Latina el 70 % de población no cuenta con un tratamiento de aguas residuales de manera que no permite realizar el ciclo normal del agua, es decir de agua residual a su estado



natural, por lo que tampoco se puede reutilizar el agua debido a la cantidad de contaminantes presentes en el agua. (Lairos, Morales, y Gonzales, 2015), por otra parte, el 80% de la población de Latinoamericana vive en la ciudad y en su mayoría en asentamientos que se encuentran cerca a fuentes contaminadas y el 70% de las aguas residuales no son tratadas. (Yee-Batista, 2013)

La Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS, 2008) declara que el 747,3 millones de metros cúbicos de agua residuales de uso doméstico, industriales y sociales, los cuales solo el 29,1% de las aguas ingresaron a un sistema para ser tratada, estas plantas tienen deficiencia operativa y de mantenimiento, por otro lado el resto de agua son vertidas a cuerpos receptores (mar, ríos o lagos) donde se infiltran en el suelo y por último es usada de manera clandestina para la agricultura. Puesto que 530 millones de metros cúbicos de aguas residuales llegaron a parar en aguas superficiales alterando la calidad del agua que se usan para diversas actividades económicas y sociales, a ello se le suma la contaminación minera e industrial, provocando así un peligro a la salud pública, genera deterioro de ecosistemas, limitaciones a agroexportación y los tratamientos de aguas residuales incrementan su costo.

Empresas Prestadoras de servicio (EPS) tiene un déficit de cobertura a nivel nacional, la población que no cuenta con esta cobertura disponen las aguas residuales de manera inadecuada; por otro lado las plantas de tratamiento no brindan un servicio adecuado ya que el efluente sobrepasa los límites máximos permisibles (LMP), y no cumplen los estándares de calidad ambiental (ECA), por consiguiente contamina los cuerpos de agua natural; así como la infiltración al subsuelo contaminando las aguas subterráneas, convirtiéndose en focos infecciosos para la población del mismo modo la flora y fauna. (OEFA, 2014)

La Norma Técnica (OS.090, 2006) del Reglamento Nacional de Edificaciones establece que en ningún caso se debe descargar las aguas residuales si no tiene tratamiento, del mismo modo menciona que por lo menos debería de tener el tratamiento primario y si es posible complementar con los siguientes tratamiento como es el secundario o biológico, con el fin de remover la materia orgánica. La norma establece y proporciona los tipos de tratamientos que se debe cumplir con las normas de calidad del cuerpo receptor, los tratamientos se distribuyen en tres procesos: el tratamiento preliminar (Cribas, desarenadores, medidor y repartidores de caudal), el tratamiento primario (tanque imhoff, tanque de sedimentación, tanque de flotación) y el tratamiento secundario (lagunas de estabilización, lagunas anaeróbicas, lagunas aeradas, lagunas facultativas).

Existen varios procesos y tratamiento de aguas residuales de acuerdo a su ubicación geográfica, economía y disposición de terreno. “Una de las tecnologías que se aplica hoy en día a nivel mundial son los humedales artificiales para poblaciones pequeñas, los humedales artificiales se definen como sistemas de depuración donde ocurre un proceso de eliminación de contaminantes” (Salas, 2018)

Los humedales deben mantener una condición saturada con frecuencia y duración, el área se encuentra saturada por aguas superficiales y subterráneas, contiene plantas como espadañas, carrizos, y juncos, estas absorben componentes del agua residual a su vez transfiere oxígeno a la columna de agua y controla el crecimiento de algas debido a que limita la luz solar, hay dos tipos de humedales artificiales: Sistema a flujo libre (FWS) y sistema flujo subsuperficial (SFS).(Lara, 1999)

“El humedal artificial más utilizado es de flujo sub superficial el cual es aplicado en países europeos por ejemplo Inglaterra, Francia, Dinamarca, Alemana e Italia entre otros, así mismo es apropiado para los países latinoamericanos.”(Alarcón, Zurita, Lara, & Vidal, 2018). En Perú todavía se encuentra en fase inicial por lo que es necesario estudios y evaluaciones para concretar el tratamiento de manera eficiente.

En resumen, este problema abarca a nivel mundial por lo que las instituciones tal como la Universidad Peruana Unión Filial Juliaca no se encuentra ajeno al problema de la inadecuada disposición de las aguas residuales.

Es por ello la necesidad seleccionar una técnica adecuada que además de ser económica logre un tratamiento eficiente de las aguas residuales. Los humedales artificiales es un proceso natural de depuración de la materia orgánica y nutriente que se encuentran en el agua, así mismo el tipo de especie a utilizar influye en gran manera en la remoción de los contaminantes por lo que es importante tener en cuenta los factores y condiciones del lugar. Tomando en cuenta, las temperaturas bajas de la ciudad de Juliaca descenden en gran proporción en etapa de invierno, se considera y aplica para la evaluación de los humedales dos especies fitodepuradoras nativas del lugar (*Schoenoplectus californicus* e *Hydrocotyle vulgaris*), en diferentes sistemas de tratamiento: Humedal artificial de flujo sub superficial y humedal de flujo sub superficial respectivamente, para finalmente determinar la eficiencia de remoción de materia orgánica de los elementos (DQO, DBO<sub>5</sub> y SST). El estudio de los humedales artificiales posteriormente puede abrir nuevos campos para la investigación donde se busque una alternativa para el tratamiento de aguas residuales con técnicas innovadoras.

## **1.2.Objetivos**

### **1.2.1. Objetivo General**

Evaluar la eficiencia de humedales artificiales de flujo superficial y flujo sub superficial mediante dos especies fitodepuradoras para el tratamiento de aguas residuales del campus Universitario de la UPeU - FJ.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los parámetros fisicoquímicos y biológicos de las aguas residuales de la Universidad Peruana Unión FJ.
- Diseñar los humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial y de flujo superficial a escala piloto mediante un modelo matemático, con las especies vegetales *Schoenoplectus californicus* (Totora) y *Hydrocotyle vulgaris* (sombbrero de agua) respectivamente.
- Evaluar los humedales artificiales en base al análisis de los parámetros de la materia orgánica (DQO, DBO<sub>5</sub> y SST), y comparar con los Límites Máximos Permisibles N° 003-2010-MINAM.

## **1.3.Justificación**

El agua es un elemento vital para el ser humano, ya que se utiliza para los servicios de higiene, agricultura, ganadería, actividades industriales y consumo humano, el uso del agua para esas actividades altera sus propiedades por lo que se introduce microorganismos patógenos, virus, bacterias, etc. Que contaminan el agua; por consiguiente, trae enfermedades a las personas y altera los factores medio ambientales.

La UPeU FJ se encuentra en desarrollo y la población del campus Universitario ha ido en crecimiento a la par, por lo que la generación de aguas residuales también se ve afectada. La disposición de aguas residuales dentro de la UPeU se encuentra en áreas improvisadas en condiciones inadecuadas y sin tratamiento, se fue incrementando a través del tiempo por lo que nuevas áreas se habilitaron por consiguiente hubo un descontrol y colapso de las aguas residuales, en consecuencia la población del campus universitario se ve afectada por la emanación de olores, proliferación de vectores y deteriorando el ambiente paisajístico; perjudicando la calidad de vida de los estudiantes, residentes del campus y del medio ambiente.

Es por eso la necesidad seleccionar una técnica adecuada que además de ser económica logre un tratamiento eficiente de las aguas residuales. Los humedales artificiales es un proceso natural de depuración de la materia orgánica y nutrientes que se encuentran en el agua, así mismo el tipo de especie vegetal a utilizar influye en gran manera en la remoción de los contaminantes tomando en cuenta los factores y condiciones, cabe mencionar que las temperaturas bajas de la ciudad de Juliaca descenden en gran proporción en etapa de invierno por tal razón la evaluación del humedal artificial Horizontal de flujo subsuperficial y flujo superficial mediante la aplicación de especies fitorepuradoras en la Universidad Peruana Unión, se determinara la eficiencia de remoción de la materia orgánica en un medio natural con las condiciones y criterios necesarios. A su vez se busca incentivar para que posteriormente abra nuevos campos para la investigación que examinen la solución para el tratamiento de aguas residuales con innovadoras técnicas.

#### **1.4.Presuposición filosófica**

El agua fue creada por Dios, según el libro de génesis de la biblia. En la biblia se encuentran versículos relacionados con el agua, en (Job 5:10) señala “El da la lluvia sobre la faz de la tierra, y envía las aguas sobre los campos” nuevamente corroborando su creación de este elemento; En (Salmos 1:3) dice la palabra “Sera como árbol firmemente plantado junto a corriente de agua, que da su fruto a su tiempo, y su hoja no se marchita; en todo lo que hace prospera”, mostrando como una fuente importante; y finalizando con (Juan 7:38) “El que cree en mi como dice la escritura, de su interior correrán ríos de agua viva” demostrando que el agua simboliza algo vital para nuestra existencia tanto física y mental

El agua cumple un ciclo hidrológico en tres estados, solido, líquido y gaseoso. Dios en su poder infinito mando crear el agua y con ello un orden perfecto donde cumple un ciclo en cual se recupera el agua en un estado natural. Sin embargo, nosotros los seres humanos al transcurso del tiempo hemos realizado un uso desmedido de este recurso, al punto de alterar el ciclo hidrológico en los que el agua no vuelva completamente a su estado natural y pura en consecuencia el agua va disminuyendo de manera drástica.

Es por ello que tenemos la importante tarea de cuidar nuestro medio ambiente y con ello el agua, una alternativa para atenuar los daños, son los tratamientos naturales de aguas residuales con especies fitodepuradoras que debido a la interacción con algunos componentes y factores ambientales logran mejorar la calidad del agua y proporcionan nuevos usos.

## **CAPITULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. A nivel Internacional**

Quintero, (2014) realizo una investigación en el Centro de Investigación Santa Lucia (CISL), del Instituto Universitario de la Paz (UNIPAZ); donde evaluó la eficiencia de dos tipos de humedales artificiales. Se construyó en total cuatro humedales artificiales a escala piloto, este sistema consto de dos humedales de flujo subsuperficial y dos humedales de flujo superficial (con sus respectivas pruebas testigos), para esta evaluación se utilizó dos plantas fitodepuradoras *Heliconia Psittacorum Lf* y *Lema Minor* respectivamente. El primer humedal comprende un tratamiento por debajo de la superficie en donde son absorbidos por los vegetales y el segundo humedal se da de forma continua y la circulación es a través de los tallos. Los resultados demuestran que el caudal de ingreso influye en la temperatura interna de los humedales a mayor caudal, menor temperatura y a menor caudal, mayor temperatura, los humedales son eficientes en la remoción de sólidos totales y sólidos sedimentables, los humedales superficiales con

vegetal remueven en un 87% de DBO<sub>5</sub>, y subsuperficial con vegetal más de 90%, concluyendo que los humedales de flujo subsuperficial con vegetación son más eficientes y el *Lenma minor* es de menor eficacia.”

Mena, (2014) realizó una investigación en el que tuvo como objetivo “Evaluar la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedal artificial de flujo sub-superficial horizontal en el Colegio Comfamiliar Siglo XXI de Colombia”, el cual componía de una trampa de grasas, un tanque séptico, un filtro anaeróbico de flujo ascendente y un humedal artificial, se evaluó los parámetros como DBO<sub>5</sub>, DQO, SST nitrógeno total N, aceites y grasas, Coliformes totales y *Escherichia Coli*, se realizó un monitoreo al ingreso y a la salida, como resultado la remoción de 93.89% DBO<sub>5</sub>, 84.98% de DQO y 40% de SST.”

Silván, Ocaña, Margulis, Barajas, y Cerino, (2016), presentan una investigación el cual tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción en los humedales artificiales de flujo libre o superficial (HFL) y humedales artificiales subsuperficial (HFS), utilizando cuatro tipos de especies vegetales en los parámetros de DQO, DBO<sub>5</sub>, SST y entre otros, para su ejecución del estudio se implementaron humedales de flujo superficial con *Thypha domingensis* (espadaño) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y humedales de flujo subsuperficial con *Cyperus articulatus L* (chintul) y *Paspalum paniculatum* (camalote), por otro lado se implementó lagunas sin vegetación y lagunas con grava como controles. Se determinó que el humedal de mayor capacidad de eficiencia fue el de flujo libre con *Thypha domingensis* dando como DQO con 97,8%, DBO<sub>5</sub> con 97,5% y SST con 97% y consiguiente el humedal de flujo subsuperficial aplicando *Paspalum paniculatum* removiendo en un 94,7%; 94,8%; y 93,0% respectivamente,



los (HFL) *Eichhornia crassipes* y (HFS) *Cyperus articulatus* L presenta menor eficiencia en la remoción de contaminantes, finalmente los resultados se utilizaran en el centro Universitario de Villahermosa México.”

Bedoya, Adila, & Reyes (2014), “implemento un sistema de humedal artificial subsuperficial utilizando dos macrófita (*Thypha latifolia* y *Cyperus papyrus*) para el tratamiento de aguas residuales de la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia (IUCMA), se evaluó la eficiencia de los parámetros (DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, Nitrogeno amoniacal, Nitrogeno total, fósforo y otros metales pesados tales como níquel y zinc), ambas especies macrófitas removieron los contaminates de acuerdo a las concentraciones iniciales, cabe resaltar que la especie *Thypha latifolia* obtuvo mejores resultados.”

Cueva & Rivadeneira, (2013)” plantean una investigación en la que analizaron los niveles de concentración del efluente de la hacienda Zoila Luz, los cuales exceden los límites permisibles para la descarga de aguas residuales a cuerpos de agua dulce. Posteriormente el efluente fue tratado mediante Humedales Artificiales, donde los niveles de concentración disminuyeron en un 75% (DBO<sub>5</sub> 37 mg/l, DQO 107 mg/l, Aluminio 1,037 mg/l, Nitrógeno Total 9,872 mg/l, Índice de Coliformes 1,8 x10<sup>8</sup>, Fósforo Total 2,38 mg/l, Sólidos Totales 321 mg/l), pese a que el análisis de varianza no hubo diferencia significativa entre los tratamientos. Concluye que el agua tratada en los humedales está dentro de los límites permisibles para la descarga de aguas residuales a cuerpos de aguas dulces según lo establece el Ministerio de Medio Ambiente, TULAS y la FAO.”

ONU-HABITAD, (2008), “describe el sistema de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Katmandú mediante humedales artificiales, el cual fue construido el 2001, los

componentes de los sistemas son los siguientes: un tanque sedimentador de 40 m<sup>3</sup> y humedal artificial hídrico con lecho de flujo horizontal, seguido por dos lechos de flujo vertical. El área total del humedal artificial es 2628 m<sup>2</sup> (FH - 209 m<sup>2</sup> y FV de 338 m<sup>2</sup>). Los lechos plantados utilizaron la especie *phragmites karka*. Se demostró que desde el año 2001 hasta el año 2006 logra remover 90 % de sólidos totales en suspensión (SST), 95 % de demanda de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>), 95 % de Demanda Química de Oxígeno (DQO) y por último 90 % de Amoníaco y nitrógeno.”

Romero, Colín, Sánchez, & Ortiz, (2012), dentro de su investigación tuvo como objetivo evaluar el porcentaje de remoción de la carga orgánica en un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal con dos especies vegetales. Se instaló tres módulos de manera consecutiva, con la especie *Pharagmites australis* y la especie *Thypa dominguensis* y el tercero con las dos especies, utilizando aguas residuales municipales de un edificio de investigación, se analizó los parámetros de DQO y otros, así mismo se realizó el conteo de bacterias asociadas al sistema, el tratamiento tuvo 5 días de retención hidráulica, obteniendo un 50% de remoción de carga orgánica.

### **2.1.2. A nivel Nacional**

Llagas & Guadalupe, (2006) elaboran un “diseño de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad Universitario de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM), donde se describe la formulación matemática del proceso biológico en el humedal artificial, para obtener la dimensión del humedal se basa en la concentración de la DBO<sub>5</sub>, utilizando el método analítico de Redd y Otros autores. Las dimensiones tuvo una relación de (4:1), estos modelos analizados requieren ser comprobados con datos de campos ya

que estas pueden variar por la temperatura del lugar.” Finalmente se logra obtener el agua para el riego de áreas verdes y áreas destinadas para el servicio de limpieza

Tito, (2015), presenta un estudio realizado en la urbanización de Zárate de San Juan de Lurigancho, su objetivo, evaluar los humedales artificiales con la planta fitodepuradora de *Cyperu alternifolius* para el tratamiento de aguas residuales, este comprende los cálculos matemáticos para el diseño del humedal artificial subsuperficial, las dimensiones se dan de acuerdo al  $DBO_5$ , posteriormente se evalúa el agua mediante un monitoreo de agua para determinar el nivel de indicadores físicos – químicos (SST,  $DBO_5$  y DQO), el humedal artificial que tiene la planta vegetal logra una mayor eficiencia en la remoción de los parámetros de Demanda química de oxígeno (DQO) y demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ ), sin embargo el humedal testigo remueve más sólidos totales suspendidos. Se concluye que el humedal artificial junto con la especie vegetal cumple con la legislación establecida.”

Nuñez, (2017) nos muestra una investigación que tuvo como objetivo: Determinar la eficiencia de las aguas residuales domésticas aplicando humedales artificiales de flujo subsuperficial. La construcción del humedal se determinó mediante la concentración inicial de  $DBO_5$  y el ingreso del caudal. Se evaluó los parámetros físicos (turbidez, pH, conductividad eléctrica, OD, SDT y temperatura), químicos ( $DBO_5$ , DQO, nitrógeno total y fósforo total) y microbiológicos (coliformes totales y fecales), en un antes y un después, los cuales demostraron diferencias significativas, con concentraciones del 96% de  $DBO_5$  y DQO, 78% de nitrógeno total, 88% fósforo total, 55% de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, 61% de oxígeno disuelto, 96% de turbidez, 68% de pH y 100% Coliformes totales y fecales, en conclusión los resultados del antes y después hacen diferencia demostrando así ser eficientes

para remoción de los parámetros evaluados, y a su vez cumple con el D.S. N° 002-2008-MINAM y la modificatoria el Decreto Supremo N° 05-2015-MINAM”.

Torres, Magno, Pineda, & Cruz, (2015) en su investigación plantean un objetivo: Determinar la eficiencia de las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis* en el tratamiento de aguas residuales con humedales artificiales a escala piloto de flujo libre superficial (FLS) en el agua para riego de Carapongo-Lurigancho. Para su evaluación se midieron parámetros como: DBO<sub>5</sub> (270 mg/l); Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes (16x10<sup>7</sup> NMP/100ml), pH (7.8); Temperatura (21°C), Turbidez (130 UNT); los cálculos necesarios como las dimensiones, tiempo de retención hidráulica y velocidad de flujo del sistema son una adaptación de Crites y Tchobanoglous, llamado Small Decentralized Wastewater Treatment Systems. La efectividad del sistema de humedales fue de un 80% de remoción, mientras que para a la determinación de eficiencia de las especies, *Cyperus Papyrus* tiene mayor remoción en la calidad de DBO<sub>5</sub> y turbidez un 77% mayor a *Phragmites Australis*, mientras ésta un 30% mayor en la remoción Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes”. Cabe mencionar que de acuerdo a la Categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales de los ECA para agua D.S. 002-2001.MINAM, los parámetros deben ser: DBO<sub>5</sub> (15ml/L), Coliformes totales (5 000 NMP/100ml) y Coliformes Termotolerantes (1000 NMP/100ml), pH (6.5-8.5).

## **2.2. Marco Legal**

- **LEY GENERAL DEL MEDIO AMBIENTE N° 28611**

Art. 122° “Corresponde a las entidades responsables de los servicios de los saneamientos la responsabilidad por el tratamiento de los residuos líquidos domésticos y las aguas pluviales.” (OEFA, 2014)

- **LEY DE RECURSOS HÍDRICOS N° 29338**

Art. 83° “Está prohibido verter sustancias contaminantes y residuos de cualquier tipo en el agua y en los bienes asociados a ésta los criterios de toxicidad, persistencia o bioacumulación. La autoridad Ambiental respectiva, en coordinación con la Autoridad Nacional, establece los criterios y la relación de sustancias prohibidas.” (OEFA, 2014)

- **REGLAMENTO DE LA LEY N° 29338 – LEY DE RECURSOS HÍDRICOS, APROBADO POR DECRETO SUPREMO N° 001-2010-AG.**

Art. 131° Aguas residuales y vertimiento (Título V de la ley)

“Aguas residuales, aquellas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas, tengan que ser vertidas a un cuerpo natural de agua o reusadas y que por sus características de calidad requieren de un tratamiento previo.” (MINAGRI, 2010)

Art. 132° Aguas residuales domésticas y municipales

132.1 “Las aguas residuales domésticas, son aquellas de origen residencial, comercial e institucional que contienen desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.”(MINAGRI, 2010)

132.2. “Las aguas residuales municipales son aquellas aguas residuales domésticas que puedan incluir la mezcla con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial siempre que éstas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.” (MINAGRI, 2010)

- **DECRETO SUPREMO N ° 003-2010-MINAM:**

Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales: MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE.(MINAM, 2010)

**Tabla 1.**

*Límites Máximos Permisibles para Aguas Residuales*

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UND</b>	<b>LMP DE EFLUENTE</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	und.	6.5 -8.5
Sólidos Totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Adaptación del D.S N° 003-2010-MINAM.

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

Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aguas y establecen Disposiciones complementarias.(MINAM, 2017)

**Tabla 2.**

*Estándares de Calidad Ambiental – Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales*

PARÁMETROS	UND	D1: Riego de vegetales		D2: Bebidas de animales
		Agua para riego no restringido	Agua para riego restringido	Bebidas de animales
Aceite y grasas	mg/L		5	10
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L		15	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L		40	40
Potencial de Hidrógeno (pH)	und.		6,5 – 8,5	6,5 – 8,4
Temperatura	°C		Δ3	Δ3

Fuente: Adaptación del D.S. N° 004-2017-MINAM

- **RESOLUCIÓN MINISTERIAL N ° 273-2013-VIVIENDA:**

Protocolo de Monitoreo de calidad de los efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales – PTAR: MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO.(MVCS, 2013)

### 2.3. Marco Concepto

#### 2.3.1. Aguas Residuales

Según la norma (OS.090, 2006) define “agua que ha sido usada por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico disuelto o en suspensión.”

“El agua residual se clasifica según su origen, la combinación de líquidos y residuos sólidos que se transportan por el agua, provenientes de oficinas, residencias, edificios, comerciales e institucionales, junto con los residuos de las industrias y de actividades agrícolas, así como las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que eventualmente también se agrega a las aguas residuales.” (Mendonca, 2000).

- **Aguas residuales domesticas:** Las aguas residuales domesticas se originan a la llegada de las redes del alcantarillado, proceden de las actividades cotidianas de los hogares, de centros comerciales y lugares como hospitales, colegios y residencias por lo que la composición y cantidad es variada. (Metcalf & Eddy, 1995)
- **Aguas residuales industriales:** Estas aguas son generadas por el uso industrial, donde sufren un proceso de cambios y variaciones en su composición de acuerdo a la industria. (Metcalf & Eddy, 1995)
- **Aguas pluviales:** Se refieres a las aguas provenientes de la lluvia, suelen descargarse en grandes cantidades sobre el suelo y otra parte drena trayendo un conjunto de materia sólidos, arenas, tierra, hoja y otros residuos que se encuentran en el suelo. (Metcalf & Eddy, 1995)

### 2.3.2. Caudal de aguas residuales

Un parámetro importante el cual proporciona la dimensión y modela un sistema de tratamiento de aguas residuales, por otra parte, el caudal es el volumen de agua residual el cual se deberá tratar en un determinado tiempo. (Sainz, 2005)



- **Caudal medio diario:** Dato obtenido de acuerdo al número de pobladores, el promedio del caudal durante las 24 horas en un tiempo determinado, así mismo puede establecer la capacidad de la planta de tratamiento y el coste que se requiere para la implementación de la planta. (Metcalf & Eddy, 1995)
- **Caudal máximo diario:** Caudal a la hora máxima descarga.(OS.090, 2006)

#### **2.4. Características de aguas residuales**

De acuerdo (Metcalf & Eddy, 1995) comprender cada característica del agua residual es básica para la selección y proceso de tratamiento a continuación se menciona los constituyentes:

**Tabla 3.***Contaminantes de importancia en las aguas residuales*

Contaminantes	Parámetro de medida	Contaminantes
Materia orgánica biodegradable	DBO <sub>5</sub> , DQO	Desoxigenación del agua, muerte de peses, generación de olores indeseables.
Sólidos suspendidos	SST, SSV	“Causa turbiedad en el agua, deposita lodos.”
Patógenos	CF	Hace el agua insegura para el consumo y recreación, produce enfermedad.
Iones hidrógeno	pH	Riesgo potencial para organismos acuáticos.
Energía térmica	T°	“Reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua, acelera el crecimiento de organismo acuático.”
Nutrientes	C, N y P	Nutrientes descargadas en agua residual producen crecimiento de vida acuática indeseable, y si se descargan en cantidades excesivas sobre el suelo puede producir polución del agua subterránea.

Fuente: (Romero J. , 2005)

**2.4.1. Características físicas**

#### ***2.4.1.1.Turbidez:***

La turbidez es medida de manera visual del material suspendido en el agua, también de acuerdo a ellos se puede determinar e indicar la calidad del agua residual que son vertidos después de tratamiento. (Romero J. , 2005)

#### ***2.4.1.2.Color:***

El color del agua indica el tiempo de estado que se encuentra dentro del almacén es decir el color gris es el agua de ingreso y medida que pasa el tiempo se torna a color oscuro, esto debido a la formación de sulfuro metálico esto por la descomposición de las bacterias y la disminución de oxígeno disuelto. (Romero J. , 2005)

#### ***2.4.1.3.Olor***

Los olores son producidos debido a la emanación de gases producto de la degradación de la materia orgánica, a causa de ello tiene un olor característico poco agradable de sulfuro de hidrógeno (Metcalf & Eddy, 1995)

#### ***2.4.1.4.Temperatura***

El agua residual se caracteriza por tener la temperatura más elevada que al abastecimiento, a causa de la descarga del agua proveniente de los hogares que utilizan agua caliente o de aquellas empresas industriales; el agua tiene mayor temperatura que el aire durante casi todo el año. (Metcalf & Eddy, 1995)

#### ***2.4.1.5.Espumas***

Las espumas dentro del agua residual es un indicador de contaminación producido por la disminución de tención superficial, por otro lado, en zonas residenciales la presencia de la espuma se da debido al uso de detergentes y proteínas. (Sainz, 2005)

### 2.4.1.6. Sólidos totales

Los sólidos totales hacen referencia tanto a las que logran disolver y a las suspendidas, se determina mediante ensayos de evaporación a una temperatura de 103° y 105° centígrados de acuerdo a la relación de peso o volumen. (Terence, 1999)

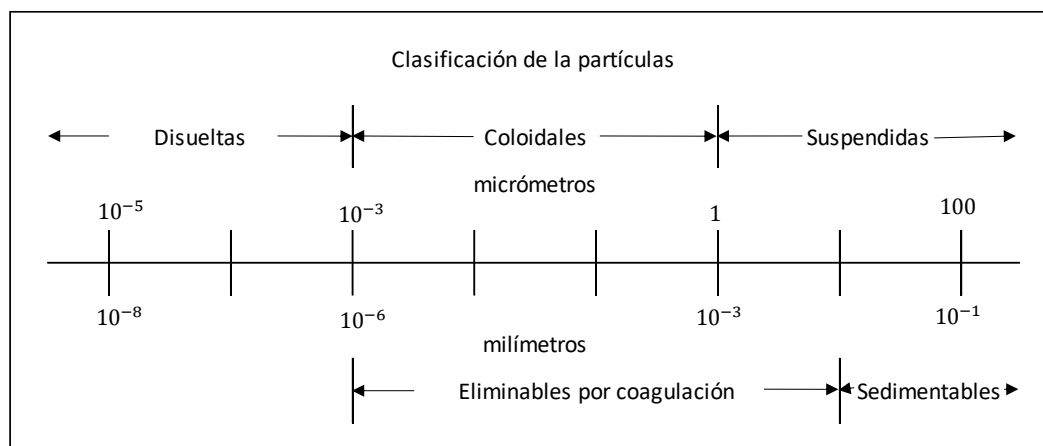


Figura 1. Clasificación e intervalo de tamaño de las partículas presentes en el agua. (Metcalf & Eddy, 1995)

- **Sólidos suspendidos:** Se presenta de mayor tamaño, usualmente logra la separación del líquido de manera fácil y a su vez puede ser observada a la vista de las personas. (Terence, 1999)
- **Sólidos sedimentables:** Los sólidos decantan por acción de la gravedad, los lodos que se encuentran en el fondo suelen ser la medida de volumen para su depuración. (Metcalf & Eddy, 1995)
- **Sólidos filtrables:** “Esta se compone de sólidos coloidales y disueltos, debido a que sus partículas tienen un diámetro entre  $10^{-3}$  y 1 micra.” (Metcalf & Eddy, 1995)
- **Sólidos disueltos:** “Los sólidos disueltos es la composición de materia coloidal o soluble en el agua que generalmente requiere oxidación biológica o coagulación y sedimentación para la remoción de la materia.” (Romero J. , 2005)

## **2.4.2. Características químicas**

### ***2.4.2.1. Materia Orgánica***

“La materia orgánica está compuesta en un 90% por carbohidratos, proteínas, grasas y aceites provenientes de excrementos y orina de seres humanos, restos de alimentos y detergentes. Estos contaminantes son biodegradables, es decir, pueden ser transformados en compuestos más simples por la acción de microorganismos naturales presentes en el agua, cuyo desarrollo se ve favorecido por las condiciones de temperatura y nutrientes de las aguas residuales domésticas.” (Metcalf & Eddy, 1995)

### ***2.4.2.2. Demanda bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)***

“La cantidad de oxígeno usado en este proceso es denominada demanda química de oxígeno.” (Terence, 1999). “Se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la acción de oxidación bioquímica aerobia.” (Ramalho, 1996)

“La DBO<sub>5</sub> en condiciones de laboratorio se cuantifica a 20°C y el ensayo estándar se realiza en cinco días de incubación y se le conoce convencionalmente como DBO<sub>5</sub> con valores numéricos expresados generalmente en mg O<sub>2</sub>/l, este parámetro es usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales, para determinar la cantidad de oxígeno requerido para estabilizar biológicamente la materia orgánica del agua para diseño de unidades de tratamiento biológico, para evaluar la eficiencia de los tratamientos y para fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras.” (Romero J. , 2005)

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

“La demanda química de oxígeno (DQO) corresponde al volumen de oxígeno requerido para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato, en medio ácido.” (Ramalho, 1996).

“Se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente mediante un agente químico oxidante fuerte, generalmente bicromato de potasio, en un medio ácido y a alta temperatura, así mismo para la oxidación de ciertos compuestos orgánicos resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata, la DQO es útil como parámetro de concentración orgánica en aguas residuales industriales o municipales tóxicas a la vida biológica y se puede realizar en solo una 3 horas.” (Romero J. , 2005)

#### **2.4.2.4. Materia inorgánica**

“Los componentes inorgánicos en el agua dan a conocer la calidad en que se encuentra. Las concentraciones de constituyentes inorgánicos aumentan, igualmente debido al proceso natural de evaporación que elimina parte del agua superficial y deja sustancias inorgánicas en el agua”. (Metcalf & Eddy, 1995)

#### **Tabla 4.**

*Relación con el agua residual y el elemento.*

Elemento	Relación con el agua Residual
Alcalinidad	Es provocada por la presencia de hidróxidos, carbonatos y bicarbonatos de elementos como el calcio, el magnesio, el sodio, el potasio o el amoníaco. Amortiguador contra ácidos producidos por acción bacterial en sistemas anaeróbicos o de nitrificación. Las aguas residuales se deterioran su pH

---

	desciende a causa de la producción de ácidos orgánicos por metabolismo bacterial.
Oxígeno disuelto	El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de microorganismos aerobios, así como otras formas de vida.
Cloruros	Se encuentran producto de la disolución de suelos y rocas que los contengan y que están en contacto con el agua la siguiente fuente es la descarga de aguas residuales domésticas, etc.
Nitrógeno	Esencial para el crecimiento de protistas y plantas, en el agua residual está presente principalmente como amonio o constituyente de proteínas. Es básico para la síntesis de proteínas
Fósforo	Es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológico. Tiene una tendencia de proliferación de algas. En el agua residual se encuentra como fosfato – las sales de ácido fosfórico.

---

Fuente: (Metcalf & Eddy, 1995) (Terence, 1999)

### **2.4.3. Características biológicas**

#### **2.4.3.1. Algas**

“Son microorganismos sintéticos que pueden producir oxígeno y masas celulares orgánicas de químicos inorgánicos fotosintéticos” (Terence, 1999).

“Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables, se da un crecimiento exponencial o explosivos son característicos de los llamados lagos eutróficos, que son lagos con

gran contenido en compuestos necesarios para el crecimiento biológico.” (Metcalf & Eddy, 1995)

#### **2.4.3.2. Bacterias**

Las bacterias pueden clasificarse en cuatro grandes grupos: esferoidales, bástón, bástón curvado y filamentosas como se menciona en la siguiente tabla (Metcalf & Eddy, 1995).

- *Escherichia coli*
- *Legionella pneumophila*
- *Leptospira*
- *Salmonella typhi*
- *Shigella*
- *Vidrio cholerae*
- *Yersinia enterolítica*

#### **2.4.3.3. Virus**

“Los virus son partículas parasíticas formadas por un cordón de material genético ácidos desoxirribonucleicos (ADN) o ácido ribonucleico (RNA) con una capa de recubrimiento proteínico, así mismo los virus excretados por los seres humanos pueden representar un importante peligro para la salud pública.” (Metcalf & Eddy, 1995)

- Adenovirus
- Enterovirus
- Hepatitis A
- Agente Norwalk



- Reovirus
- Rotavirus

#### **2.4.3.4. Protozoos**

“Son microorganismos eucariotas el cual su estructura está formada por una sola célula abierta, la mayoría de los protozoos son aerobios o facultativamente quimioheterótrofos anaeróbios, los protozoos se alimentan de bacterias y otros microorganismos microscópicos, dentro de ellos están las amebas, los flajelados y los ciliados libres y fijos. (Metcalf & Eddy, 1995)

- *Balantidium coli*
- *Cryptosporidium*
- *Entamoeba histolytica*
- *Guardia lamblia*

#### **2.5. Sistema de tratamiento naturales – Humedales artificiales**

Los humedales son zonas que se inundan periódicamente con una frecuencia y profundidad tales que estimulan el crecimiento de una vegetación específica adaptada a las condiciones de los suelos saturados. Los humedales se forman naturalmente como zonas de transición entre ecosistemas acuáticos y las tierras altas. “Al ser sistemas artificiales estos permiten sus modificaciones por lo que se establece una clasificación basada en el tipo de macrófitas, recordemos que los humedales establecen su función principal de depuración de las aguas residuales por las macrófitas que se desarrollan en los mismos; por lo que según la clasificación es a partir del tipo de macrófitas utilizadas”. (Arias & Brix, 2003)

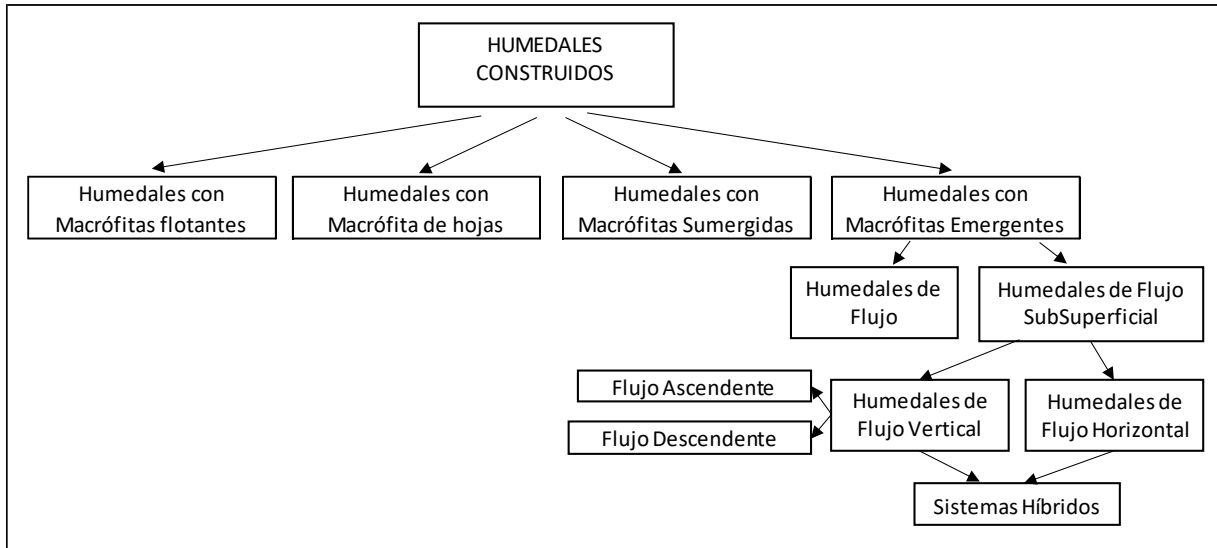


Figura 2. Mapa conceptual de sistema de humedales Artificiales

### 2.5.1. Clasificación de los humedales

Estos procesos de fitorremediación suelen darse mediante una secuencia natural en la cual no interviene ningún aditivo químico son ejecutados por sinergia el sistema natural es nulo en cuanto al consumo energético y mayor superficie, del mismo modo que la inversión es moderada ya que el mantenimiento necesita poco personal. (Garcia & Corzo, 2008)

Tabla 5.

*Clasificación de los sistemas naturales de tratamiento de aguas residuales*

SISTEMAS NATURALES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				
BASADOS EN LA APLICACIÓN DEL AGUA EN TERRENO		BASADOS EN LOS PROCESOS QUE SUCEDEN EN LA MASA DE AGUA		
Aplicación subsuperficial	Aplicación Superficial	Sistemas con plantas flotantes	Lagunaje natural	Humedales construidos flujo superficial
Zanjas y lechos filtrantes Humedales	Filtros verdes, infiltración-			

construidos flujo subsuperficial	percolación y Filtros de arena
-------------------------------------	-----------------------------------

Fuente: (García Serrano y Corzo Hernández, 2008)

“La clasificación de humedales artificiales se da por las características de la especie vegetal”:

**Tabla 6.**

*Sistemas naturales con sus plantas características*

Nº	HUMEDALES	MACRÓFITA
1	Humedales construidos basados en macrófitas flotantes	<i>Eichhornia crassipes, lemna minor</i>
2	Humedales constituidos basados en macrófitas de hojas flotantes	<i>Nymphaea alba, Potamogeton gramineus.</i>
3	Humedales construidos con macrófitas sumergidas	<i>Littorella uniflora, Potamogeton crispus</i>
4	Humedales construidos con macrófitas emergentes	<i>Thypha latifolia, Phragmites australis.</i>

Fuente: (Arias & Brix, 2003)

### 2.5.2. Tipos de Humedales Artificiales

Los humedales artificiales están constituidos de lagunas o canales profundos, tiene una profundidad menos de 1 m, donde se planta los vegetales propios de la zona para luego realizar el tratamiento mediante la interacción con el agua, el sustrato sólido, los microorganismos, e incluso la fauna. (García & Corzo, 2008) , dentro de esto pasa procesos físicos, biológicos y químicos para obtener un efluente depurado. (Rabat, 2016)

### 2.5.2.1. Humedales artificiales de flujo subsuperficial (HAFS)

Los humedales artificiales subsuperficiales son diseñados para depurar las aguas grises, está constituido por una cama en el cual se encuentra un medio filtrante, los sustratos más utilizados en Europa y Estados Unidos es la roca triturada, grava, arena y entre otros materiales del suelo, las especies o vegetación generalmente son emergente y el nivel del agua se mantiene por debajo de la superficie del medio para prevenir los mosquitos y olores que pueden perjudicar a la población. El tratamiento se basa en la actividad que realiza los microorganismos que se adhieren al sustrato. (USEPA, 2000) Donde se forma una biopelícula que va creciendo en el sustrato y las plantas para luego depurar el agua. (Garcia & Corzo, 2008)

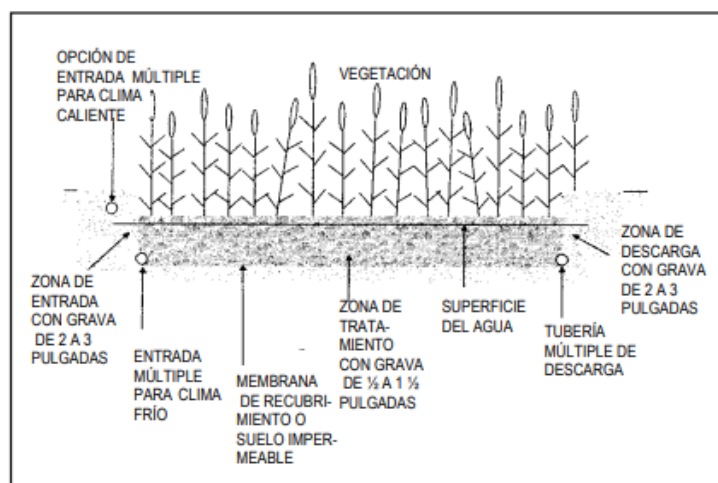


Figura 3. Humedal de flujo subsuperficial (Fuente: (Reed, 1995))

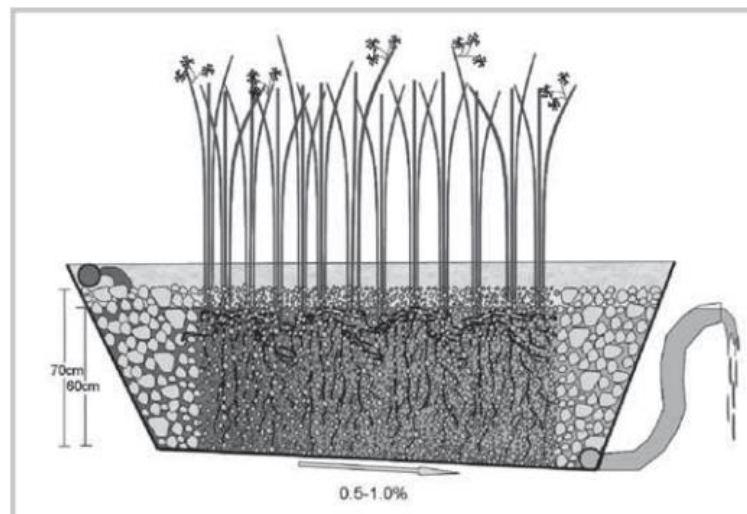
De acuerdo a la (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) pueden ser dos tipos de humedales de flujo subsuperficial horizontal t humedal subsuperficial de flujo vertical.

### 2.5.2.2. Humedales subsuperficiales de flujo horizontal (HA FSSH)

En estos humedales el agua residual suele circular de manera horizontal a través de las plantas y el sustrato o medio granular, tiene una profundidad de agua entre 0,3 y 0,9 m, está constantemente inundados el agua se encuentra entre 0,05 y 0.1 m por debajo de la superficie y

a su vez esta con carga de alrededor de  $6 \text{ g DBO}_5/\text{m}^2$ . (Garcia & Corzo, 2008), por otro lado (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010) menciona que el humedal se aplica mediante un tubo de drenaje cribado por consiguiente el agua se va tratando por el medio poroso (flujo pistón), se encuentra rodeado de grava de igual tamaño esto en el inicio y salida del humedal que suele estar entre 50mm a 100mm, el área donde se planta los vegetales tiene un solo diámetro que oscilan entre 3mm a 32mm, para el humedal se considera una pendiente entre 0,5 % a 1% a más detalles en la figura N°4 . En resumen, los componentes del humedal artificial de flujo horizontal son los siguientes elementos según (Garcia & Corzo, 2008):

- Estructuras de entrada del afluente
- Impermeabilización del fondo y laterales ya sea lamina sintética o arcilla compactada
- Medio granular
- Vegetación emergente típica de la zona
- Estructuras de salida regulables para controlar el nivel del agua



*Figura 4.* Humedal superficial de flujo horizontal (Fuente:)

(Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

### ***2.5.2.3. Humedales subsuperficiales de flujo vertical (HHAA FSS)***

Este humedal fue desarrollado en Europa para producir efluentes nitrificados, siendo un complemento del humedal artificial de flujo horizontal siendo su sucesión para el proceso de nitrificación y desnitrificación, el agua circula de forma vertical su profundidad del medio granular oscila entre 0,4 y 0,8 m, y operan con cargas de alrededor de 20g DBO<sub>5</sub>/m<sup>2</sup> día. Esa compuesta de los siguientes elementos: (Garcia & Corzo, 2008)

- Estructuras de entrada del afluente
- Impermeabilización
- Medio granular
- Vegetación
- Estructuras de salida

Está compuesto por filtros intermitentes el agua residual se da de arriba hacia abajo a través de un sistema de tuberías de aplicación de agua, esta infiltran verticalmente mediante sustrato como la arena y gravas para finalmente recogerse en un drenaje ubicada en el fondo del humedal, para favorecer las condiciones del medio poroso se puede colocar un sistema de aeración con chimeneas, el medio granular se compone desde las más finas en parte superior que va incrementado de diámetro hacia la parte de abajo. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

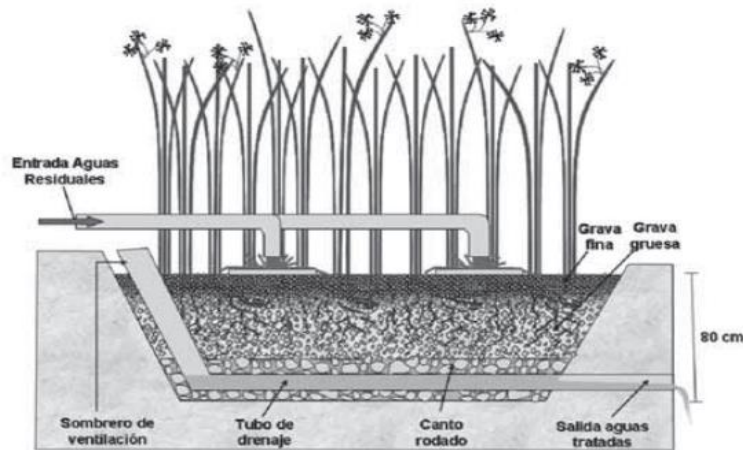


Figura 5. Humedal subsuperficial de flujo vertical

(Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010))

Los humedales de flujo horizontal son aplicables para poblaciones pequeñas y medianas ( $\leq 227,100$  l/d), así mismo remueven de manera confiable en  $DBO_5$ , la DQO y los SST y con tiempos de retención suficiente largos también puede producir bajas concentraciones de nitrógeno y fósforo.

**Tabla 7.**

*Ventajas y desventajas de los Humedales FS*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>Tratamiento efectivo minimiza la necesidad de equipos mecánico, electricidad y monitoreo por parte de operarios calificados</p> <p>La inversión económica es menos en cuanto a la construcción, la operación y mantenimiento.</p>	<p>El área que requiere es amplia a comparación con los sistemas convencionales de tratamiento.</p> <p>El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por eso se acumulan con el tiempo.</p>

---

Tiene efectividad en la remoción de la DBO<sub>5</sub>, DQO y SST e incluso los metales y alguno compuesto orgánico refractarios de las aguas residuales domésticas, pero la remoción de nitrógeno y fósforo a bajos niveles es también posible, pero se requiere un tiempo de retención mucho mayor.

El tratamiento terciario avanzado es posible durante todo l año en clima cálidos o semicálidos

Los humedales no producen biosólidos ni lodos residuales que requerirían tratamiento subsiguiente y disposición.

El tratamiento secundario es posible durante todo el año con excepción de los climas fríos.

Si el sistema funciona adecuadamente los mosquitos y otros vectores no son un problema con los humedales

En épocas frías del año la remoción de DBO<sub>5</sub>, NH<sub>3</sub> y NO<sub>3</sub>, sin embargo, si el tiempo de retención es mayor puede remover, así mismo en climas extremadamente fríos no puede ser factible en el punto de vista económico o técnico.

El agua del humedal es anóxica por lo que el potencial de nitrificación del amoniaco es limitado

La reducción de coliformes fecales es menor por tanto de recomienda la desinfección con luz ultravioleta el cual ha sido utilizada dando buenos resultados.

El costo en cuento a la grava del medio del humedal puede ser alto en caso de 227,00 l/d.

---

Fuente: (UNESCO, 2017)

#### ***2.5.2.4.Humedales de flujo superficial (FLS)***

Los humedales artificiales de flujo libre superficial también conocido por sus ciclas en inglés (FLS, free wáter surface wetlands) es mayormente utilizada en tratamientos naturales, estos humedales son praderas inundadas pero puede ser fagales y zonas pantosas, fluye sobre la superficie del suelo con vegetación desde un punto de entrada hasta un punto de descarga, tienen un recubrimiento de fondo para prevenir la percolación al agua freática susceptible a



contaminación, y una capa sumergida de suelo para las raíces de la vegetación macrófita seleccionada. (USEPA, 2000)

El sistema de estructuras de entrada y salida para asegurar la distribución uniforme del agua residual, normalmente se alimenta en forma continua y el tratamiento se produce durante el flujo del agua a través de los tallos y raíces de la vegetación. (Osnaya , 2012)

El agua circula a través de los tallos de las plantas y se expone al ambiente natural, este sistema es la modificación de sistemas de lagunas convencionales, tiene una profundidad de menores de 0,6 m. (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

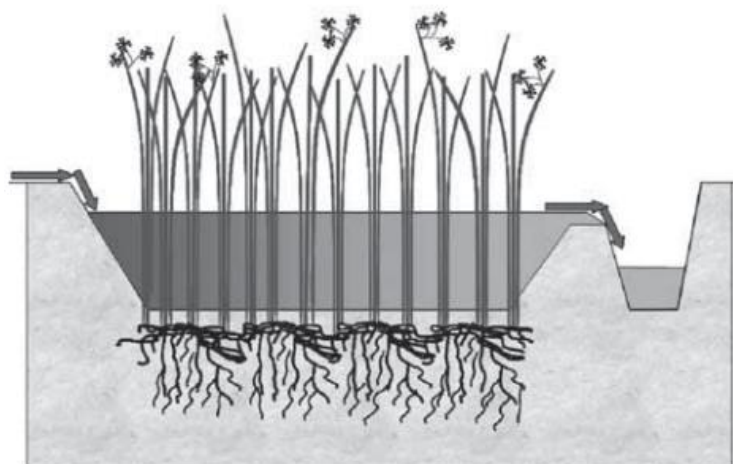


Figura 6. Humedal artificial de flujo superficial

**Tabla 8.**

*Ventajas y desventajas de Humedales Artificiales de Flujo Libre (FLS)*

<b>VENTAJAS</b>	<b>DESVENTAJAS</b>
Reduce la necesidad de quipos mecánicos, eléctricos y monitoreo por parte de los operadores adiestrados.	EL área que requiere es amplia y más aún si se quiere remover nitrógenos o fósforos.

---

Son económicos al momento de construir, operar y mantener a comparación de los tratamientos mecánicos.

El tratamiento secundario es adecuado durante casi todo el año a excepción de las temporadas de bajas temperaturas, y a nivel terciario es posibles durante todo el año.

Brinda un ambiente verde en la comunidad a su vez proporciona habitat para los animales silvestres y recreación pública.

El sistema de tratamiento no produce biosólidos por lo que no será necesario tratamiento posterior.

La remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST, metales y compuestos orgánicos de las aguas residuales domesticas pueden lograr un buen funcionamiento con un tiempo de retención adecuado, así mismo en cuanto al nitrógeno y fósforo puede darse siempre y cuanto tenga mayor retención.

La remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y nitrógeno son continuos y renovables. El fósforo, los metales y algunos compuestos orgánicos persistentes que son removidos permanecen en el sistema ligados al sedimento y por eso se acumulan con el tiempo.

En temporadas de bajas temperaturas disminuye la remoción de DBO<sub>5</sub> y reacciones biológicas responsables por la nitrificación y desnitrificación. Sin embargo, con un tiempo mayor de retención puede mejorar.

En estos humedales usualmente el agua es esencialmente anóxica, por lo que limita el potencial de nitrificación rápida del amoníaco, se recomienda abarcar área o buscar métodos alternos de nitrificación.

La proliferación de vectores como mosquitos y otros insectos puede perjudicar y causar problemas.

Puede que no cumpla con los estándares que establece el municipio de los coliformes fecales, por lo que se recomienda añadir la desinfección, también las aves o animales silvestres puede perjudicar ya que estos producen residuos fecales.

En caso de que el humedal se encuentre cerca de un aeropuerto puede ser un problema por la presencia de aves en el humedal.

### 2.5.3. Sustrato

El sustrato en los humedales artificiales puede ser como el suelo, arena, grava, roca y material orgánico, la baja velocidad del agua y restos de vegetación generan sedimentos y restos de vegetación, el sustrato, sedimentos y restos de vegetación, estos son importantes por lo siguiente (Lara, 1999):

- Toleran los organismos que hay dentro del humedal
- Puede intervenir en el movimiento del agua debido a la permeabilidad del sustrato.
- El sustrato es importante ya que dentro de esto ocurren transformaciones químicas y biológicas.
- Muchos de los contaminantes se almacenan en los sustratos.
- Por último, el resto de vegetales acumula materia orgánica, y la materia orgánica da paso al intercambio de materia, la fijación de microorganismos, y es una fuente de carbono la cual produce energía para realizar reacciones biológicas importantes.

El sustrato aporta de manera indirecta la eliminación de contaminantes ya que sirve de soporte de crecimiento de las plantas y colonias de microorganismo que llevan a cabo la actividad biológica, (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010), cabe mencionar que si los sustratos se inundan pueden alterar sus características, el sustrato saturado, el agua reemplaza los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano consume el oxígeno disponible y aunque se presenta dilución de oxígeno de la atmósfera, da lugar a formación de sustrato anóxico este es importante para la remoción de nitrógeno y metales. (Lara, 1999)

#### 2.5.4. Vegetación

La vegetación se constituye prácticamente de las raíces y rizomas enterrados, las plantas son autótrofos en otras palabras ellos recogen la energía solar en el cual realiza una transformación de carbono inorgánico en carbono orgánico, por otra parte logra transferir el oxígeno de la atmosfera a través de sus hojas y tallos hasta llegar a las raíces del vegetal, esta transferencia crea regiones aeróbicas donde los microorganismos adquieren oxígeno para luego cumplir con su función de degradar la materia orgánica o contaminantes presente el en agua residual. (Arias & Brix, 2003). Las plantas emergentes aportan el tratamiento del agua residual y la escurrentía en diferentes maneras. (Lara, 1999).

- Estabilizar el sustrato y limitan la canalización del flujo
- Dan lugar a velocidades de agua baja y permiten que los materiales suspendidos se depositen.
- Toman el carbono, nutrientes, y elementos de traza y los incorpora a los tejidos de la planta.
- Transfieren gases entre la atmosfera y los sedimentos.
- El escape de oxígeno desde las estructuras subsuperficiales de las plantas oxigena otro espacio dentro del sustrato.
- El tallo y los sistemas de la raíz dan lugar a sitios para la fijación de microorganismos
- Cuando se mueren y se deterioran dan lugar a resto de vegetación.

La tabla 6 y tabla 7 son más utilizadas a nivel internacional y el sistema al cual corresponde cada especie vegetal. (Watson, Kadlec, & Whitehead, 1989)

**Tabla 9.***Especies vegetales utilizadas en humedales artificiales superficiales*

Sistema de flujo superficial	
Nombre científico	Nombre común
<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto o lirio acuático
<i>Lemma sp</i>	Lenteja de agua
<i>Wolffia sp</i>	
<i>Pistia stratiotes</i>	Lechuga de agua
<i>Hydrilla verticillata</i>	
<i>Limnobium stoloiferum</i>	Cucharita, Chulicastle tostón
<i>Lemma sibba</i>	lenteja de agua

**Tabla 10.***Especies vegetales utilizadas en los humedales artificiales subsuperficiales*

Sistema de flujo subsuperficial (especies emergentes)	
Nombre científico	Nombre común
<i>Typha angustifolia</i>	Tule
<i>Typha latifolia</i>	Tule, espadaña
<i>Scirpus sp</i>	Tule, junco
<i>Carex sp</i>	Junco
<i>Eleocharis sp</i>	Junco
<i>Juncus sp.</i>	Junco
<i>Arundo donax</i>	Caña
<i>Pragmites communis</i>	Carrizo
<i>Phragmites australis</i>	Carrizo
<i>Schoenoplectus californicus</i>	Junco

<i>Cyperus papyrus</i>	Papiro
<i>Zantedeschia aethiopica</i>	Alcatraz o cala

La selección de macrófitas está a función del tipo de humedal artificial:

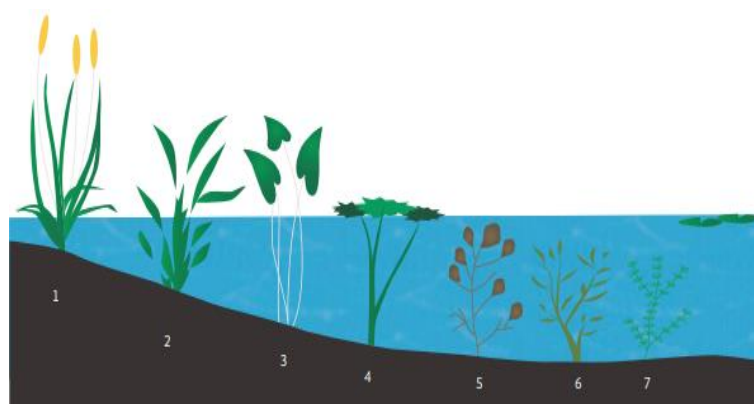


Figura 7. Clasificación de macrófitas: Emergentes (1-4),  
sumergidas (5-7), flotantes (8), Fuente: (Odum , 1972)

- Humedal de flujo superficial: Se utiliza macrófitas sumergidas, flotantes y/o emergentes
- Humedal de flujo subsuperficial: Se utiliza macrofitas emergentes. (Estrada, 2010)
- La zona o ubicación del lugar con las condiciones climáticas y la temperatura en la cual la vegetación o macrófitas se adapta.

### Tabla 11.

#### *Características de especies vegetales*

Nombre científico	Nombre Común	Clima	Temperatura ambiental óptima para su desarrollo
sistema de flujo subsuperficial (especie emergente)			

<i>Arundo donax</i>	Caña	Cálido, templado	Tolera temperaturas en el rango de 5°C y 35°C, aunque prefiere temperatura entre los 9°C y 28.5°C
<i>Cyperus albobstriatus</i>	Papiro paraguíta	Cálido	tolera temperaturas de 20 a 33°C
<i>Glyceria máximos</i>	Gramínea glicería acuática	Frío	
<i>Iris pseudacorus</i>	Lirio amarillo	Frío	Puede soportar heladas, aunque no es recomendable que tengan temperaturas inferiores a - 8 °C
<i>Scirpus sp</i>	Junco	Templado	16°C - 27°C.
<i>Phragmites australis</i>	Carrizo	Frío	12 -23 °C, tolera hasta - 5°C
<i>Typha angustifolia</i>	Totora, espadaña		
<i>Zantedeschia aehiopica</i>	Alcatraz o cala	Cálidos y templados	Tolera hasta -5°C
Sistema de flujo superficial (especies flotantes o sumergidas)			
<i>Eichornia Crassipes</i>	Lirio acuático	Tropical y subtropical	22.5°C - 35°C.2
<i>Lemma spp</i>	Lenteja de agua	Se adapta a todos los climas, menos a lo muy frío	8°C - 20°C, tolera hasta 0°C
<i>Pistia Stratiotes</i>	Lechuga de agua	Tropical y subtropical	Su temperatura mínima de crecimiento es de 15°C y la óptima de crecimiento es de 22 a 30 °C.

Fuente: (CONAGUA)

#### 2.5.4.1. *Schoenolpectus Californicus (Totora)*

Se puede encontrar con diferentes denominaciones científicas de acuerdo al país o lugar donde se encuentra en las regiones de América se nombra como *Schoenolpectus californicus* y la *Scirpus californicus*. («Typha - EcuRed», s. f.), su crecimiento se basa en la estación del año en invierno el crecimiento disminuye sin embargo siempre se encuentra en crecimiento constante pese a lo lento que puede mostrar. (Tur & Rossi, 1976) y en la siguiente tabla se muestra las características de la planta. («Totoras», s. f.) («Junco Schoenolpectus Californicus», s. f.)

#### 2.5.4.2. *Hydrocotyle Vulgaris (Sombrero de agua)*

Es una planta acuática, se recomienda para estudios de contaminación debido a su crecimiento exponencial, la resistencia a la exposición de contaminantes (Sánchez, Gonzáles, & Miranda, 2012).

Es una planta perenne; los tallos muestran hojas suborbiculares, crenadas, en su base tienen dos estípulas membranáceas de aproximadamente 1mm, florecen en el mes de mayo a octubre, puede llegar a alcanzar 10 cm de altura y 50 cm de anchura. (Berastegi & Rabina del Río, 2014)

**Tabla 12.**

*Características de las especies schoenolpectus californicus y Hrydrocotyle vulgaris*

Especie	<i>Shoenolpectus californicus</i>	<i>Hydrocotyle Vulgaris</i>
Nombre común	Totora o Junco	Sombrerillo de agua
Reino	Plantae	Plantae
Filo	Angiospemaes	Spermatophyta



Genero	Schoenoplectus	Hydrocotyle
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Magnoligsiola	Magnoliopsida
Orden	Poales	Apiales
Familia	Cyperaceae	Apiaceae
Altura de la planta	2 m – 3 m	10 cm
Habitad	El habitat natural de esta planta se da en lagunas, zonas pantosas, huachagues y blasares de la costa y sierra del Perú.	“Aparece en zonas encharcadas de bordes de zonas higroturbosas y orillas de lagos y balsas.”

Fuente: (Curt-Fernandez de la mora, 2005), (Berastegi & Rabina del Río, 2014)

## 2.6. Modelos matemáticos del diseño de humedales artificial

**Tabla 13.**

*Modelo matemático para determinar el área superficial del humedal*

SUPERFICIE O ÁREA DEL HUMEDAL ARTIFICIAL				
Según EPA 1993, (RAS, 2000)	Según la Reed et al.	Según Kadlec	Según Romero	Ley de Darcy
$A_s = \frac{Q * (LnCo - LnCe)}{(K_{V,T} * D * n)}$	$A_s = \frac{Q * Ln\left(\frac{Co}{Ce}\right)}{Kt * h * n}$	$A_s = \frac{Q}{Ka} Ln\left(\frac{Co - C^*}{Ce - C^*}\right)$	$A_s = \frac{V}{y}$	$A_c = \frac{Q}{Ks * S}$
<b>Donde:</b>				
A <sub>s</sub> = Área superficial del humedal m <sup>2</sup>	Co = Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente, (mg/l)		y = Profundidad del agua	
Q = Caudal del afluente, (l/s) (m <sup>3</sup> /d)	Ce = Concentración de DBO <sub>5</sub> en el efluente, (mg/l)		Ks = Conductividad hidráulica (m/s)	

$K_{v, T}$ = Constante cinética de primer orden, $d^{-1}$	$C$ = Concentración de fondo, (g/m)	$S$ = Pendiente del humedal (m/m)
$D$ = Propuesta de profundidad de lecho, m	$h$ = Profundidad promedio del sistema, (m)	$A_c$ = Área vertical en $m^2$
$n$ = Porosidad, fracción	$V$ = Volumen humedal ( $m^3$ )	

**Tabla 14.**

*Modelo matemático de la constante de reacción de primer orden*

CONSTANTE DE REACCIÓN DE PRIMER ORDEN ( $T^\circ$ )				
(EPA, 1993), (CONAGUA)	(Reed, 1995)	Kadlec	(EPA, 1993)	RAS 2000
$K_{v, t}$ $= K_{V,20} \theta^{T-20}$	$K_T$ $= K_{20}(1,06)^{(T-20)}$	$K_A$ $= (K_{A,20})\theta^{(T-20)}$	$K_T$ $= K_{20}(1,1)^{(T-20)}$	$K_T$ $= 1,104 \cdot (1,06)^{T-20}$
Donde: $T$ = Temperatura promedio del agua, $^\circ C$ $\theta$ = Coeficiente de Arrhenius	La $K_{A,20}$ Se da de acuerdo a los parámetros (m/año).	La $K_{A,20}$ Se da de acuerdo a los parámetros (m/año).	$K_{20}$ Arena media = 1,18 Arena gruesa = 1,35 Gravilla arenosa = 0,86	$T$ = Temperatura del agua.

**Tabla 15.**

*Relación de largo y ancho del humedal artificial*

RELACIÓN DE LARGO Y ANCHO DEL HUMEDAL			
EPA, 1988 y Romero		Ley de Darcy	
Ancho	Largo	Ancho	Largo
$a = \frac{At}{h}$	$l = \frac{A_s}{a}$	$w = \frac{A_c}{h}$	$L = \frac{A_s}{W}$
Donde:	Donde:	Donde:	Donde:
At = área de la sección transversal del lecho (m <sup>2</sup> )	At = área superficial del humedal (m <sup>2</sup> )	W = ancho del humedal (m)	L= largo del humedal (m)
h = profundidad del humedal (m)	a = ancho del humedal	Ac= área vertical en m <sup>2</sup>	A <sub>s</sub> = área superficial del humedal (m <sup>2</sup> )
		h = profundidad del humedal (m)	W = ancho del humedal (m)

### **CAPITULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1.Datos Generales**

##### **3.1.1. Ubicación**

El estudio se realizó en el Campus de la Universidad Peruana Unión – FJ, provincia de San Román, distrito de Juliaca perteneciente al departamento de Puno, con las siguientes coordenadas geográficas UTM:

##### ***3.1.1.1.Ubicación Geográfica:***

❖ Latitud : 15°30'44.17"S

❖ Longitud : 70°10'45.27"O

❖ Hemisferio : Sur

##### ***3.1.1.2.Coordenadas UTM***

❖ Datum : WGS 84

❖ Zona : 19L

- ❖ Hemisferio : Sur
- ❖ Norte : 8284701.779 N
- ❖ Este : 373529.215 E
- ❖ Altitud Media : 3842.159 m.s.n.m.

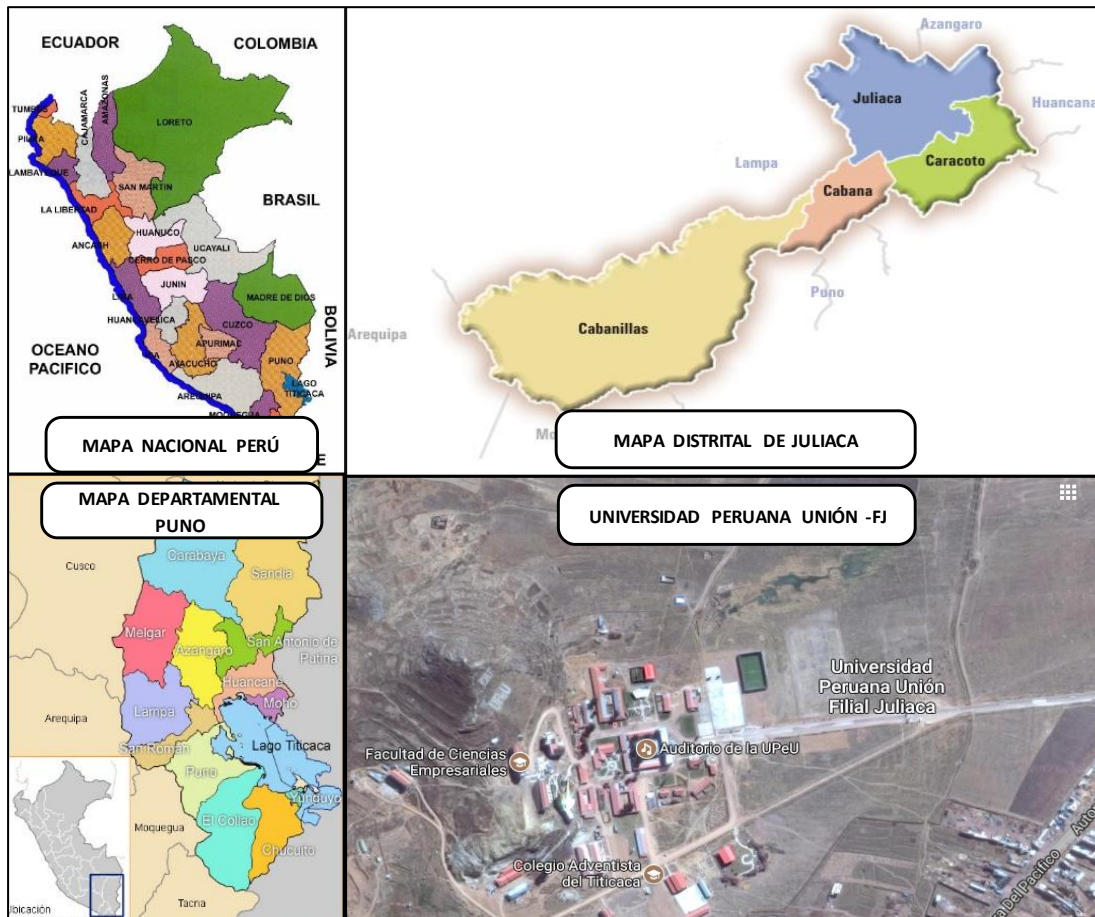


Figura 8. Ubicación de la Investigación,

Fuente: Google Earth (2019)

Asimismo, los análisis de caracterización, parámetros fisicoquímicos y microbiológicos fueron analizados en los laboratorios de saneamiento ambiental, y monitoreo ambiental de la UPEU y algunos parámetros en el laboratorio B&C SAC.

### 3.2. Caracterización del agua residual de la caja de registro

Para la recolección de las muestras en primer lugar se realizó visitas in situ para la identificación de los puntos de muestreo, segundo, las muestras de aguas residuales se obtuvieron de la caja de registro (disposición final del agua residual) en envases de vidrio estériles de 500 ml de acuerdo a los parámetros analizados (Tabla 16). Los resultados fueron comparados con los Límites Máximos Permisibles N° 003-2010-MINAM para así determinar si las muestras sobrepasan dichos límites establecidos, de manera, que se pueda aplicar el tratamiento del efluente, a su vez los resultados fueron usados como punto de partida para el diseño y cálculos hidráulicos de los humedales artificiales. Las metodologías y técnicas que se emplearon para el análisis de los parámetros se describen a continuación:

**Tabla 16.**

*Metodología de los análisis de parámetros*

<b>Parámetros</b>	<b>EPA/APHA</b>	<b>Métodos</b>	<b>Equipos</b>	<b>UND.</b>
Temperatura	150.1 EPA	Multiparámetro	Potenciómetro de mesa	°C
pH	170.1 EPA	Multiparámetro	Termohidrómetro de mesa	–
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	5210 B APHA	Incubación (5 días, 20°C)	Incubadora	mg/l
Demanda Química de Oxígenos (DQO)	5220 C APHA	Volumétrico	Bureta	mg/l
Sólidos en Suspensión	160.2. EPA 2540.21 APHA	Secado a 103 - 105°C	Balanza analítica	mg/l

Fuente: (Métodos Normalizado para el Análisis de Aguas portables y Residuales APHA y Agencia de protección Ambiental EPA)

### 3.3.Cálculo de caudal

El caudal de descarga doméstica fue determinado por el método de aforamiento el cual consistió en colocar un recipiente de volumen 10 ml, luego se procedió a cronometrar el tiempo de llenado del recipiente y partir de estos datos realizar los cálculos con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/s)

V: volumen (m<sup>3</sup>)

t: tiempo (s)

### 3.4.Diseño de humedales artificiales

#### 3.4.1. Diseño de humedales artificiales de flujo subsuperficial

Para este humedal de flujo subsuperficial se empleó la especie endémica *Schoenoplectus Californicus* más conocido por su nombre común como la “Totorá”. El diseño del humedal se aplicó mediante modelos matemáticos, los cuales son mencionados en las tablas del 17 – 20; a continuación, se muestra el procedimiento para determinar las dimensiones del humedal.

##### 3.4.1.1. Superficie del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial

Para la determinación de la superficie o área del humedal artificial se utilizó la fórmula matemática que se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 17.**

*Superficie del humedal artificial de flujo horizontal subsuperficial*

---

**Según EPA 1993, (RAS, 2000)**

---

$$A_s = \frac{Q * (LnC_o - LnC_e)}{(K_{v,t} * D * n)}$$

---

**Donde:**

Q: caudal del efluente (l/s o m<sup>3</sup>/d)

Ce: Concentración de DBO en el efluente (mg/l)

Co: Concentración material orgánica afluyente (mg/l)

K<sub>v,t</sub>: Constante cinética de primer orden

D: Profundidad de lecho (m)

n : Porosidad, fracción

As: Área superficial del humedal m<sup>2</sup>

### ***3.4.1.2. Constante cinética de reacción de primer orden***

En los humedales de flujo subsuperficial:  $K_{v, 20}$  es igual a 1.104 d<sup>-1</sup>, con q igual a 1.06; para los humedales de flujo superficial, se utilizó el mismo valor de q, con  $K_{v, 20}$  igual a 0.678 d<sup>-1</sup>, Según Reed and Brown (1995).



**Tabla 18.***Constante de reacción de primero orden ( $T^\circ$ )*

<i>(EPA, 1993), (CONAGUA)</i>	<i>(Reed, 1995)</i>
$Kv, t = K_{V,20} \theta^{T-20}$	$K_T = K_{20}(1,06)^{(T-22)}$

**Donde:**

$$K_{V,A}: 1,104 \text{ d}^{-1}$$

 $\theta$ : 1.06 (Coeficiente de Arrhenius)

T: Temperatura promedio del agua

**3.4.1.3. Sustrato**

Para determinar el sustrato correcto se realizó pruebas de conductividad y porosidad del sustrato (grava), para la cual se consideró el valor conductual por 1/3 o bien por 0.1 (10%), esto para evitar atascamiento.

**Tabla 19.***Materiales empleados en el diseño y construcción de humedales horizontales*

<b>Tipo de material</b>	<b>Tamaño efectivo S10 (mm)</b>	<b>Conductividad</b>	<b>Porosidad, n %</b>
		<b>hidráulica, ks (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/d)</b>	
Arena gruesa	2	100-1.000	28-32
Arena Gravosa	8	500-5.000	30-35
Grava fina	16	1.000-10.000	35-38
<b>Grava media</b>	<b>32</b>	<b>10.000-50.000</b>	<b>36-40</b>

Roca gruesa	128	50.000-250.000	38-45
-------------	-----	----------------	-------

Fuente: (Delgadillo, Camacho, Pérez, & Andrade, 2010)

#### 3.4.1.4. Relación Largo – Ancho

La relación ancho y largo del humedal se basa en una proporción de L: W = 3:1, ya que son tres lechos.

$$A = \left(\frac{As}{3}\right)^{0.5} \quad \text{Ecuación 2}$$

### 3.5. Diseño de humedales artificiales de flujo superficial

Para el diseño del humedal artificial de flujo superficial, se utilizó los mismos modelos matemáticos que se emplearon en el modelo anterior (Humedal artificial subsuperficial), en caso de la superficie del humedal, cabe mencionar que la constante cinética de reacción de primer orden cambia ya que la constante  $K_{20}$ , es diferente. Este sistema no contempla un medio poroso o sustrato debido a que es de flujo libre.

La especie que se aplicó a los humedales de flujo superficial fue el *Hydrocotyle vulgaris* conocido por el nombre común (sombrero de agua).

De acuerdo a Brownn (1994) y Reed (1995) el valor de  $\Theta$  es el mismo que se utiliza en el humedal del flujo subsuperficial es decir 1.06, sin embargo, para el valor de la constante  $K_{v, 20}$  es igual a  $0.678 \text{ d}^{-1}$ .

### 3.6. Monitoreo de las aguas residuales

Para realizar el monitoreo de aguas residuales, se colectaron muestras de cada humedal (3 muestras) tomando como registro la fecha y la hora del muestreo, establecido en protocolo

peruano: **Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA**: Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las Plantas de tratamiento de las aguas residuales Domésticas o Municipales – PTAR

Se tomó las correspondientes consideraciones para cada muestreo:

- Adecuado recipiente
- Toma de muestras de agua residual
- Preservación de muestras
- Etiquetado y rotulado de las muestras de aguas
- Llenado del formato de cadena de custodia
- Conservación y transporte de las muestras.

**Tabla 20.**

*Requisito para toma de muestras de agua residual y presentación de las muestras para el momento.*

<b>Determinación /Parámetro Físicoquímico</b>	<b>Recipiente</b>	<b>Volumen mínimo de muestra</b>	<b>Preservación y concentración</b>	<b>Tiempo máximo de duración</b>
Temperatura	P, V	1000 ml	No es posible	15 min
pH		50ml	No es posible	15 min
DBO <sub>5</sub>	P, V	1000 ml	Refrigerar a 4 °C	48 horas
DQO	P, V	100 ml	Analizar lo más pronto posible, o agregar H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	28 días

			hasta pH<2; refrigerar a 4°C	
Sólidos suspendidos	P, V	1000 ml	Refrigerar a 4°C	7 días
Totales (SST)				

---

Datos obtenidos en (MVCA) P: frasco de plástico o equivalente V: frasco de *vidrio*

Los análisis se realizaron de según el Standard Methods for the Examination of wáter and Wastewater.,(APHA, AWWA, & WPCF, 1992)

### 3.7.Diseño Estadístico

Se aplicó análisis de varianza de un solo factor y asimismo con pruebas no paramétricas (KRUSKAL WALLIS) para pruebas independientes, mediante el cual se determinó la eficiencia de la remoción de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST en los humedales de flujo horizontal subsuperficial y flujo superficial, a nivel de significancia de 5%.

## CAPITULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Resultados de Caracterización de aguas Residuales

Los resultados iniciales de los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos se muestran en la tabla 21.

**Tabla 21.**

*Resultados de la caracterización de los parámetros de las aguas residuales*

<b>Caracterización de los parámetros de las Aguas Residuales de la UPeU -FJ</b>						
<b>Parámetros</b>	<b>UND.</b>	<b>Valor</b>				<b>LMP*</b>
		<b>Media</b>	<b>Varianza</b>	<b>Des. Estándar</b>	<b>Coef. de variación</b>	
<b>Químicos</b>						
DBO	mg/L	342.33	160.33	12.66	0.04	100

DQO	mg/L	497.67	44.33	6.66	0.01	200
A y G	mg/L	0.879167	3.7633E-06	0.001940	0.002207	20
<b>Físicos</b>						
pH	und.	7.703	0.062	0.248	0.032	6.5- 8.5
T°	°C	16.767	1.403	0.248	0.015	<35°
SST	mL/L	405.000	9.000	3.000	0.007	150
<b>Microbiológicos</b>						
Coliformes	NMP/100mL	2350000	5000000000	70710.68	0.030090	10000

\*LMP: Límites máximos Permisibles N° 003-2010-MINAM

La medición del caudal se realizó, en horas de la mañana de 8:00 a 10: am y por la tarde 2:00 a 4:00 pm, como se muestra en la tabla 22, donde se muestra que el caudal más elevado fue del humedal 3 (H3), cuya medición se realizó por la mañana y el caudal más bajo registrado fue del humedal 2, medición realizada por la tarde.

**Tabla 22.**

*Medición de caudal*

HORA	CAUDAL (ml)		
	H1	H2	H3
8:00 - 10:00	0.005	0.004	0.008
2:00 - 4:00	0.002	0.001	0.005

## 4.2. Resultado de Diseño de Humedales artificiales

En base al resultado del primer análisis de las aguas residuales, se podrá obtener las dimensiones correspondientes para cada humedal, a continuación, la tabla 23 presenta los parámetros de diseño.

**Tabla 23.**

*Parámetros de diseño*

Caudal	:	0.009	m <sup>3</sup> /d
DBO e	:	300	mg/l
DBO s	:	342.3	mg/l
Ce	:	40	mg/l
T° del agua	:	16.9	°C
T°	:	16	°C
h (Altura)	:	0.2	M
Pendiente	:	0.01	Cm
Porosidad	:	0.36	N
Conductividad Eléctrica	:	10 000	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d

### 4.2.1. Dimensión del humedal artificial subsuperficial y Superficial

#### a. Constante de primer orden (T°)

Según Reed

$$K_T = K_{20} (1,06)^{T-22}$$

<b>K<sub>T</sub> =</b>	<b>0.87</b>
------------------------	-------------

#### b. Tiempo de retención Hidráulica

$$TRH = \frac{\ln C_i - \ln C_e}{K_T}$$

<b>TRH =</b>	<b>2.45497804</b>
--------------	-------------------

**c. Superficie del Humedal dado por RAS, 2000**

$$As = \frac{Q * (LnCo - LnCe)}{(K_T * h * n)}$$

<b>As =</b>	<b>0.293233 m<sup>2</sup></b>
-------------	-------------------------------

**d. Dimensión del humedal en relación L: W = 3:1**

$$A = \left(\frac{As}{3}\right)^{0.5}$$

<b>A =</b>	<b>0.312641 m</b>
------------	-------------------

**Ancho**

<b>W =</b>	<b>0.312641 m</b>
------------	-------------------

**Largo**

$$L = 3 * W$$

<b>L =</b>	<b>0.93792 m</b>
------------	------------------

**Largo/Ancho (cm) - Resultado**

<b>W</b>	<b>31.26411616</b>	<b>cm</b>
<b>L</b>	<b>93.79234848</b>	<b>cm</b>

Las dimensiones para el diseño y construcción del humedal artificial se dan de acuerdo al ingreso del efluente del agua residual del campus universitario, dadas las ecuaciones la



relación de ancho y largo es de 31 cm y 94 cm respectivamente, por lo que se determinó que la instalación del humedal es de 46 cm de ancho y de longitud de 68 cm.

#### 4.2.2. Instalación del humedal artificial

El sistema del humedal artificial comprende 3 módulos, el sistema de tratamiento es dado mediante un proceso gravitatorio del agua residual es decir el tanque de agua residual se encuentra en una estructura elevada el cual distribuye a los lechos o humedales, el ingreso del caudal previo a cada tratamiento se reguló mediante el método de aforo con apoyo de tres llaves de paso. No obstante, el tanque de almacén de agua residual requirió limpieza cada 5 días ya que el sistema no cuenta con un tratamiento primario, por otra parte, la limpieza de malezas dentro del humedal sub superficial fue necesaria cada 15 días.

Los humedales están compuestos de tuberías PVC de 1", codos de 1", tubería en T de 1", llaves de paso de 1" que controlan el caudal de ingreso.

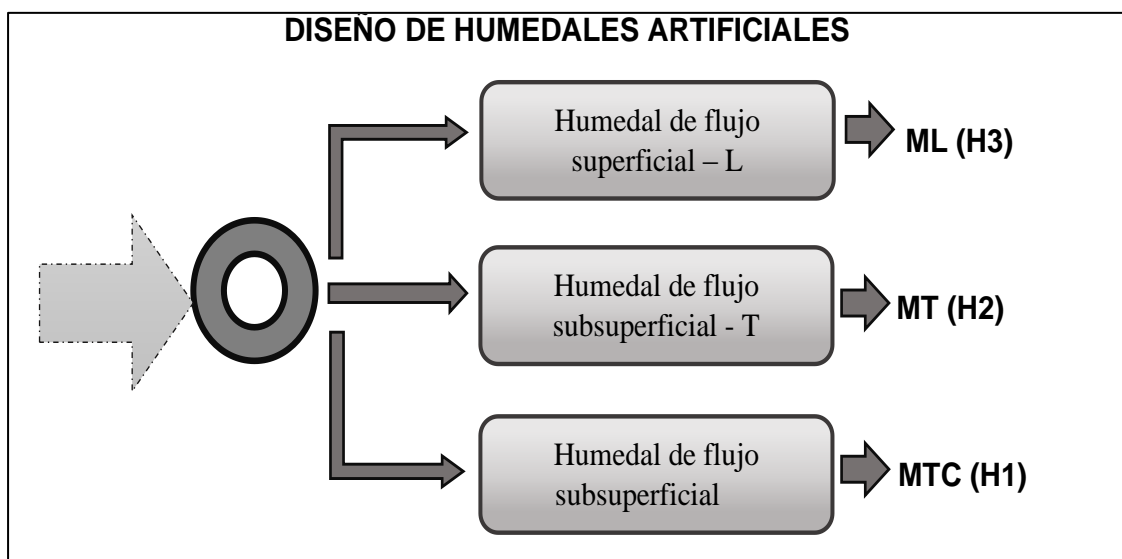


Figura 9. Diseño del sistema de humedal artificial. Fuente: Elaboración propia

- **Humedal 1 (H1)**

El humedal (H1) es de flujo subsuperficial figura 11, no tiene ninguna especie puesto que es un humedal testigo, contiene un medio filtrante (piedras) al ingreso y salida con piedras de 2” mientras que el centro piedras de 1”. Las piedras fueron extraídas del río Maravillas de la ciudad de Juliaca.

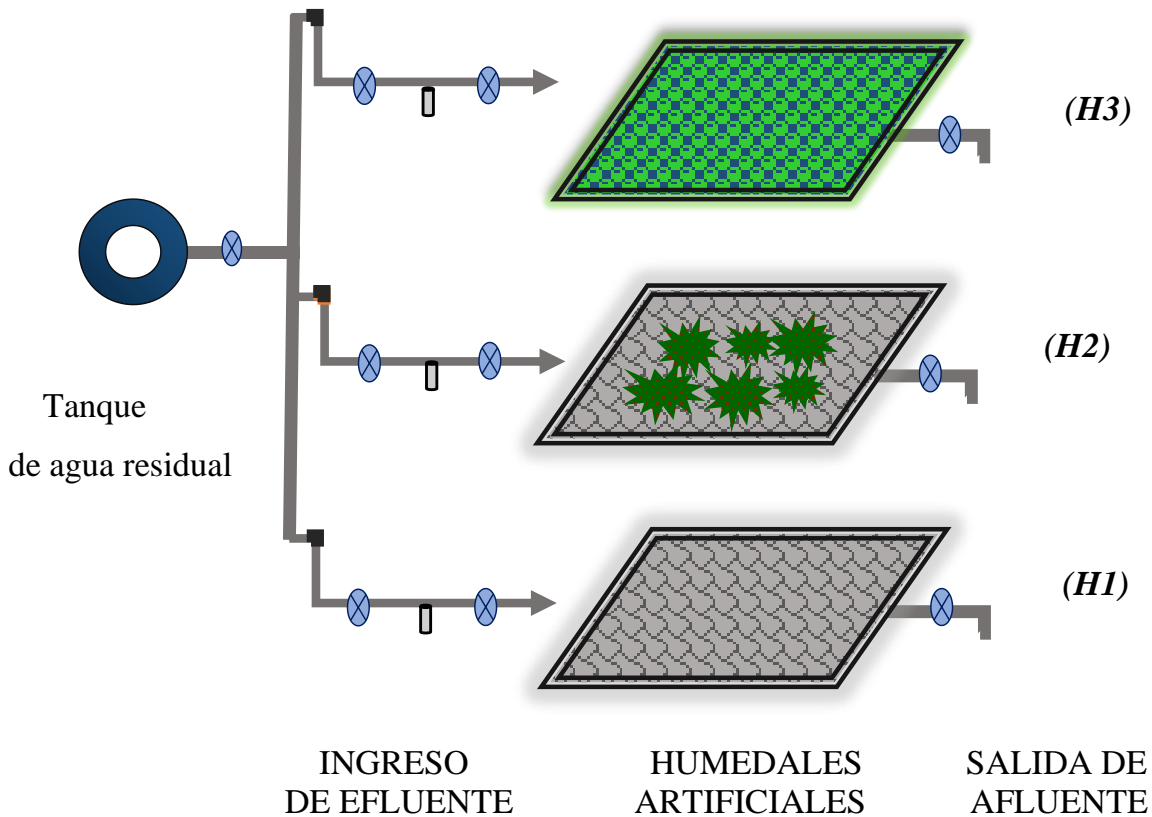
- **Humedal 2 (H2)**

El humedal (H2), comprende un medio filtrante tal y como el humedal testigo, sin embargo, esta tiene la especie fitodepuradora (*Schoenoplectus Californicus*) dentro del humedal tal como se muestra en la Figura 12.

- **Humedal 3 (H3)**

El ultimo humedal es de flujo superficial vale decir que no contiene sustrato o medio filtrante más si contiene agua residual ya que la especie fitodepuradora es flotantes (*Hydrocotyle Vulgaris*) el cual es distribuido en todo el humedal.

## DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES PARA AGUAS RESIDUALES – UPeU FJ








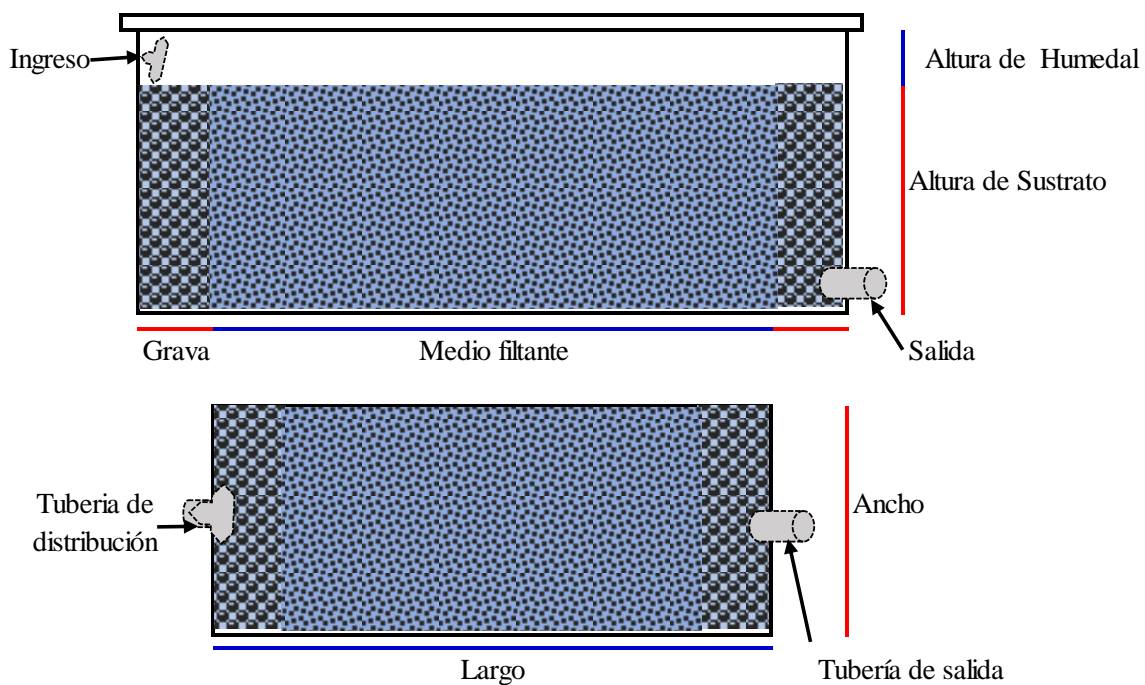
	Humedal artificial superficial – <i>Hydrocotyle Vulgaris</i>
	Humedal artificial subsuperficial – <i>Schoenoplectus californicus</i>
	Humedal artificial subsuperficial – Control
	Tubería PVC
	Llave de paso – control

Figura 10. Diseño de instalación de los humedales artificial

### DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES SUBSUPERFICIAL- UPeU FJ

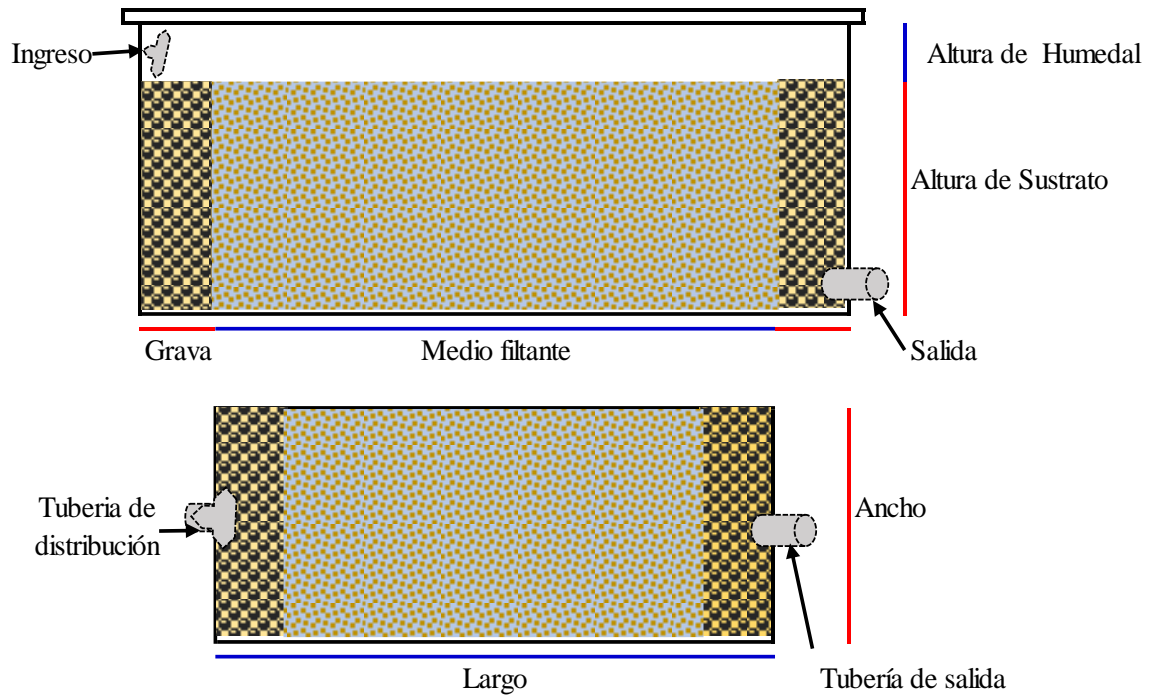


#### *Dimensión del humedal 1 (H1)*

Altura del humedal	30 cm
Ancho del humedal	46 cm
Largo del humedal	68 cm
Altura del sustrato	15 cm
Grava gruesa	1"
Medio filtrante	½"
Tubería de ingreso T	1"
Tubería de salida	1"

Figura 11. Dimensión del Humedal artificial subsuperficial Control (H1)

## DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES SUBSUPERFICIAL (Totora) – UPeU FJ



### Dimensión del humedal 2 (H2)

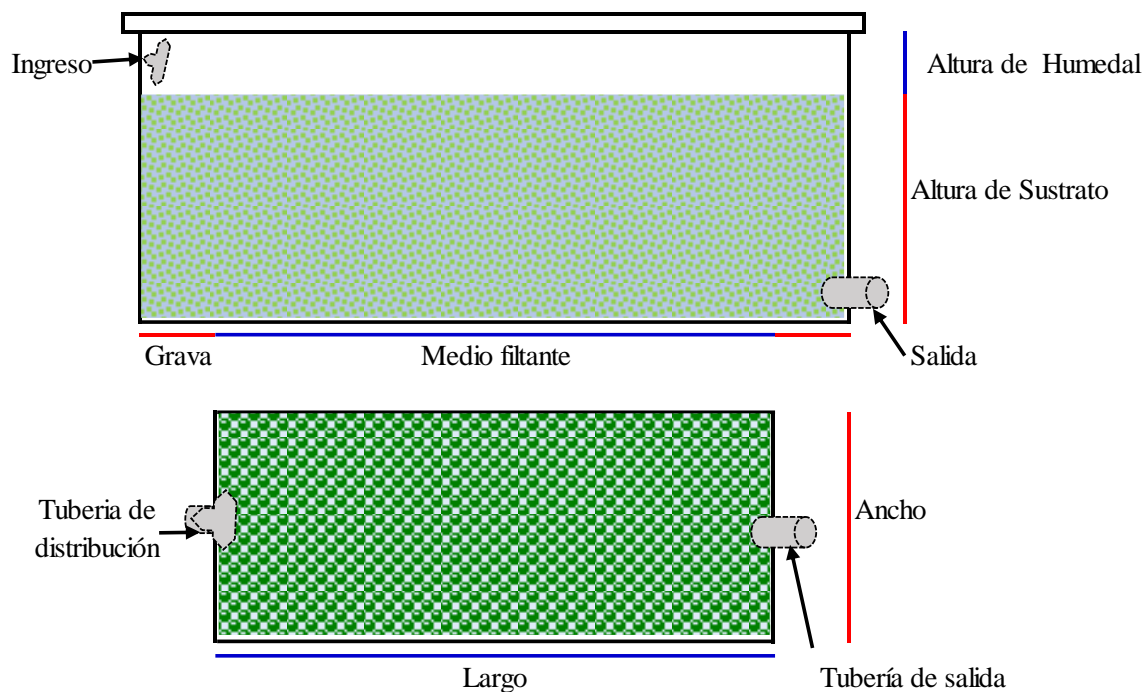
Altura del humedal	30 cm
Ancho del humedal	46 cm
Largo del humedal	68 cm
Altura del sustrato	18 cm
Grava gruesa	1"
Medio filtrante	1/2"
Tubería de ingreso T	1"
Tubería de salida	1"

*Schoenoplectus  
Californicus*



Figura 12. Dimensión del humedal artificial de flujo subsuperficial con *Schoenoplectus californicus* (H2)

### DISEÑO DE HUMEDALES ARTIFICIALES SUPERFICIAL (Sombbrero de agua) – UPeU FJ



#### Dimensión del humedal 3 (H3)

Altura del humedal	30 cm
Ancho del humedal	46 cm
Largo del humedal	68 cm
Altura del sustrato	18-20 cm
Tubería de ingreso T	1"
Tubería de salida	1"

#### *Hydrocotyle Vulgaris*



Figura 13. Dimensión del humedal artificial superficial con *Hydrocotyle Vulgaris* (H3)

### 4.3. Análisis de parámetros pre test y post –test

Representa el ingreso y salida del agua residual, estos puntos son importantes para verificar los niveles de remoción de materia orgánica del agua residual. Por lo que se realizó el análisis de los parámetros que consta la investigación, primero se realiza el análisis de agua residual

antes de ingresar a los humedales (sin tratamiento) y el segundo después del proceso de tratamientos de los humedales.

En la tabla 23 señala los parámetros que se analizó en el laboratorio de un antes y después durante 5 días de retención, el agua residual sin tratamiento ingreso en total de Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 405 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 342 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 498 mg/L; para el humedal subsuperficial (**H1**) control fue Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 92 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 83 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 124 mg/L; para el humedal subsuperficial (**H2**) con la especie *Schoenoplectus Californicus*, Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 71 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 57 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 91 mg/L, y finalmente el humedal superficial (**H3**) con la especie *Hydrocotyle Vulgaris* fue Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 18 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 12 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 20 mg/L.

**Tabla 23.**

*Resultados de los análisis del antes y después del tratamiento (5 días)*

<b>HUMEDALES ARTIFICIALES UPEU</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Unidades</b>	<b>Efluente UPeU</b>	<b>H. Subsuperficial</b>		<b>H. Superficial</b>
			<b>Humedal 1</b>	<b>Humedal 2</b>	<b>Humedal 3</b>
			<b>Control</b>	<i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Hydrocotyle Vulgaris</i>
SST	mg/L	405	92	71	18

DBO <sub>5</sub>	mg/L	342	83	57	12
DQO	mg/L	498	124	91	20
<i>5 días de retención hidráulica</i>					

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 24 señala los parámetros que se analizó en el laboratorio de un antes y después durante 15 días de retención, el ingreso de agua residual sin tratamiento fue de Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 405 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 342 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 498 mg/L, el afluente de agua residual para el humedal sub superficial (**H1**) control fue Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 85 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 65 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 104 mg/L, para el humedal sub superficial (**H2**) con la especie *Schoenoplectus Californicus* fue Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 61 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 41 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 72 mg/L, y finalmente el humedal superficial (**H3**) con la especie *Hydrocotyle Vulgaris* fue Sólidos Totales en Suspensión (SST) con 18 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>) con 12 mg/L y Demanda Química de oxígeno (DQO) con 20 mg/L.

**Tabla 24.**

*Resultados de los análisis del antes y después del tratamiento (15 días).*

<b>HUMEDALES ARTIFICIALES UPEU</b>					
Parámetros	Unidades	Efluente Upeu	H. Sub superficial		H. Superficial
			Humedal 1 Control	Humedal 2 <i>Schoenoplectus californicus</i>	Humedal 3 <i>Hydrocotyle Vulgaris</i>



SST	mg/L	405	85	61	18
DBO	mg/L	342	65	41	12
DQO	mg/L	498	104	72	20

Fuente: Elaboración propia

#### 4.4. Resultados de la Comparación de los LMP 003-2010-MINAM

##### 4.4.1. Comparación con SST

##### 4.4.1.1. Tratamiento con los Humedales Artificiales

Los parámetros establecidos de acuerdo al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, los Límites Máximos Permisibles para SST es de una concentración de 150 mg/L, y los resultados obtenidos da un promedio de SST en dos tiempos de retención hidráulica de 5 y 15 días; en el (H1) obtiene una concentración promedio de 74 mg/L, en el (H2) con 49 mg/L y por último el (H3) con 12mg/L, por tanto, indica que los niveles no superan (LMP), es por ello que se puede dar otros usos al agua residual tratada.

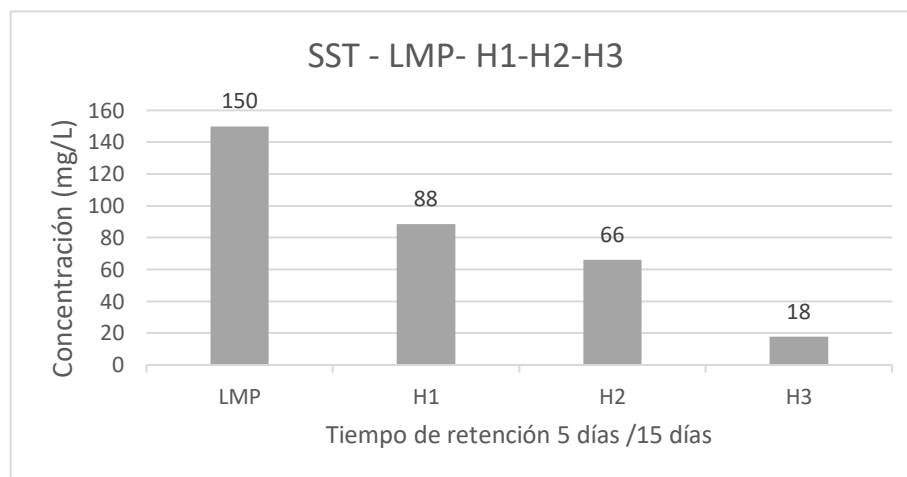


Figura 14. Comparación de SST con los LMP del (H1), (H2) y (H3).

#### 4.4.2. Comparación con DBO<sub>5</sub>

##### 4.4.2.1. Tratamiento con los Humedales Artificiales

Para el parámetro de DBO<sub>5</sub> de acuerdo a lo dispuesto es el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, tiene un Límite Máximo Permisible de 100 mg/L para su vertimiento a cuerpos receptores, y en los tratamientos de humedales las concentraciones son menores al rango tal como se muestra en la figura 15, en el (H1) con 74 mg/L, (H2) con 49 mg/L y (H3) con 12 mg/L, en promedio en 5 y 15 días de retención hidráulica. Cabe mencionar que en humedal 3 (H3), los niveles de remoción de materia orgánica logran ser aptos para el riego de parques públicos y áreas verdes de acuerdo a la categoría N°3: Riego de vegetales y bebidas de animales del Decreto Supremo N° 004-2017 –MINAM que establece una concentración de 15 mg/L, por otro lado, los días de retención en este humedal no influyen ya que mantienen sus niveles de concentración.

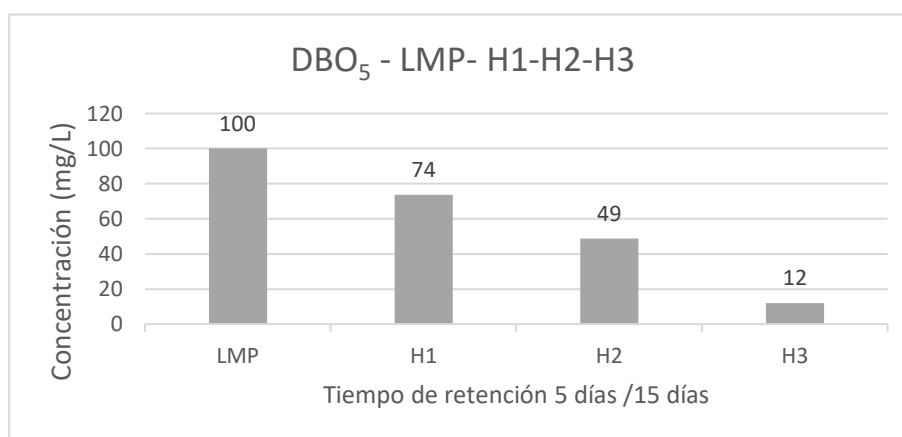


Figura 15. Comparación de DBO<sub>5</sub> con los LMP del (H1), (H2) y (H3).

#### 4.4.3. Comparación con DQO

##### 4.4.3.1. Tratamiento con los Humedales Artificiales

En el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM establece un rango de 200 mg/L de DQO como Límite Máximo Permisible para que una planta de tratamiento pueda realizar un

vertimiento a un cuerpo receptor. Los niveles obtenidos con un tratamiento natural en los humedales artificiales son un promedio de: (H1) con 114 mg/L, (H2) con 81mg/L y (H3) con 20 mg/L, por ende, los resultados se encuentran dentro del rango dispuesto.

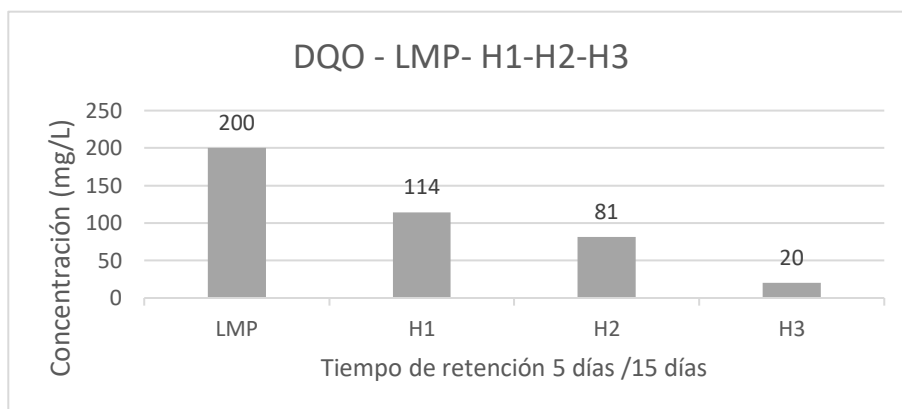


Figura 16. Comparación de DQO con los LMP del (H1), (H2) y (H3).

En el (H3) tiene una concentración de 20 mg/L por lo que logran ser aptos para el riego de áreas verdes y parques públicos tal como lo indica en Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM en la categoría N° 3: Riego de vegetales y bebidas de animales que da una concentración de 40 mg/L en ambos casos D1: Riego de vegetales y D2: Bebidas de animales, así mismo los días de retención con diferencia de 10 días los niveles de concentración se mantienen no haciendo ninguna diferencia.

#### 4.5.Resultados de eficiencia de remoción en Humedales Artificiales

La remoción de los parámetros de STT, DBO<sub>5</sub> Y DQO en cada humedal artificial se determinó de forma independiente, con tres repeticiones por cada humedal y parámetro, con la finalidad de determinar la eficiencia de remoción de los parámetros que consta la investigación en cada uno de los siguientes humedales: Humedal subsuperficial Control (H1), Humedal

subsuperficial con la especie *Schoenoplectus Californicus* (H2) y por último Humedal artificial Superficial con la especie *Hydrocotyle Vulgaris* (H3), para ello se utiliza la siguiente ecuación:

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \left( \frac{(\text{Parámetro de entrada} - \text{Parámetro de salida})}{\text{Parámetro de entrada}} \right) * 100$$

#### 4.5.1. Eficiencia en SST - 5 días

En la figura N° 17 presenta los resultados de la remoción de los 3 humedales artificiales: Humedal sub superficial Control (H1), Humedal artificial sub superficial con especie *Schoenoplectus californicus* (H2) y Humedal artificial superficial (H3), los cuales tienen una eficiencia en porcentajes de 77 %, 83% y 96% respectivamente del parámetro analizado de SST esto en un tiempo de retención de 5 días; siendo el tercer humedal (H3) el cual realiza una mayor remoción de sólidos presentes en el agua residual y el menor el humedal control (H1) ya que este no tiene ninguna especie.

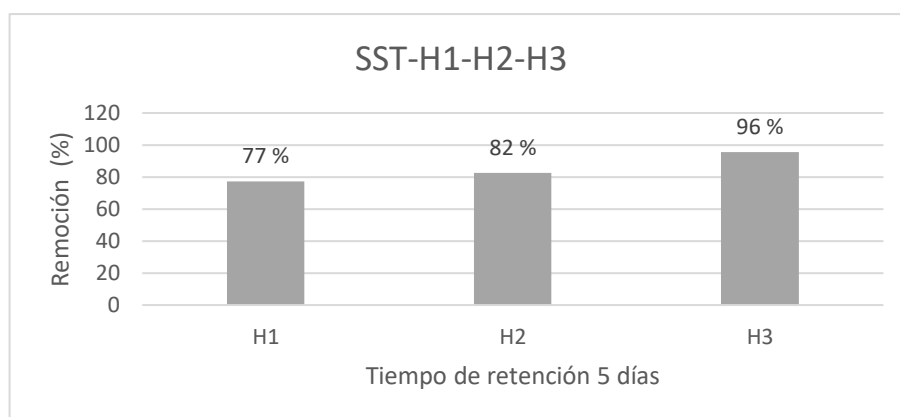


Figura 17. Eficiencia de remoción de SST en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días

#### 4.5.2. Eficiencia en DBO<sub>5</sub> - 5 días

En la figura 18 se observa la remoción del parámetro de DBO<sub>5</sub>, en cada humedal artificial en 5 días de retención hidráulica, para el humedal (H1) con 76 %, para el humedal (H2) con 83

% y para el humedal (H3) con 96 %, los resultados de eficiencia de mayor remoción en porcentaje de materia orgánica es el Humedal (H3) que es de flujo superficial con la especie *Hydrocotyle Vulgaris*, el segundo humedal (H2) de flujo subsuperficial con la especie *Schoenoplectus Californicus* tiene una diferencia de 16 % con el anterior y por último el humedal control o testigo tiene la menor remoción en cuanto al parámetro sin embargo es considerable ya que es mayor al 50 %.

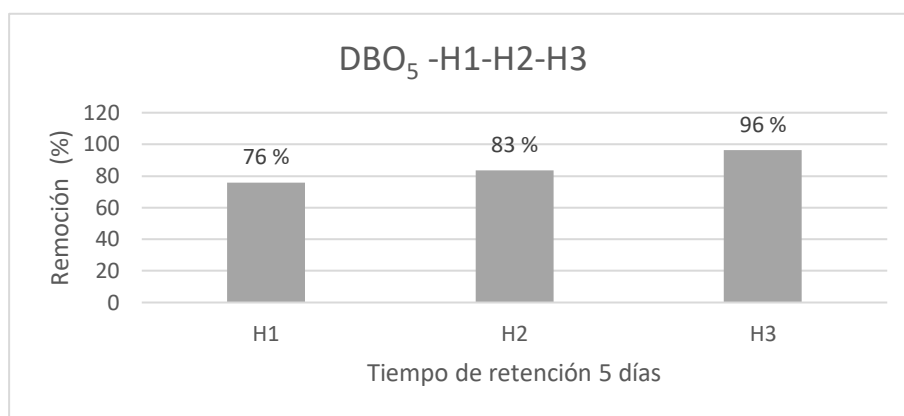


Figura 18. Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días

#### 4.5.3. Eficiencia de DQO – 5 días

El parámetro DQO en los humedales artificiales tal como se observa en la figura 19 logra una eficiencia en porcentaje de 75 % en el Humedal Control (H1), 82 % en el humedal con *Schoenoplectus Californicus* (H2) y 96 % en el humedal con *Hydrocotyle Vulgaris* (H3), siendo así el menor el humedal Control (H1), seguido por el humedal (H2) y finalmente el de mayor porcentaje el humedal (H3) con flujo superficial.

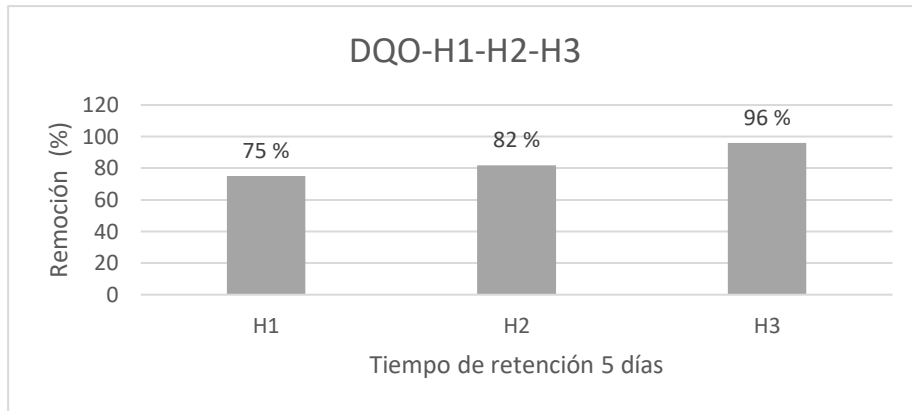


Figura 19. Eficiencia de remoción de DQO en el (H1), (H2) y (H3) – 5 días

#### 4.5.4. Eficiencia de SST – 15 días

La eficiencia de remoción de SST en cada humedal artificial se presenta en la figura 20 una eficiencia de 79 % del primer humedal Control (H1), el segundo Humedal con *Shoenoplectus Californicus* (H2) con 85 % y por último con 96 % el humedal con *Hydrocotyle Vulgaris*, esto en 15 días de retención hidráulica. Como se observa el humedal artificial de flujo superficial (H3) con la especie correspondiente continúa presentando una mayor remoción de sólidos sin embargo este se mantiene al resultado anterior del parámetro.

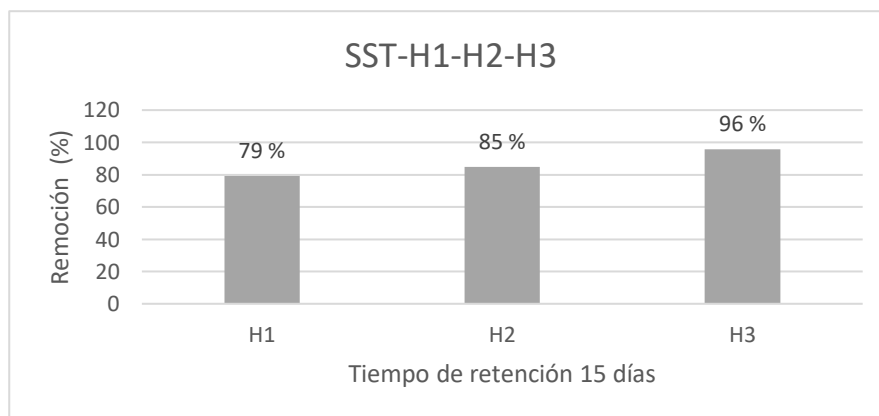


Figura 20. Eficiencia de remoción de SST en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días

#### 4.5.5. Eficiencia de DBO<sub>5</sub> - 15 días

El siguiente figura 21 presenta el parámetro  $DBO_5$  con los tres humedales analizados en el laboratorio, el humedal Control (H1), humedal *Schoenoplectus Californicus* (H2) y humedal *Hydrocotyle Vulgaris* (H3), la eficiencia de remoción del parámetro es de 81 %, 88 % y 96 % respectivamente, pese al tiempo de retención el (H3) continua presentando la mayor remoción del parámetro con el mismo porcentaje, en cuanto al humedal (H2) presenta una remoción mayor de acuerdo a los días de retención sin embargo la diferencia es poco considerables, y por último el (H1) el cual es testigo del (H2) remueve un porcentaje considerable superando el 50 % de remoción.

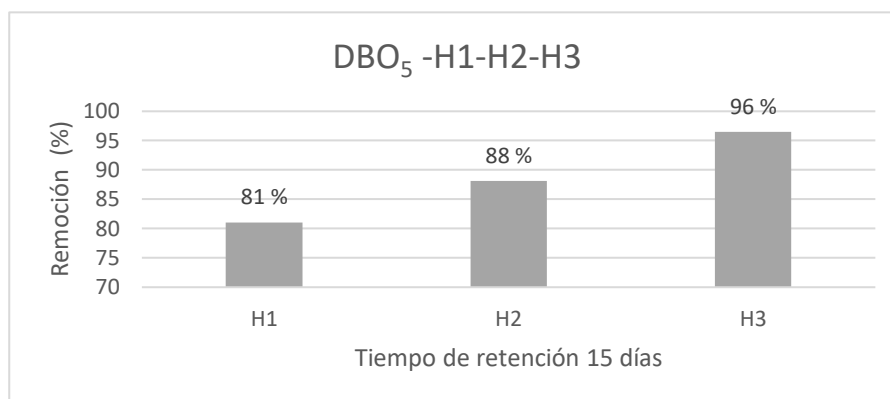


Figura 21. Eficiencia de remoción de  $DBO_5$  en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días

#### 4.5.6. Eficiencia de DQO – 15 días

La eficiencia de remoción de DQO en cada uno de los humedales artificiales en 15 días de retención hidráulica; se muestra en el figura 22 el porcentaje de remoción en el humedal Control (H1) con 79 %, humedal con *Schoenoplectus Californicus* (H2) con 86 % y humedal con *Hydrocotyle Vulgaris* con 96 % , siendo así el menor porcentaje del humedal testigo o control, seguido por el humedal H2 el cual tiene un porcentaje mayor al 50 % y el tercer humedal (H3) mantiene los mismos valores que el anterior y continua con un mayor porcentaje de remoción.

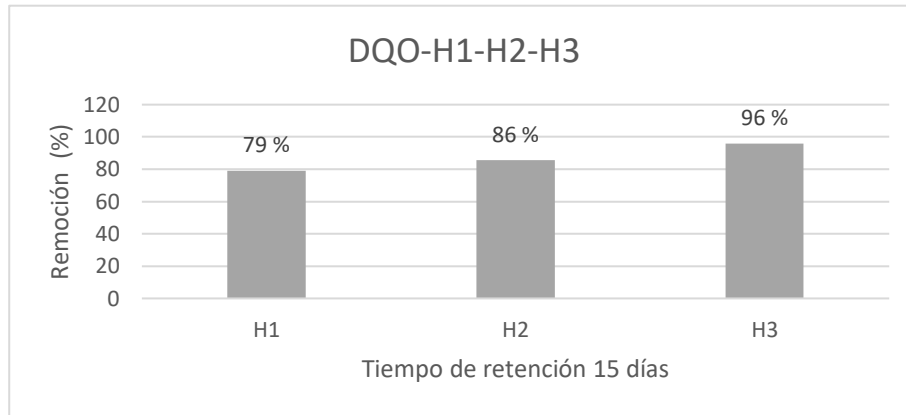


Figura 22. Eficiencia de remoción de DQO en el (H1), (H2) y (H3) – 15 días

#### **4.6. Análisis estadístico de Humedales artificiales**

El análisis estadístico se basó de acuerdo a los resultados analíticos obtenidos del laboratorio B&C S.A.C. los cuales fueron digitalizados en el programa Excel y el programa estadístico IBM SPSS Statistics 25.

##### **4.6.1. Prueba estadística**

###### **4.6.1.1. Hipótesis Estadísticas**

Ha: Los tratamientos de los humedales artificiales son diferentes

Ho: Los tratamientos de los humedales artificiales son iguales

###### **4.6.1.2. Prueba de nivel de significancia**

El nivel de significancia es de 0.05 de margen de error en cada análisis estadístico como se muestra en la siguiente imagen.



#### 4.6.1.3. Elección del estadístico

Se ingresó los datos que se monitorearon en tres fechas y se consideró tres repeticiones con cada uno de los parámetros (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO), en diferente Humedal Artificial.

Se acepta Ho, si el p – valor es mayor a la significancia (0.05)

Se rechaza Ho, si el p – valor es menor a la significancia (0.05)

El estadístico usado es Kruskal – Wallis ya que es un método no paramétrico, cabe mencionar que no se asume la prueba de normalidad.

#### 4.6.2. KRUSKAL WALLIS para SST

Los resultados analíticos obtenidos del laboratorio se describen en los Anexos (1- 10).

##### 4.6.2.1. Prueba de hipótesis

A continuación, se detalla el resumen de las hipótesis para el parámetro SST del agua residual en los tres humedales artificiales con sus respectivas especies.

#### Tabla 25.

##### Resumen de prueba de hipótesis para SST

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de SST es la misma entre las categorías de TRAT.	Prueba Kruskal Wallis de muestras independientes.	.002	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

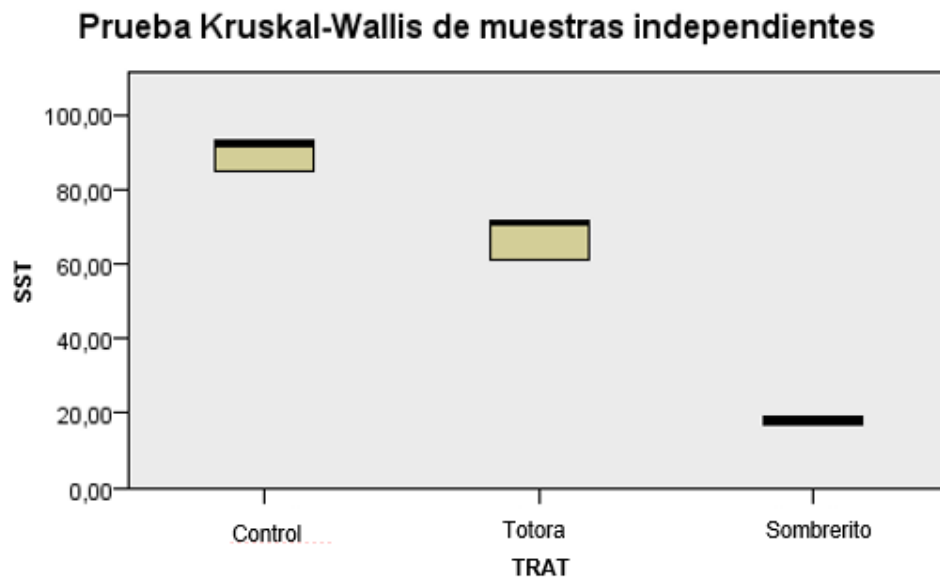


Figura 23. Comparación de las especies en relación a los SST.

Las comparaciones de los humedales artificiales: Humedal sub superficial Control (H1), Humedal artificial sub subsuperficial (*Schoenoplectus Californicus*) (H2) y Humedal superficial (*Hydrocolyle Vulgaris*) (H3), presentan un nivel de significancia menor al  $\alpha = 0.05$  en referencia a los SST, por tanto, la relación de los tres humedales artificiales con sus especies correspondientes tiene una diferencia significativa, es decir que cada sistema cumple con una función diferente. El Humedal Control (H1) muestra la menor remoción de SST en comparación con los Humedal (H2) y (H3), y el humedal (H3) presenta mayor remoción de SST.

#### 4.6.3. KRUSKAL WALLIS para DBO<sub>5</sub>

##### 4.6.3.1. Prueba de hipótesis para DBO<sub>5</sub>

A continuación se detalla el resumen de prueba de hipótesis para el parámetro DBO<sub>5</sub> del agua residual en los tres humedales artificiales con sus respectivas especies.

**Tabla 26.**

*Resumen de prueba de hipótesis para DBO<sub>5</sub>*

	Hipótesis nula	Test	Sig.	Decisión
1	La distribución de DBO <sub>5</sub> es la misma entre las categorías de TRAT.	Prueba Kruskal Wallis para muestras independientes.	.027	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

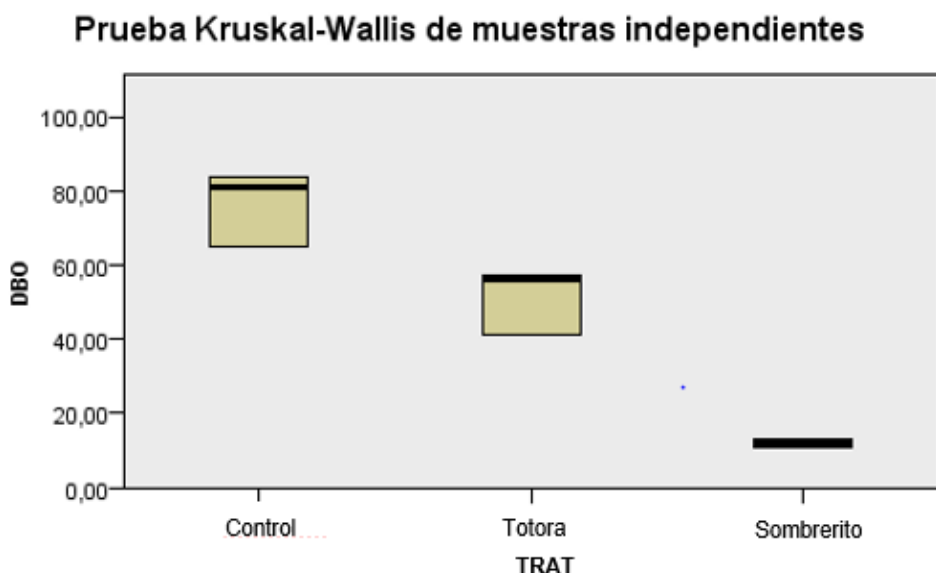


Figura 24. Comparación de las especies en relación a la DBO<sub>5</sub>

Las comparaciones de los humedales artificiales: Humedal subsuperficial Control (H1), Humedal artificial subsuperficial (*Schoenoplectus Californicus*) (H2) y Humedal superficial (*Hydrocotyle Vulgaris*) (H3), presentan un nivel de significancia de  $\rho = 0.027$  indicando así que es menor a  $\alpha = 0.05$  en referencia a la DBO<sub>5</sub>, por ende la relación de los tres humedales artificiales con sus especies correspondientes nuevamente tienen una diferencia significativa demostrando que cada sistema trabaja de diferente manera. Así mismo el humedal con menor

nivel de concentración de DBO<sub>5</sub> es el (H3), seguido por el humedal (H2) que tiene la remoción en intervalo con el humedal (H1) el cual tiene el menor rango de remoción.

#### 4.6.4. KRUSKAL WALLIS para DQO

##### 4.6.4.1. Prueba de hipótesis

A continuación se detalla el resumen de prueba de hipótesis para el parámetro DQO del agua residual en los tres humedales artificiales con sus respectivas especies.

**Tabla 27.**

*Resumen de prueba de hipótesis para DQO*

	Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1	La distribución de DQO es la misma entre las categorías de TRAT.	Prueba Kruskal Wallis para muestras independientes.	.024	Rechazar la hipótesis nula.

Se muestran las significancias asintóticas. El nivel de significancia es ,05.

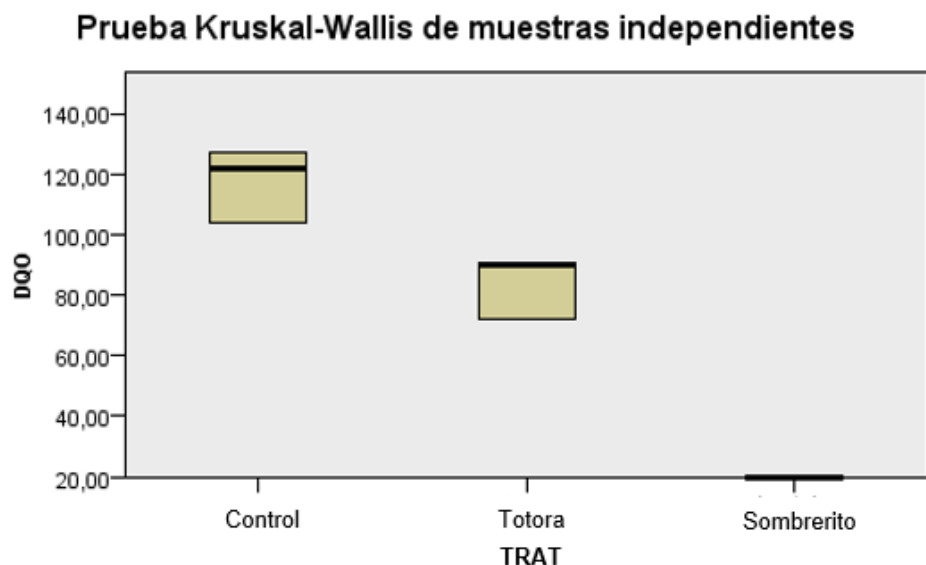


Figura 25. Comparación de las especies en relación a los DQO

Las comparaciones de los humedales artificiales: Humedal sub superficial Control (H1), Humedal artificial subsuperficial (*Schoenoplectus Californicus*) (H2) y Humedal superficial (*Hydrocotyle Vulgaris*) (H3), presentan un nivel de significancia de  $p = 0.024$  demostrando así que es menor a  $\alpha = 0.05$  en referencia a la DQO, esto indica que cada humedal artificial (H1), (H2) y (H3) tienen un sistema diferente para la remoción de la DQO por lo que tiene una diferencia significativa. Por otro lado, el humedal (H3) logra el menor valor de la DQO por ende tiene mayor remoción, siguiente es el (H2) que también logra una remoción adecuada del parámetro y finalmente el (H1) el cual remueve hasta un nivel considerable de acuerdo a los niveles del parámetro en el D.S N° 003-2010-MINAM.

## **4.7. Discusión**

### **4.7.1. Instalación de humedales artificiales**

Los sistemas de tratamiento de flujo superficial y subsuperficial con sus respectivas especies fitodepuradoras logran remover los contaminantes del agua residual, en caso del humedal superficial se logra apreciar mayor remoción. Los humedales con medios filtrantes remueven hasta un 75 % de materia orgánica debido a que actúan en forma paralela los procesos físicos, químicos y biológicos.(Araya, 2012); dentro del medio se forma una biopelícula con microorganismos que degradan la materia orgánica es por eso importante, evaluar el medio y especie que se utilizara, a su vez mientras mayor sea la superficie mayor será la remoción y en general es utilizado como un tratamiento secundario (Días, 2014), sin embargo (Bedoya et al., 2014) recopila diferentes investigaciones donde determina que no presenta significancia para eliminar la materia orgánica.

“En general los humedales artificiales son considerados óptimos siempre y cuando se determine adecuadamente los sistemas naturales, tomando en cuenta otras investigaciones y evaluaciones, que se ajusten a las condiciones climáticas locales y además se use una planta autóctona”.(Sierra & López, 2013)

#### **4.7.2. Eficiencia de remoción**

##### **4.7.2.1. *Hydrocotyle vulgaris* (sombbrero de agua)**

La macrófita remueve hasta un 96% de los parámetros evaluados (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) en el agua residual en 15 y 5 días de retención hidráulica en las mismas condiciones, así como lo señala (R. Sánchez & Coral, 2009) la remoción de los parámetros de (DQO y DBO<sub>5</sub>) alcanzan un alto rendimiento en la depuración de materia orgánica. (León & Lucero, 2009) determinan que la especie *H. Vulgaris* puede remover la DBO<sub>5</sub> de una concentración de 300 mg/L y disminuir hasta una concentración menor de 100 mg/L aproximadamente, del mismo modo (Cupe, 2009) demuestra que la sombrero de agua logra la remoción del DBO<sub>5</sub> en un intervalo de 62 % hasta los 72 %. Esto debido a su adaptación apropiada al clima del lugar que se evaluó. Esta adecuación rápida permite un rendimiento bueno la biomasa y reducción de la materia orgánica, por tanto es apto para el tratamiento de aguas residuales domésticas (R. Sánchez & Coral, 2009).

##### **4.7.2.2. *Schoenoplectus californicus* (Totora)**

El tratamiento del Humedal A. con la totora remueve más del 80 % de los parámetros de (SST, DBO<sub>5</sub> Y DQO) en tres tiempos de muestreo. (Malmo et al., s. f.), determina en una investigación que la especie remueve los SST en un 80 %, la DBO<sub>5</sub> un 27,4 % y DQO un 25,2

%, el DBO<sub>5</sub> y que la DQO es consecuencia de una menor cantidad de materia orgánica susceptible de ser oxidada mediante actividad microbiana en el agua tratada”, de las misma forma (Lopez, 2016) dentro de su evaluación el humedal remueve: (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) de 70 % - 80 %, 41 % - 95 % y 70 - 95 % respectivamente. En tanto (Araya, 2012) menciona que bajo condiciones de estudio depura las aguas residuales y (Hernández & Luna, 2016) “reconoce los porcentajes teóricos de remoción de contaminantes y disponibilidad de especie”. “Esto debido a que la totora cuenta con un epidermis muy delgada que logra reducir al paso de gases, agua y nutrientes, así mismo los espacios intercelulares que forman una red de conductos huecos que transportan oxígeno del aire hasta los órganos fotosintéticos y raíces”.(Chagua & Tardío, 2015). La especie vegetal se muestra resistente a temperaturas bajas y altas, sin embargo, su reproducción tarda.

#### **4.7.3. Análisis estadístico en relación a la especie y tiempo**

##### ***4.7.3.1. Comportamiento de las especies con Parámetros***

Los humedales (H1) y (H2) en relación con la especie y su remoción de contaminantes en caso de los SST no tiene una gran variación, para la DBO<sub>5</sub> presenta una diferencia de 7 % y para la DQO una variación máxima de 7.4 %, es decir que solo la totora remueve hasta 37 mg/L más en DQO. Esto debido a que la especie es fitorremediadora se adapta a las condiciones climáticas porque este es endémico, puede incluso remover agua residuales industriales(Sandoval, 2018).

El humedal (H1) y (H3), en los SST tiene variación de un 75 mg/L a 102 mg/L, para DBO<sub>5</sub> una diferencia de 70 mg/L a 77mg/L y DQO presenta una diferencia de 107 mg/L a 124 mg/L, se demuestra que el (H3) tiene mayor remoción en los 3 humedales llegando hasta un 25 % más en comparación con el (H1). “En vista que las macrófitas cumplen la función de transportar una

gran cantidad de oxígeno desde sus tallos hasta sus rizomas y raíces donde se forma una biopelícula de microorganismo heterótrofos que permiten el proceso aeróbico que logra la disminución de los contaminantes”. (Delgadillo & Condori, s. f.)

El humedal (H2) y (H3), los dos tratamientos en los SST presentan variaciones de 88 mg/L a 44 mg/L, para la DBO5 69 mg/L a 29 mg/L y DQO presenta 110 mg/L a 52 mg/, finalmente se demuestra que el (H3) remueve los parámetros señalando más la DQO llegando hasta un 21.7 % en comparación con (H2). La especies flotantes tal como lo es “La especie *Lemna gibba* es considerada una planta que no solo crece en agua dulce sino también en agua salada, pero no crece en aguas con bajos contenidos en nutriente”.(León & Lucero, 2009), del mismo modo las macrófitas flotantes tienen una extensa superficie pero son poco profundas para que las raíces interactúen con el agua este sistema permite una gran actividad de los microorganismos asociado y además su crecimiento es abundante este puede ser beneficioso a su vez puede ser un problema ya que es perjudicial para el ecosistema del lugar.(Robles, 2013).

Finalmente el sistema de tratamiento (H3) remueve más los parámetros (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) en comparación que los (H1) y (H2) , dado que la eficiencia de remoción y el éxito de implementar un humedal están determinados en gran medida por el tipo de macrófita utilizada”(Bedoya et al., 2014). Por otro lado independientemente, los humedales artificiales de flujo superficial y flujo subsuperficial, que son evaluados con diferentes especies son consideradas viables para la depuración de aguas residuales(Silván et al., 2016).



#### **4.7.3.2. Comportamiento del humedal con el tiempo**

Los monitores en 3 tiempos (5, 5 y 15 días de retención), en el (H1) y (H2) presentan una diferencia de 3 mg/L aproximadamente en los SST, para la DBO<sub>5</sub> no presenta ninguna diferencia y para la DBO<sub>5</sub> presenta 5 mg/L por tanto la variación con el tiempo es considerada mínima.

El (H1) y (H3) se percibe una diferencia en SST de 28 mg/L, en la DBO<sub>5</sub> es 7 mg/L y para la DBO<sub>5</sub> presenta 17 mg/L, esto indica que el humedal artificial subsuperficial remueve más que la de flujo superficial en cuestión de tiempo, cabe resaltar que el (H3) no presenta diferencia en cuanto a los días si no que mantiene su concentración en los tres parámetros evaluados.

EL (H2) y (H3) presenta una variación de la concentración de SST de 45 mg/L, en la DBO<sub>5</sub> es 40 mg/L y para la DBO<sub>5</sub> presenta 59 mg/L.

El (H3) no presenta variación en el tiempo mantiene su nivel de remoción de los parámetros mencionados, el (H2) si presenta variación con respecto al tiempo y el (H1) de la misma forma presenta variación, en ambos casos no son amplios, es decir mientras mayor tiempo de retención mayor remoción. Así como señala (Juleissi Jacqueline Días Vásquez, 2018), la aplicación de la especie *Schoenoplectus californicus*, en un periodo de 15 días de retención hidráulica logra remover un 61.13 % de materia orgánica (DQO). La remoción del parámetro incrementa conforme al tiempo de retención. (Cupe, 2009)

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1. Conclusiones**

- El agua residual previo al ingreso de los sistemas de tratamiento presento niveles altos de los parámetros (SST, DBO<sub>5</sub> y DQO) los cuales superan a los límites que establece la legislación peruana, llegando hasta triplicar sus niveles causando impactos negativos ambientales y sociales.
- El diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial y superficial se instaló dentro del campus universitario en condiciones del medio ambiente natural, con un ingreso de caudal con un promedio de 5 L/día aproximadamente en los tres humedales artificiales, medio en el cual se determina la remoción de los contaminantes del agua residual.
- Los resultados obtenidos del laboratorio demuestran la disminución de los contaminantes que se encuentran en el agua residual, ya que se comparó los parámetros de SST, DBO<sub>5</sub> y DQO, con los límites Máximos Permisibles en el cual ninguno de estos superan los rangos establecidos por la legislación peruana, e incluso la DBO<sub>5</sub> y DQO en el humedal de flujo

superficial con *Hydrocotyle Vulgaris* logra ser apta para el riego de vegetales según los estándares de calidad ambiental D.S. 004-2017-MINAM, por lo que se concluye que cumple la legislación peruana mejorando la calidad del agua mitigando los problemas ambientales y perjudiciales para la salud de la población del campus.

- Se evidenció que la especie *Schoenoplectus californicus* se adapta en temperaturas altas y bajas, así mismo el humedal artificial de flujo subsuperficial contribuye a la adaptación y la resistencia de sus raíces, en cuanto a la especie *Hydrocotyle Vulgaris* se adaptó de manera rápida, el crecimiento del volumen y reproducción es acelerado, así mismo la especie se adecuó al tamaño del humedal disminuyendo el diámetro de sus hojas y raíces.
- La retención hidráulica en 5 y 15 días no hizo gran diferencia en la remoción de los parámetros SST, DBO<sub>5</sub> y DQO, sin embargo, cabe mencionar que la especie “totora” hace una mínima diferencia de 10 mg/L en los 15 días en comparación con la especie sombrero de agua sus concentraciones se mantienen en ambos días de retención hidráulica.
- La eficiencia determinados en porcentaje, resultado óptimo para el vertimiento a un cuerpo receptor el ambos humedales artificiales con sus correspondientes especies desde un 75 % hasta un 96 %, de remoción de los parámetros de SST, DBO<sub>5</sub> y DQO, por otro lado la especie *H. Vulgaris* es la que obtuvo mejores resultados en la remoción de los tres parámetros manteniendo un 96 %, la especie *S. californicus* remueve hasta un máximo 88 % en el DBO<sub>5</sub>, el conclusión el objetivo de la investigación demuestra la eficiencia de los humedales artificiales con la especies *schoenoplectus californicus* y *Hydrocotyle Vulgaris*, que a su vez puede ser aplicada como una tecnología natural en un sistema de tratamiento secundario o biológico y que es de menor costo para las poblaciones pequeñas, así mismo el vertimiento de las aguas residuales pueden ser aprovechadas para el riego de áreas verdes y jardines.

## 5.2.Recomendaciones

- El sistema de tratamiento de aguas residuales de flujo subsuperficial y superficial con las especies “tatora” y “sombrero de agua” respectivamente pueden aplicarse en poblaciones pequeñas además en zonas de temperaturas bajas.
- Para el humedal artificial de flujo subsuperficial puede utilizar diferentes medios filtrantes variando el tamaño y/o optimizando con otro medio aparte de la grava.
- El tratamiento de aguas residuales de la investigación en caso de la especie *H. Vulgaris* puede ser reutilizada para riego de áreas verdes.
- En cuanto a las especies se recomienda realizar una inspección para evitar el crecimiento de las malezas que
- podrían afectar el rendimiento del tratamiento.
- Se recomienda realizar aforamiento del ingreso del caudal en las diferentes épocas del año ya que la estación varía en su ingreso
- Ampliar la investigación complementando con un tratamiento primario para obtener un mejor resultado en la remoción de los contaminantes que se encuentran en el agua residual, así mismo realizar un monitoreo de mayor tiempo y en diferentes épocas del año.

## REFERENCIAS

- Alarcón, M. T., Zurita, F., Lara, J., & Vidal, G. (mayo de 2018). *Humedales de tratamiento: Alternativa de Saneamiento de agua residuales aplicable en América Latina*. Obtenido de Pontificia Universidad JAVERIANA : file:///C:/Users/user/Downloads/HumedalesdetratamientoISBN978-958-781-235-0v1.1.pdf
- Arias , C. A., & Brix, H. (2003). *Humedales artificiales para el tratamiento para el tratamiento de aguas residuales*. Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá: Ciencias e Ingeniería Neogranadina.
- Arias , o. (2004). *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales construidos de flujo subsuperficial*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya. Departamento Enginyeria Hidráulica, Marítima y Ambiental.
- Alarcón, M. T., Zurita, F., Lara, J. A., & Vidal, G. (2018). *Humedales de tratamiento : alternativa de saneamiento de aguas*. Bogotá.
- APHA, AWWA, & WPCF. (1992). *Metodos Normalizados para el Análisis de agua potables y residuales*. (J. Bravo, Ed.) (Ediciones). España (Madrid).
- Araya, F. (2012). Alternativas de tratamiento de aguas servidas para núcleos humanos de baja densidad poblacional mediante sistemas híbridos de humedales artificiales. *Universidad de Concepción Facultad de Ciencias Biológicas*.
- Bedoya, J., Adila, A., & Reyes, J. (2014). Evaluación de un humedal artificial de flujo

- subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. *Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia*, 30(2), 275-283.
- Berastegi, G., & Rabina del Río, E. (2014). *Hydrocotyle vulgaris*. *IUCN Red List of Threatened Species* (Vol. 2017). Recuperado de [https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/ficha\\_-\\_hydrocotyle\\_vulgaris.pdf](https://gobiernoabierto.navarra.es/sites/default/files/ficha_-_hydrocotyle_vulgaris.pdf)
- Chagua, R. E., & Tardío, J. J. (2015). *Evaluación de remoción de cobre y zonz por la planta nativa Scirpus Californicus (Totorá) en la comunidad de Pimachaca - Tarma*. Universidad Nacional de centro del Perú. Facultad de Ciencias Aplicadas.
- Cueva, E. Y., & Rivadeneira, F. A. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humeda artificial de flujo subsuperficial con vegetación Herbácea*. Escuela Politécnica del Ejército.
- Cupe, E. D. (2009). *Evaluación de la eficiencia de Plantas acuáticas flotantes Lemna Minor (lenteja de agua), Eichhornia Crassipes (jacinto de agua) y Pistia Stratioides (lechuga de agua), para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. Universidad Nacional de Ingeniería. Facultad de Ingeniería Ambiental.
- Curt-Fernandez de la mora, M. (2005). Capítulo 7. Macrofitas de interés en fitodepuración. *Manual de fitodepuración. Filtros de macrofitas en flotación*, 91-106.
- Delgadillo, M., & Condori, L. (s. f.). Planta de tratamiento de aguas residuales con macrófitas para comunidades cercanas al Lago Tititcaca. *Journal Boliviano de Ciencias*, 63-66.
- Días, C. A. (2014). Tratamiento de agua residual a través de humedales. *Universidad Santo*

*Tómas Seccional Tunja*, 1-8.

Hernández, N., & Luna, J. S. (2016). Prueba piloto para la evaluación de la eficiencia de las plantas fitorremediadoras del humedal las Tinguas, en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria*, (Bogotá).

Juleissi Jacqueline Días Vásquez, M. E. G. M. (2018). *Parámetros cinético de fitobiorreactores para la depuración de aguas residuales doméstica con Schoenoplectus californicus (Totora) - Distrito Cajamarca*. Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo.

Junco Schoenoplectus Californicus. (s. f.). Recuperado 20 de marzo de 2019, de [https://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas\\_educativas/\\_pdf/ciencias-naturales/reino-vegetal/027-junco.pdf](https://contenidos.ceibal.edu.uy/fichas_educativas/_pdf/ciencias-naturales/reino-vegetal/027-junco.pdf)

Lara, J. A. (1999). *Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales*. Universidad Politécnica de Cataluña.

León, M., & Lucero, A. M. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azola filiculoides En el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del cantón Cotacachi*. Universidad Técnica del Norte. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Llagas, W. A., & Guadalupe, E. (2006). Diseño de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales en la UNMSM. *Instituto de Investigaciones FIGMMG*, 15(Tratamiento de aguas residuales), 96.

Lopez, D. A. (2016). *Evaluación Estacional De Humedales Construidos De Flujo Horizontal Subsuperficial Para La Depuración De Aguas Servidas En Zonas Rurales : Implicancias*

*En La Generacion De Metano.* Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Ambientales, Centro EULA - Chile.

Malmo, E., Malmo, E., Franco, A. R., Mauricio, J., Naranjo, P., Milena, D., ... Sierra, B. (s. f.).

Implementación de un sistema de fitorremediación en zona aledaña a reserva forestal protectora El Malmo , Boyacá , Colombia Implementation of a system of phytoremediation in area surrounding to forest protective reserve, 93-103.

Mena, P. A. (2014). *Evaluación de la eficiencia de tratamiento de aguas residuales domésticas, implementando un sistema de humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal (HAFSSH) en el colegio comfamiliar siglo XXI, sede campestre corregimiento de San Fernando, Mu.* [Http://Digital.Bl.Fcen.Uba.Ar](http://Digital.Bl.Fcen.Uba.Ar). Universidad de Buenos Aires. Recuperado de [http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis\\_5825\\_MenaCabrera](http://digital.bl.fcen.uba.ar/gsd1-282/cgi-bin/library.cgi?a=d&c=tesis&d=Tesis_5825_MenaCabrera)

MINAGRI. (2010). DS N° 01-2010-AG, Reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. Recuperado de <http://minagri.gob.pe/portal/marco-legal/normas-legales66/decretos-supremos68/2012/3768-decreto-supremo-no-001-2010-ag>

MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. *Normas Legales El Peruano.* <https://doi.org/10.3354/meps08245>

MINAM. (2017). DS N° 004-2017-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua).

MVCS. (2013). Aprueban el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR.



[https://doi.org/10.1016/S0092-8674\(00\)00141-0](https://doi.org/10.1016/S0092-8674(00)00141-0)

Núñez, R. (2017). *Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergentes Cyperus Papyrus (Papiro)*. mMMmM. Universidad Peruana Unión. Recuperado de [http://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/683/Joel\\_Tesis\\_bachiller\\_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.upeu.edu.pe/bitstream/handle/UPEU/683/Joel_Tesis_bachiller_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

OEFA. (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales.

ONU-HABITAD. (2008). Manual de Humedales Artificiales. *Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos*. Recuperado de <http://ir.obihiro.ac.jp/dspace/handle/10322/3933>

OS.090. (2006). Norma OS.090. Planta de tratamiento de Aguas Residuales.

Quintero, J. (2014). Evaluación de humedales artificiales pilotos de flujo horizontal y tipo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales. *Ingenium*, 15(29), 85-112. Recuperado de <https://bibliotecavirtual.uis.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=116595963&lang=es&site=eds-live>

Robles, M. (2013). *Evaluación de sistemas de fitorremediación de aguas residuales dentro de una biorrefinería*. Inecol Instituto de Ecología, A. C.

Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. (2012). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. *Journal of Health Care for the Poor and Underserved*, 6(2), 102-110.

<https://doi.org/10.1353/hpu.2010.0530>

Sánchez, M., Gonzáles, H., & Miranda, M. (2012). Proteínas de estrés en *Lemna gibba* (Lemnaceae) expuesto al boro. *Hidrobiológica*, 22(3), 282-289. Recuperado de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-88972012000300009](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-88972012000300009)

Sánchez, R., & Coral, Y. (2009). Evaluación del tratamiento de aguas residuales con *Lemna gibba* en estanques con régimen de flujo de pistón, 238-242.

Sandoval, B. G. G. (2018). *Universidad nacional de chimborazo*.

Sierra, O., & López, G. (2013). Tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales. *Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, XIX*.

Silván, R. S., Ocaña, G. L., Margulis, R. G. B., Barajas, J. R. H., & Cerino, M. J. R. (2016). Evaluación De Humedales Artificiales De Flujo Libre Y Subsuperficial En La Remoción De Contaminantes De Aguas Residuales Utilizando Diferentes Especies De Vegetación Macrófita. *Interciencia*, 41(1), 40-47.

Tito, R. (2015). *Tratamiento de aguas residuales grises domésticas con la especie paraguíta Cyperus alternifolius en humedales artificiales, urbanización Zárate - San Juan de Lurigancho 2015*. Universidad César Vallejo.

Torres, J. D., Magno, J. S., Pineda, R. R., & Cruz, M. A. (2015). Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus Papyrus* y *Phragmites Australis*, en Carapongo-Lurigancho. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 3(2), 41-64.

<https://doi.org/10.17162/rictd.v1i2.954>

Totoras. (s. f.). Recuperado 20 de marzo de 2019, de

<http://www.galeon.com/tigre/textos/flora/totoras.htm>

Tur, N., & Rossi, J. (1976). Autoecología de *Scirpus Californicus*, 2(Marzo), 73-82.

Typha - EcuRed. (s. f.). Recuperado 20 de marzo de 2019, de <https://www.ecured.cu/Typha>

UNESCO. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado.

# ANEXO

# ANEXO A. Informe de la muestra general de las aguas residuales de la UPeU



## LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

### RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° C244-2018

#### I. Datos del Solicitante

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domesticas - Juliaca 2018"

#### II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MG: Agua Residual - Chullunquiari Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373576 / 8284604  
 Fecha y hora de muestreo : 10 - Noviembre - 2018 / 08:35 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 10 - Noviembre - 2018

#### III. Resultados Parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MG		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	408	402	405
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	356	340	331
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	496	492	505

Donde:  
 < Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por Litro

#### MÉTODOS DE ENSAYO:

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540. 21<sup>o</sup> ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B. 21<sup>o</sup> ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWW, WEF, Part. 5220 C. 21<sup>o</sup> ed. 2005.

#### NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.



Blgo. Herbert Part Neira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CBR. 9687

Juliaca, 16 de Noviembre del 2018

ANEXO B. Informe de la muestra control (1) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

**INFORME DE ENSAYO N° B283-2018**

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : —  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domesticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MTC: Humedal Lenteja de Agua - Chullunquiari Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373570 / 8284606  
 Fecha y hora de muestreo : 24 - Noviembre - 2018 / 12:30 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 24 - Noviembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Fisicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MTC		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	92	96	90
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	85	86	80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	120	125	120

Donde:

< Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por Litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 2540. 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWWA. WEF. Part. 5210 B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método titulométrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA. AWW. WEF. Part. -5220 C. 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 01 de Diciembre del 2018



*Herbert Pani Neira*  
**Bigo. Herbert Pani Neira**  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CBP. 9687

ANEXO C. Informe de la muestra "Totora" (1) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° 8284-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MT: Humedal Totora - Chullunquani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373570 / 8284806  
 Fecha y hora de muestreo : 24 - Noviembre - 2018 / 12:40 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 24 - Noviembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Fisicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MT		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	72	70	70
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	55	57	56
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	93	90	90

Donde:  
 = Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por Litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AMMA, WEF, Part. 2540 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AMMA, WEF, Part. 5210 B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método titulométrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AMMA, WEF, Part. 5220 C. 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de Calidad.

Juliaca, 01 de Diciembre del 2018



Mrgo. Maribel Pani Meira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CBF. 9687

ANEXO D. Informe de la muestra "Sombrero de agua" (1) de las aguas residuales de la UPEU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20440241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**  
**INFORME DE ENSAYO N° B285-2018**

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : —  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : ML - Humedal Lenteja de Agua - Challanquiani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373570 / 8284606  
 Fecha y hora de muestreo : 24 - Noviembre - 2018 / 12:45 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 24 - Noviembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Físicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: ML		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	19	18	19
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	12	14	12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20	20	20

Donde:  
 • Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 21ª ed. 2005
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B, 21ª ed. 2005
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWW, WEF, Part. 5220 C, 21ª ed. 2005

**NOTAS IMPORTANTES:**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no están consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 01 de Diciembre del 2018



*[Handwritten Signature]*  
 Sr. Herbert Paul Neira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CEP. 9687



ANEXO E. Informe de la muestra de Control (2) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° C301-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MTC: Muestra Control - Chullinquani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373572 / 8284509  
 Fecha y hora de muestreo : 02 - Diciembre - 2018 / 09:50 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 02 - Diciembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Fisicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MTC		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	90	95	90
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	80	82	82
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	128	128	125

Detalle:  
 \* Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por Litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 21<sup>ra</sup> ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B, 21<sup>ra</sup> ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWW, WEF, Part. 5220 C, 21<sup>ra</sup> ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no están consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no es responsable si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado de calidad.



Bla. Herbert Paul Weira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CSP. 9687

Juliaca, 07 de Diciembre del 2018

ANEXO F. Informe de muestra "Totora (2) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° C302-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : —  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MT: Humedal Totora - Chullunquiari Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373572 / 8284809  
 Fecha y hora de muestreo : 02 - Diciembre - 2018 / 09:50 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 02 - Diciembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Físicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MT		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	70	72	72
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	58	58	56
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	91	90	90

Donde:  
 = Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por Litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendidos Totales: Colorimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, 1998A, WEF, Pac. 2540 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, 1998A, WEF, Pac. 5210 B, 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado, Método: Volumétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, 1998A, WEF, Pac. 5220 C, 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben referirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.



Mtro. Herbert Paul Nieva  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CBP: 9557

Juliaca, 07 de Diciembre del 2018

ANEXO G. Informe de muestra “sombrero de agua (2) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

“Laboratorio de Análisis Químicos y Microbiológicos”

RUC: 20448241550

**RESULTADOS DE ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° 8303-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI CLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : 'Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018'

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : ML: Humedal Lenteja de Agua - Chuñunqui Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 372672 / 8284609  
 Fecha y hora de muestreo : 02 - Diciembre - 2018 / 09:50 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 02 - Diciembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Físicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: ML		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	18	18	16
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	10	12	12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20	20	20

Donde:

mg/L : Límite de Detección en Miligramos por Litro

- + Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 21ª ed. 2005.
- + Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B, 21ª ed. 2005.
- + Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método titrimétrico. Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5220 C, 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, el certificado del laboratorio controla.



Ing. Herbert Pan Weira  
 C.E. DE LABORATORIO  
 C.B.F. 9687

Juliaca, 07 de Diciembre del 2018

# ANEXO H. Informe de la muestra Control (3) de las aguas residuales de la UPeU



## LABORATORIOS B&C S.A.C.

"Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

### RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS

INFORME DE ENSAYO N° C311-2018

#### I. Datos del Solicitante

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

#### II. Datos del muestreo

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MTC: Muestra Control - Chuñunquiani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373572 / 8284609  
 Fecha y hora de muestreo : 19 - Diciembre - 2018 / 08:35 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 19 - Diciembre - 2018

#### III. Resultados Parámetros Físicoquímicos

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MTC		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	85	83	85
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	61	64	66
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	105	105	101

Desde:  
 + Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por litro

#### MÉTODOS DE ENSAYO:

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540, 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B, 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo cerrado. Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 4220 C, 21ª ed. 2005.

#### NOTAS IMPORTANTES

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben inferirse a la muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, es certificado del sistema de calidad.



Bto. Herbert Pani Maira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CIP 6687

Juliaca, 28 de Diciembre del 2018

ANEXO I. Informe de la muestra de “Totorá” (3) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

"Laboratorio de Estudios Químicos y Microbiológicos"

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° C312-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI OLARTE  
 Dirección : —  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodepuradoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : MT: Humedal Totorá - Chullunguani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373572 / 8284609  
 Fecha y hora de muestreo : 19 - Diciembre - 2018 / 08:35 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 19 - Diciembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Físicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: MT		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	60	62	62
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	40	40	42
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	70	75	70

Donde:  
 \* Valor : Límite de Detección del Método  
 mg/L : Miligramos por litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendidos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 2540. 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Part. 5210 B. 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Método cerrado. Método titrimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWW, WEF, Part. 6220 C. 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES**

- El presente Informe de Ensayos tan sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No debes informarse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido re-muestreado por el cliente, LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, si certificado del sistema de calidad.

Juliaca, 25 de Diciembre del 2018



Bsco. Herbert Paul Naira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 CEP. 4667

ANEXO J. Informe de la muestra de “Sombrero de agua” (3) de las aguas residuales de la UPeU



**LABORATORIOS B&C S.A.C.**

“Laboratorio de Ensayos Químicos y Microbiológicos”

RUC: 20448241590

**RESULTADOS DE ANALISIS FISICOQUIMICO DE AGUAS**

INFORME DE ENSAYO N° 313-2018

**I. Datos del Solicitante**

Solicitante : ELIZABETH UMASI CLARTE  
 Dirección : ---  
 Proyecto : "Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales de flujo subsuperficial y flujo superficial con dos especies fitodisparadoras para la remoción de materia orgánica de las aguas residuales domésticas - Juliaca 2018"

**II. Datos del muestreo**

Descripción del Producto : Agua Residual  
 Punto de muestreo : ML: Humedal Lenteja de Agua - Chulluniquiani Km 6  
 Procedencia : Dist. Juliaca, Prov. San Román, Dept. Puno  
 Ubicación UTM : 373572 / 8284609  
 Fecha y hora de muestreo : 19 - Diciembre - 2018 / 08:35 hrs.  
 Presentación : 1,000 mL aproximadamente, en envase de polietileno  
 Tipo de muestra : Puntual  
 Muestreado por : Personal del Laboratorio  
 Fecha de recepción : 19 - Diciembre - 2018

**III. Resultados Parámetros Físicoquímicos**

PARAMETROS EVALUADOS	UNIDAD DE MEDIDA	PUNTO DE MUESTREO Y/O CODIFICACION: ML		
		Repetición N° 01:	Repetición N° 02:	Repetición N° 03:
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	19	16	18
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	12	12	12
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	20	20	20

Donde:  
 - mg/L : Unidad de Medida de Sólidos  
 mg/L : Miligramos por Litro

**MÉTODOS DE ENSAYO:**

- Sólidos Suspendedos Totales: Gravimétrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Pac. 2540 21ª ed. 2005.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno: Prueba de incubación de 5 días. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Pac. 5210 B, 21ª ed. 2005.
- Demanda Química de Oxígeno: Reflujo-peróxido. Método titulométrico. Método normalizado para el análisis de aguas potables y residuales APHA, AWWA, WEF, Pac. 5220 C, 21ª ed. 2005.

**NOTAS IMPORTANTES:**

- El presente Informe de Ensayos es sólo es válido únicamente para la muestra analizada.
- No deben atribuirse a la Muestra otros parámetros que no estén consignados en el presente Informe de Ensayos.
- En caso de que el producto haya sido investigado por el cliente LABORATORIOS B&C no se responsabiliza si las condiciones de muestreo no fueron las adecuadas.
- El presente Informe de Ensayos no es un certificado de conformidad, ni certificado del sistema de calidad.



*[Firma manuscrita]*  
 Sr. Roberto Pani Weira  
 JEFE DE LABORATORIO  
 C.R.F. 9687

Juliaca, 26 de Diciembre del 2018

ANEXO K. Cadena de Custodia para Aguas Residuales

REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA													
Nombre de la PTAR:													
Muestra N°	Afluente	Efluente	Fecha	Hora de muestra	Frasco (VP)	Volumen	Reactivos preservativos	Prámetros a ser medido					Observaciones
								AYG	DBO	DQO	SST	CTT	

**ANEXO L.** Ficha de ubicación y puntos de monitoreo de los humedales

<b>UBICACIÓN DE PUNTO DE MONITOREO</b>			
Proyecto:			
Ubicación:			
Localidad	Distrito	Provincia	Departamento
<b>IDENTIFICACIÓN DE PUNTOS DE MONITOREO</b>			
<b>AFLUENTE:</b>			
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
<b>CAUDAL DE OPERACIÓN (diario):</b>			
<b>EFLUENTE</b>			
<b>COORDENADAS U.T.M. (WGS84)</b>			
Norte	Este	Zona UTM	Altitud
<b>CAUDAL DE OPERACIÓN (diario)</b>			
<b>DATOS DE GPS:</b>			



## ANEXO M. Panel Fotográfico



*Figura 26.* Muestreo de aguas residuales del sistema de tratamiento



*Figura 27.* Almacenamiento de muestras de aguas residuales



*Figura 28.* Sistema de tratamiento de humedales artificiales



*Figura 29.* Lechos de humedales artificiales



*Figura 30.* Instalación de Humedales Artificiales



*Figura 31.* Medición de Caudal



Figura 32. Humedal artificial superficial con la especie *Hydrocotyle Vulgaris* (Sombrero de agua)



Figura 33. Humedal artificial de flujo subsuperficial Control sin Especie



*Figura 35.* Humedal artificial de flujo subsuperficial con la especie *Schoenoplectus Californicus* (Totora)



*Figura 34.* Lugar de obtención de especies fitodepuradoras