

**UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y GESTION  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**



**DESARROLLO DE UN PROTOTIPO PARA EL SISTEMA DE  
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MEDIANTE UN HUMEDAL  
ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR "JUAN  
VELASCO ALVARADO" UBICADO EN EL DISTRITO DE VILLA EL  
SALVADOR**

**TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**

Para optar el Título Profesional de

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER**

CARDENAS FLORES, DANIEL ANDREE

**Villa El Salvador**

**2019**

## **DEDICATORIA**

El presente trabajo es dedicado a mis padres Yolanda Flores y Adán Sebastián, por su apoyo incondicional y alentarme a seguir adelante.

A mis hermanos Joel, Henry, Abigail, John y Zahid por llenar mi vida con su existencia, bromas y por su compañía.

Y especialmente a mis mejores amigos Oscar Barzola y Gerson Díaz por su amistad a lo largo de estos años y por el apoyo emocional que me brindan.

Daniel Andree Cardenas Flores.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a mi familia por estar siempre a mi lado apoyándome, dándome facilidades para poder concretar satisfactoriamente este proyecto de tesis.

Al Ingeniero Edgar Avelino Tarmeño, por guiarme en este proyecto de tesis con sus conocimientos y recomendaciones a lo largo de la elaboración con presente proyecto hasta su culminación.

A la municipalidad de Villa el Salvador y al burgomaestre Kevin Iñigo Peralta, por brindarme las facilidades de poder ingresar a los establecimientos de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) "Juan Velasco Alvarado".

A mis amigas Marcia Micaela Crespo Raya, Nayeli Lisset Bellido Collahua y Rosa Camila Escamilo Cajas por su ayuda en la construcción del proyecto piloto.

A mis amigos Oscar Barzola Sánchez y Diana Castañeda Villanueva, por ayudarme a financiar el coste del curso de titulación.

Y finalmente a mi amigo Gerson Díaz Saavedra, por ayudarme en el apoyo con sus conocimientos sobre monitoreo para el presente proyecto de tesis.

## INDICE

INTRODUCCIÓN .....	1
CAPITULO I .....	3
PLANIFICACION DEL TRABAJO .....	3
1.1. Planteamiento del problema .....	3
1.2. Justificación .....	4
1.3. Delimitación del proyecto.....	5
1.3.1. Teórica .....	5
1.3.2. Temporal.....	5
1.3.3. Espacial .....	6
1.4. Formulación del problema .....	7
1.4.1. Problema general.....	7
1.4.2. Problemas específicos .....	8
1.5. Objetivos.....	8
1.5.1. Objetivo general .....	8
1.5.2. Objetivos específicos .....	8
CAPITULO II .....	9
MARCO TEORICO .....	9
2.1. Antecedentes.....	9
2.1.1. Nacionales .....	9
2.1.2. Internacionales.....	12

2.2.	Bases teóricas .....	14
2.2.1.	Aguas residuales.....	14
2.2.2.	Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales ....	15
2.2.3.	Normas legales .....	20
2.2.4.	Tratamiento de aguas residuales.....	21
2.2.5.	Humedales.....	24
2.2.6.	Humedales artificiales .....	25
2.3.	Definición de términos básicos .....	35
	CAPITULO III.....	37
	DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL .....	37
3.1.	Modelo de solución propuesto .....	37
3.1.1.	Calculo para el diseño del humedal piloto .....	37
3.1.2.	Obtención de materiales .....	40
3.1.3.	Construcción del piloto.....	40
3.1.4.	Técnicas de caracterización de aguas residuales.....	41
3.2.	Caracterización de parámetros .....	49
3.3.	Eficiencia para la remoción de contaminantes .....	55
	CONCLUSIONES .....	58
	RECOMENDACIONES .....	60
	Bibliografía .....	61
	ANEXOS.....	65

## LISTA DE FIGURAS

<b>Fig. 1:</b> Plano de ubicación de la PTAR “Juan Velasco Alvarado”	7
<b>Fig. 2:</b> Humedal artificial de flujo superficial.	26
<b>Fig. 3:</b> Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.	27
<b>Fig. 4:</b> Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.	28
<b>Fig. 5:</b> Adaptación de las macrófitas.	41
<b>Fig. 6:</b> Punto de medición CAR-01.	42
<b>Fig. 7:</b> Punto de medición CAR-02.	43
<b>Fig. 8:</b> Monitoreo en el punto CAR-01 (entrada).	43
<b>Fig. 9:</b> Muestras del punto CAR-01 (entrada).	44
<b>Fig. 10:</b> Monitoreo en el punto CAR-02 (salida).	44
<b>Fig. 11:</b> Muestras del punto CAR-02 (salida).	45
<b>Fig. 12:</b> Preservante para el OD “reactivo I”.	47
<b>Fig. 13:</b> Preservante para el OD “reactivo II”.	48
<b>Fig. 14:</b> Preservante para la DQO “H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> ”.	48
<b>Fig. 15:</b> Gráfico comparativo de la Demanda Biológica de Oxígeno.	51
<b>Fig. 16:</b> Gráfico comparativo de la Demanda Química de Oxígeno.	52
<b>Fig. 17:</b> Gráfico comparativo del Oxígeno Disuelto.	53
<b>Fig. 18:</b> Gráfico comparativo de los coliformes termo-tolerantes o fecales.	54

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1:</b> Objetivo de los métodos de pretratamiento.	22
<b>Tabla 2:</b> Atributos y obstáculos del sistema de humedales artificiales.	25
<b>Tabla 3:</b> Particularidades del recurso para sistemas de humedales artificiales.	30
<b>Tabla 4:</b> Taxonomía de la especie vegetal Schoenoplectus.	32
<b>Tabla 5:</b> Materiales de edificación para el humedal artificial piloto.	40
<b>Tabla 6:</b> Metodología para el análisis de muestras.	46
<b>Tabla 7:</b> Detalles de los materiales para el monitoreo.	49
<b>Tabla 8:</b> Resultado de los análisis de laboratorio.	50
<b>Tabla 9:</b> Eficacia promedio de remoción de contaminantes.	56
<b>Tabla 10:</b> Presupuesto del proyecto.	68

## INTRODUCCIÓN

Las tecnologías naturales que son utilizadas en el tratamiento de aguas residuales ofrecen ciertas ventajas, como una construcción más simple, una operación más fácil y su mantenimiento es rentable. Los humedales artificiales construidos, principalmente con un flujo subsuperficial, son algunas de las tecnologías naturales más comunes utilizadas para tratar aguas residuales domésticas y municipales, tanto como tratamiento secundario o como uno terciario.

Las características específicas de estas aguas residuales (nuevos contaminantes, concentraciones extremas, baja biodegradabilidad, alta toxicidad) son un desafío para la aplicación e instalación de los humedales artificiales de flujo subsuperficial, y por ende se necesita más investigación para la optimización de su diseño y operación.

En la actualidad el tratamiento de aguas residuales en el Perú se emplea de distintas maneras, y una de estas tecnologías es la utilización de humedales artificiales. Dicha alternativa representa una opción ecológica muy interesante puesto que aparte de emular los procesos naturales de consolidación de la masa orgánica, y de necesitar de un mantenimiento mínimo, es afable con el entorno al aprovechar macrófitas de diferentes especies como uno de sus agentes más relevantes de tratamiento. (Orocaja, 2012).

La fitorremediación constituye una alternativa eficiente y económica para tratar diferentes ejemplos de aguas residuales, teniendo más aplicación en el tratamiento de aguas acidas provenientes de minas y aguas residuales domésticas. Es eficiente especialmente en la remoción de sustancias orgánicas, microorganismos y contaminantes fisicoquímicos. Debido a sus costes de instalación, ejecución y mantenimiento frente a los sistemas convencionales actuales, se le considera una alternativa de bajo costo. (Cadillo, 2017).



El siguiente proyecto de suficiencia profesional consiste en el desarrollo del prototipo para el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial en la PTAR "Juan Velasco Alvarado" utilizando como especie fitorremediadora la Totorá (*Schoenoplectus californicus*), en el cual se comprobará la eficiencia de remoción en cuanto a masa orgánica y demás parámetros a través de los análisis de laboratorio.

## **CAPITULO I**

### **PLANIFICACION DEL TRABAJO**

#### **1.1. Planteamiento del problema**

En la actualidad existe nulo o mínimo interés por parte de la mayoría de los concejos del país en implementar maniobras para al tratamiento y manejo de residuos sólidos y líquidos, que en diferentes casos son volcados a terreno abierto o en los receptores de agua dulce o salada, causando deterioros ambientales que derivan en la alteración del suelo, fuentes de agua como lagos, reservorios y ríos. Esta disposición inadecuada ocasiona un impacto nocivo al ser humano específicamente en su salud, de semejante manera en su actividad económica y social, además de dañar los ecosistemas nativos circundantes.

La polución del recurso hídrico proveniente de la especie humana es un problema que abarca varios años; debido al uso minero, industrial y/o doméstica. El distrito de Villa El Salvador no es la exclusión, entorno a esta incierto se han diseñado tres Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) la primera situada en la intersección de las avenidas Cesar Vallejo y Pastor Sevilla, la segunda ubicada en la intersección de la avenida 200 millas y Micaela Bastidas, la tercera ubicada en la intersección de las avenidas Mariano Pastor Sevilla y Juan Velasco Alvarado; esta última por estar situada en un territorio rural capta el agua residual procedente de los alcantarillados concernientes al sector dos de dicho distrito para luego realizar un tratamiento previo y tratar de cumplir con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA)

para agua categoría tres y subcategoría D1 “Riego de vegetales”. Dicha agua se utiliza generalmente para el riego de áreas verdes y de un vivero que está situado en una zona aledaña, pero debido a dificultades técnicas ocurridas en la planta, el agua tratada no cumple con los estándares establecidos, de tal manera en este proyecto se busca mejorar su calidad mediante la propuesta de un humedal artificial de flujo subsuperficial empleado como planta fitorremediadora a la Totora (*Schoenoplectus californicus*).

## **1.2. Justificación**

El siguiente trabajo de investigación puede ser de beneficio en el área de depuración básica, en un aspecto genérico se halla inmerso dentro del tema de la contaminación ambiental. Esta propuesta, se alega aún más cuando el recurso hídrico es escaso y caro, en zonas como el distrito de Villa El Salvador, por su terreno árido, debido a que no cuenta con muchas fuentes de agua dulce para riego.

Por este motivo se procura realizar una “Propuesta de un humedal artificial de flujo subsuperficial para la planta de tratamiento de aguas residuales “Juan Velasco Alvarado” perteneciente al distrito de Villa El Salvador” con el propósito de brindar un tratamiento terciario a las aguas residuales de origen doméstico que ingresan a la PTAR “Juan Velasco Alvarado”.

Un humedal artificial es un método no convencional que puede ser usado para mejorar la calidad del agua residual, por medios de procesos biológicos se da la degradación de la masa orgánica. Por este método se pretende alcanzar una solución más económica para el tratamiento del agua residual de origen doméstico y que permita satisfacer los parámetros establecidos en el D.S. N° 015-2015-MINAM Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua en materia de los límites máximos

permisibles de agua categoría III (riego de cultivos de tallo alto y bajo, y bebida de animales).

### **1.3. Delimitación del proyecto**

#### **1.3.1. Teórica**

Un humedal artificial tiene la propiedad de tratar aguas residuales domésticas y/o industriales para ello se debe de tener en cuenta que tipo de vegetación presenta mayor resistencia a los contaminantes.

El presente trabajo tiene como finalidad brindar un tratamiento terciario a las aguas residuales de uso doméstico que ingresan a la PTAR "Juan Velasco Alvarado" ya que en la actualidad solo cuenta con un tratamiento secundario con parámetros tales como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Oxígeno Disuelto (OD) y Coliformes Fecales con concentraciones altas, al finalizar el proyecto y analizar el nivel de remoción de contaminantes llevados a cabo por la Totorá se podría dar una aproximación de la vida útil de la planta y si es factible utilizarla para tratar otro tipo de aguas residuales diferentes a las domésticas.

#### **1.3.2. Temporal**

Se estima que la propuesta de este sistema en la PTAR "Juan Velasco Alvarado" será más eficiente en épocas de verano tales como diciembre, enero, febrero y marzo; debido a que la actividad microbiana es más alta debido a que a temperatura es más elevada, a diferencia de épocas donde la temperatura es baja; por consiguiente, si el sistema funciona en épocas donde la temperatura es baja el tiempo de retención se incrementará.

Se estima que el humedal artificial de flujo subsuperficial piloto tendrá la duración aproximada de cuatro meses, teniendo en cuenta el trámite burocrático por parte de la municipalidad de Villa El Salvador y la presentación de los documentos

correspondientes para su respectiva aprobación. También se está tomando en cuenta el tiempo que demorara la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial y actividad dentro de las instalaciones de la PTAR "Juan Velasco Alvarado".

El tiempo que duro la construcción neta del humedal artificial de flujo subsuperficial piloto fue aproximadamente de un mes debido a que se tuvo que hacer una petición, mediante un documento, a la municipalidad de Villa El Salvador para que esta diera la facilidad de ingresar a las instalaciones de la PTAR "Juan Velasco Alvarado", cabe resaltar que si se toma en consideración el tiempo de respuesta de la municipalidad de Villa El Salvador, la construcción del humedal artificial de flujo subsuperficial piloto, la actividad del mismo y el análisis de las muestras, el tiempo neto que se requirió para finalizar el proyecto fue de aproximadamente dos meses y medio.

### **1.3.3. Espacial**

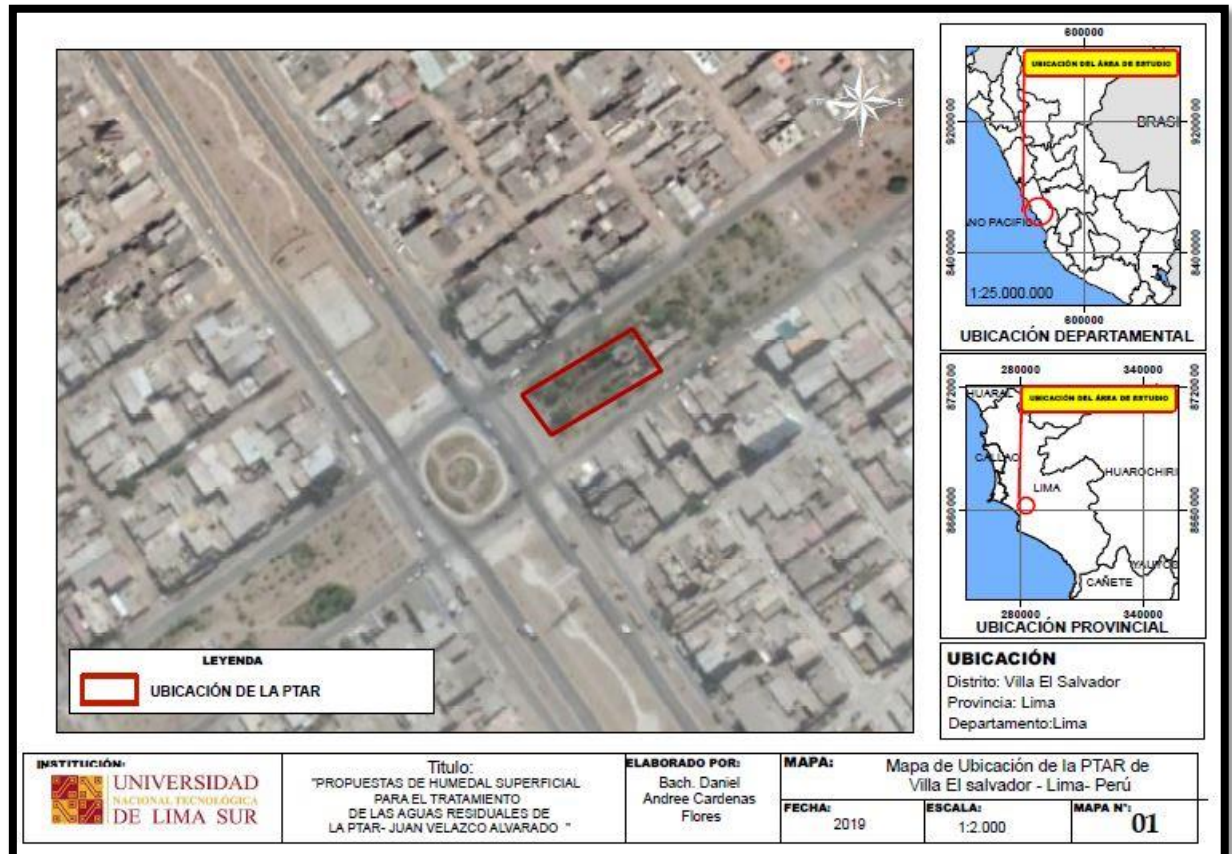
El desarrollo del siguiente trabajo de investigación permitirá dar un tratamiento terciario a las aguas residuales por medio de un humedal artificial de flujo subsuperficial en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) "Juan Velasco Alvarado" la misma que está ubicada en la intersección de las avenidas Mariano Pastor Sevilla y Juan Velasco Alvarado; entre los grupos 23A y 24A ambos ubicados en el sector dos del distrito de Villa El Salvador.

La superficie del área de estudio mide aproximadamente 1,074.98 m<sup>2</sup> cuyas coordenadas en sistema UTM, datum WGS-84, son E: 0288098, N: 8649141 y a una altitud de 130 msnm.

Dicho trabajo se permita replicar en otras PTARes presentes en el distrito de Villa El Salvador, tal es el caso de la PTAR "Cesar Vallejo", PTAR "Huáscar", PTAR "200 millas", PTAR "Pastor Sevilla" y la PTAR "Parque 26", todas estas PTARes se

encargan de depurar aguas residuales domesticas provenientes de sus sectores respectivos.

**Fig. 1: Plano de ubicación de la PTAR “Juan Velasco Alvarado”**



**Fuente:** Elaboración propia.

#### 1.4. Formulación del problema

##### 1.4.1. Problema general

El problema general del presente trabajo es:

- ¿De qué manera el desarrollo de un prototipo permite caracterizar la DBO, DQO, OD y coliformes fecales del agua en la entrada y salida del humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR “Juan Velasco Alvarado” ubicada en el distrito de Villa El Salvador?

### **1.4.2. Problemas específicos**

Los problemas específicos son los siguientes:

- ¿Cómo el diseño de un humedal artificial de flujo subsuperficial con un caudal de  $0.1 \text{ m}^3/\text{d}$  de entrada influye en el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado"?
- ¿Cómo el uso de un humedal artificial de flujo subsuperficial resulta ser más eficiente en la remoción de contaminantes para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado"?

## **1.5. Objetivos**

### **1.5.1. Objetivo general**

- Caracterizar la DBO, DQO, OD y coliformes fecales del agua en la entrada y salida del prototipo de humedal artificial de flujo subsuperficial para el tratamiento de las aguas residuales de la PTAR "Juan Velasco Alvarado" ubicada en el distrito de Villa El Salvador.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- Diseñar un humedal artificial de flujo subsuperficial con  $0.1 \text{ m}^3/\text{d}$  de caudal de entrada para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado".
- Evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes para el tratamiento de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado" utilizando el sistema de humedal artificial de flujo subsuperficial.

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEORICO**

#### **2.1. Antecedentes**

##### **2.1.1. Nacionales**

Inga, R. L. (2014). *Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la ciudad universidad-UNSC-2014* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de San Cristóbal, Ayacucho, Perú.

- Se determinó que el volumen de agua residual producido por los Asentamientos Humanos Señor de Huertos y Pampa Hermosa por los métodos de evaluación inmediata, se obtiene como producto lo siguiente: caudal máximo diario de 978.852 m<sup>3</sup>/día y caudal medio diario 393.492m<sup>3</sup>/día.

Cornejo, G. E. (2009). *Tratamiento de efluentes de la granja porcina del instituto Redentores Mater y Juan Pablo II de Ventanilla a través de humedales artificiales para su reutilización como agua de clase III* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.



- Los resultados que se muestran, conseguidos en el humedal piloto, para un periodo de contención de 6.5 días, (6 días lo óptimo y medio día para prestación de manutención), señalan que el método empleando papiros sembrados sobre piedra chancada, pueden disminuir y que satisfacen en un 100% con los parámetros para agua de calidad III (Decreto Supremo N° 002-2008-MINAN), para riego, se observa que la metodología es efectiva lo cual corrobora la hipótesis de que el tratamiento es eficaz.

Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando *Cyperus alternifolius* y *Chrysopogon zizanioides* para el tratamiento de aguas servidas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.

- Según las conclusiones del análisis estadístico no se encuentran desigualdades importantes en el tratamiento realizada por las plantas, concluyendo una eficacia semejante para las condiciones estudiadas. No obstante, desde el punto de vista del mantenimiento, el Vetiver brinda muchas ventajas, ya que después de talar la planta esta se mantiene en constante desarrollo, mientras que el Paragüitas necesita de nuevos brotes.
- El producto de la caracterización del agua tratada por ambos humedales verticales señalaron que pueden ser derramadas en cuerpos de agua, con impedimento de parámetros microbiológicos, coliformes fecales, vaciado por el humedal con Vetiver que incumple con lo designado por la legislación nacional establecida en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.

Neglia, M. F. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional del Callao, Callao, Perú.

- La inserción de los humedales artificiales para el trato de los efluentes domiciliarios producirá un impacto ambiental afirmativo, estableciendo una superficie verde, cuyo sostenimiento, sería fuente de ganancias económicas para diferentes hogares, al emplear las hebras vegetales conseguidas de los papiros para manufacturar diferentes obras de orfebrería (canastas, petates, etc.).
- El sistema de trato con humedales artificiales de tipo subsuperficial en una técnica factible para la purificación de las aguas residuales domésticas, en específico para naciones como la nuestra en vías de crecimiento, con ambientes tropicales, subtropicales y secos; con escasez de agua.
- Generalmente necesita de un área extensa, equiparándolo con otros tratamientos convencionales. El tratamiento con humedales puede ser en algunos casos más económico que otras alternativas, solo en el caso de poseer un terreno utilizable y asequible.

Orocaja, D. A. (2012). *Evaluación de la eficiencia de remoción de un humedal artificial en función de la granulometría de grava en el medio filtrante* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

- El sistema constituido por los tres humedales artificiales de flujo subsuperficial presentan cotizaciones máximas de remoción de la demanda Bioquímica de Oxígeno al quinto día ( $DBO_5$ ) de 88.89% en el humedal de grava pequeña (A), 86.34% en el humedal d grava mediana (B) y 93.17% para el humedal de grava grande (C).

### 2.1.2. Internacionales

Torres, E. Y. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea* (Proyecto de investigación). Escuela Politécnica del Ejército Departamento de Ciencias de la Vida Carrera de Ingeniería Agropecuaria, Santo Domingo, República Dominicana.

- El agua Residual de la Hacienda. Zoila Luz después de ser tratada en los humedales artificiales presenta niveles mínimos de contaminantes a los límites permitidos de descarga a un cuerpo hídrico dulce y podría ser utilizada como agua para riego agrícola clase III según los parámetros DBO5, fosforo total, sólidos totales, aluminio, nitrógeno total, con excepción de DQO y coliformes totales que sobrepasan estos límites.

González, M. E. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

- El humedal doméstico es una opción rentable y eficaz para la depuración del agua residual; no obstante, en esta situación en particular se propone un humedal regional ya que sólo el 6.3% de los lotes tiene el terreno necesario para su edificación.

Rubio, I. B. (2014). *Ampliación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas* (Tesis de pregrado). Universidad de León, Ciudad de León, España.

- Las membranas de escorias de acería LD son mayormente eficientes en la supresión de fosfatos en el agua residual debido a su alto contenido en calcio. Su empleo presenta dificultades relacionadas con la hidráulica y vida útil del

filtro y el aumento en el valor de pH y conductividad del efluente que debe ser subsanado antes de su vertimiento en un cauce destinatario.

Salazar, J. L. (2015). *Tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de humedales artificiales* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Autónoma de México, México D.F., México.

- La mayor desventaja que posee este humedal es que no se puede consolidar de acuerdo al número de pobladores, ya que necesita de un afluente, carga orgánica, temperatura, diversidad de plantas de la localidad, adaptabilidad y el sustrato; por otro lado, al carecer de bombas se requiere aprovechar de las pendientes naturales, lo que dificulta su adaptabilidad, ya que, al no ser planeado desde el inicio de la construcción de la vivienda, la descarga de aguas residuales y el espacio disponible para la construcción del humedal podría no encontrarse en una mejor localización.

Peluffo, J. C. (2016). *Tratamiento de aguas residuales usando Rhizophora Mangle (Mangle rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal artificial de flujo vertical* (Tesis de pregrado). Universidad de Cartagena, Bolívar, Colombia.

- La implementación de los humedales artificiosos como método de purificación para los efluentes de fuentes domésticas y también de diferentes instauraciones que vierten sus residuos o desechos orgánicos, con mayor énfasis en áreas estimadas como reservas naturales, o en comunidades de bajos recursos se considera factible y se aconseja utilizar en cualquier sitio que se apreste de las condiciones necesarias, que tengan la determinación de infectar el ecosistema que los envuelve.

- La eficiencia obtenida en cuanto a la eliminación de masa orgánica y nutrientes en el sistema de humedal artificial con mangle rojo, superaron las expectativas al obtener resultados favorables de hasta un 90% o más, posicionándolo como una herramienta potente para la purificación de las aguas residuales.
- La remoción de carga orgánica por medio de este método estuvieron por encima del 80% e incluso mucho de los valores pasaron del 90% hasta rozar el 100%, indicando así la viabilidad del sistema para ser implementado en la purificación de aguas residuales o como elemento participativo dentro de un sistema macro de tratamiento de aguas residuales.

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Aguas residuales**

Son aguas cuyas particularidades únicas han sido variadas por acciones humanas y por su cualidad necesitan un trato anticipado, para ser consumidas, vaciadas en cuerpos naturales de agua o vías de drenaje. (López M. E., 2011). Cuando el agua residual contiene masa orgánica, fosfatos, nitratos, aceites y grasas; se obtiene un incremento en el desarrollo de organismos, en otros casos se puede dar una eutrofización.

#### **2.2.1.1. Clasificación de aguas residuales**

La Organización de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) clasifica a las aguas residuales en:

- **Aguas residuales domésticas:** Son aguas residuales obtenidas por el consumo humano, pueden ser residencial y comercial. Pueden provenir del: lavado de platos, duchas, lavado de prendas de vestir, servicios sanitarios y similares. (OEFA, 2014).

- **Aguas residuales industriales:** Son aguas residuales producidas por la acción industrial, las cuales han sido alteradas en su composición química debido a la acción minera, agrícola, energética, entre otras. (OEFA, 2014).
- **Aguas residuales urbanas:** Son aguas residuales domiciliarias que pueden estar combinadas con aguas industriales y/o con aguas de escorrentía pluvial. (OEFA, 2014).

### 2.2.2. Parámetros de control para el tratamiento de aguas residuales

Para el tratamiento de aguas residuales es necesario dar prioridad a los siguientes parámetros:

- **Cloruros:** Los cuerpos de agua contienen inestables niveles de cloruros dependiendo de las propiedades de las áreas que atraviesan, pero, en diferentes casos, este valor casi siempre es pequeño a las que están presentes en las aguas residuales. El incremento de cloruros en el agua puede tener diversos orígenes. Si es de un área costera puede ocasionarse por filtraciones de agua salobre. Para el caso de un terreno desértico el incremento de cloruros en el agua se debe al lavado del terreno ocasionado por intensas borrascas. Por último, el incremento de cloruros puede originarse por la contaminación del agua debido a las actividades mineras. (Sevilla, 2019).
- **Coliformes termo-tolerantes o fecales:** Es una subdivisión de los coliformes totales, los cuales se sitúan en las excretas humanas y de animales. Es un parámetro común de las aguas residuales ya que estas provienen de las alcantarillas.  
  
Es una subdivisión de bacterias coliformes totales que se sitúan, en elevadas proporciones, en los intestinos y excretas humanas y animales. Su aparición

señala que el agua está infectada con excretas o desperdicios de alcantarilla, y tiene la capacidad de ocasionar afecciones. (NCPH, 2009).

- **Coliformes totales:** Es una división de microorganismos que están presentes en el suelo, plantas, aguas encima de una superficie, en la flora intestinal humana y animal. En muchos casos la lluvia arrastra a estos microorganismos los cuales llegan a las aguas subterráneas y las contaminan.
- **Color:** La tonalidad de las aguas residuales municipales determina cualitativamente el tiempo de las mismas. Generalmente se modifica del beige claro al negro. Si el líquido es reciente, suele tener un tono beige claro; empañándose conforme pasan las horas, cambiando de color a gris o negro, debido a la inserción de medios anaerobios, por alteración bacteriana de la masa orgánica. (Martínez, 2014).
- **Conductividad eléctrica:** Es la corriente eléctrica que se obtiene del ajetreo de partículas atestadas eléctricamente y como contestación a las fuerzas que ejercen en estas partículas debido a un campo eléctrico estudiado. En su totalidad dentro de los sólidos se encuentra un flujo de electrones que ocasiona una corriente, y a este flujo de electrones se le denomina conductividad eléctrica. (Lenntech, 2016).
- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):** Es la porción de oxígeno que los microorganismos tales como bacterias y hongos consumen y poder descomponer la masa orgánica contenida en las aguas residuales. La proporción entre la masa orgánica y oxígeno es directamente proporcional, a mayor materia orgánica mayor porción de oxígeno que se requiere para degradarla. Básicamente es utilizado para calcular la porción total de materia

orgánica presente en las muestras residuales y cuanto oxígeno disuelto se consume en el agua residual por cinco días a una temperatura de 20°C.

- **Demanda química de oxígeno (DQO):** Es la porción de oxígeno que se requiere para la oxidación de masa orgánica que están presentes en las aguas residuales. Por tal razón es una medida del componente orgánico que puede ser descompuesto mediante procesos biológicos. Se concluye entonces que la DQO representa tanto la masa orgánica biodegradable como la no biodegradable. (Hidritec, 2016).
- **Fosfatos:** Es el principal compuesto encargado del crecimiento de microorganismos en el agua, el incremento de este compuesto ocasiona el fenómeno llamado eutrofización. Cabe resaltar que el agua se puede cargar de fosfatos por la presencia de detergentes, productos de limpieza, fertilizantes y/o excretas humanas.
- **Grasas y aceites:** Son todos aquellos componentes de naturaleza lipídica que, al ser insolubles con el agua, se sitúa en la superficie provocando la formación de natas con espumas. Estas natas y espumas dificultan todo tipo de depuración física o química, y deben ser eliminadas con los primeros métodos de depuración para aguas residuales. Su consecuencia en los métodos de tratamiento de aguas residuales o en las aguas naturales se debe a que interfieren con el trueque de gases entre el agua y la atmosfera. No conceden el paso libre de oxígeno hacia el agua, ni el escape del CO<sub>2</sub> del agua hacia la atmosfera; en otros casos pueden llegar a generar la acidificación del agua junto con mínimos niveles del oxígeno disuelto, además de impedir la inserción de la luz solar.



- **Nitratos:** Son compuesto químicos los cuales se derivan del nitrógeno, estos compuestos están presentes en las aguas subterráneas, superficiales, de escorrentía y/o residuales por la actividad agrícola; es decir, proveniente de la actividad agrícola por el uso de abonos, estiércol o fertilizantes nitrogenados. El nitrato es uno de los contaminantes más usuales de aguas subterráneas en terrenos rurales, el origen de los nitratos es básicamente la presencia de sistemas sépticos, fertilizantes y almacenes de abono u operaciones de extensión. Los abonos nitrogenados no consumidos por las macrófitas, volatilizados, o remolcado por la escorrentía superficial terminan en las aguas subterráneas en forma de nitratos. Esto ocasiona que el nitrógeno no se encuentre utilizable por las plantas, y puede incrementar la densidad de las aguas subterráneas superando los niveles permitidos para la calidad del agua potable. (Lenntech, 2016).
- **Olor:** Los olores son debido a los gases emitidos durante el método de putrefacción de la masa orgánica. El agua residual reciente tiene un olor característico, algo repulsivo, que es más aceptable que el agua residual séptica. El enigma de los olores está contemplada como la primordial causa de rechazo a la creación de instalaciones para el tratamiento de aguas residuales. (Chiappe, 2014).
- **Oxígeno disuelto (OD):** Es la porción de oxígeno que se encuentra disuelto en los cuerpos de agua. También es un indicador ambiental el cual nos dice que tan contaminada está el agua, es bien sabido que mientras más alto sea el nivel de oxígeno disuelto mejor será la calidad el agua. El oxígeno disuelto puede sufrir variaciones dependiendo de la temperatura del medio, respiración de los microorganismos y su respectivo metabolismo.

Este parámetro facilita en medida la calidad de oxígeno disuelto en el agua. Conservar la concentración propicia de oxígeno disuelto en el agua es necesario para la vida de los peces y diferentes organismos acuáticos. La materia orgánica disuelta, la temperatura, los oxidantes inorgánicos, etc, afectan sus niveles. Las fuentes de oxígeno en el agua son de ayuda para la aireación y la fotosíntesis de las algas, su concentración necesita principalmente de la temperatura, presión y salinidad. (Sáenz, 2010).

- **pH:** El pH es un indicador de la aglomeración del ion hidrogeno, es un parámetro necesario para la calidad tanto de aguas naturales como de residuales. El valor perfecto para el desarrollo de los organismos se encuentra entre 6,5 y 7,5. Si no se situara entre dichos valores, puede que el tratamiento biológico sea más complicado. El agua residual con una concentración desfavorable de ion hidrogeno es complicada de remediar por métodos biológicos y si la concentración no varía antes de la evacuación, el efluente puede altera la concentración de las aguas naturales. (Chiappe, 2014).
- **Solidos suspendidos totales:** Es la cantidad total de materia solida orgánica e inorgánica, tanto suspendidos como sedimentados, contenidos en el agua. La materia solida orgánica procedente de la actividad humana contiene fundamentalmente C, H, O, así también como P, S, N, etc. En diferentes cantidades. Las materias solidas inorgánicas contenidas en las aguas residuales se pueden separar por tratamientos físicos a diferencia de la orgánica.
- **Sulfatos:** Los sulfatos suelen tener su comienzo en aguas que atraviesan áreas ricas en yesos o aguas residuales industriales. El contenido de sulfatos no suele tener problemas para la potabilidad del agua y posterior consumo, pero en otras

situaciones, contenidos elevados de 300 mg/L pueden ocasionar dificultades gastrointestinales. (Sevilla, 2019).

- **Temperatura:** Las aguas residuales domésticas (ARD) desprenden energía, lo cual ocasiona temperaturas más elevadas que el de las aguas no contaminadas, depende también de la zona donde se sitúa la PTAR. Es un parámetro muy uniforme. (Chiappe, 2014).
- **Turbiedad:** Es la aparición de partículas suspendidas en el agua las cuales impiden su claridad, transparencia o paso de la luz solar. La turbidez en el agua es causada por la materia inmiscible, suspendidas o en dispersión coloidal. Es una rareza óptica que consiste principalmente en la infiltración de la luz mezclado con un método de difusión. (Sáenz, 2010).

### 2.2.3. Normas legales

- ✓ Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- ✓ Decreto Ley N°17752, Ley General de Aguas.
- ✓ Ley N°29338, Ley de los Recursos Hídricos.
- ✓ Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, Perú.
- ✓ Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, Aprueba los Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, Perú.
- ✓ Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, Modifican los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas y establecen disposiciones complementarias para su aplicación, Perú.
- ✓ Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA, Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales.

- ✓ Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, Aprueban los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias, Perú.

#### **2.2.4. Tratamiento de aguas residuales**

Para el trato de las aguas residuales se tiene en consideración los siguientes tratamientos:

- **Pretratamiento:** Consta de separar, por medios mecánicos, sólidos de un volumen considerable sé que encuentran flotando o sedimentados en el agua residual por medio de cámara de rejas, cribas o mallas, y desarenadores. Los aceites y grasas, debido a su densidad, se encuentran flotando en la superficie y son relativamente fáciles de separar por medio de un desengrasador o separador de grasas. Los procesos físicos y, en algunos casos, biológicos necesarios para un pretratamiento se pueden observar en la **tabla 1**. Está designado a la disposición o acomodamiento de las aguas residuales con el propósito peculiar de preservar las instalaciones, el funcionamiento de las obras de purificación y suprimir o disminuir sensiblemente los medios indeseables relacionados fundamentalmente con el aspecto estético de las plantas de tratamiento. (Rojas, 2002).

**Tabla 1:** Objetivo de los métodos de pretratamiento.

<b>Proceso</b>	<b>Objetivo</b>
Rejas o tamices	Supresión de sólidos voluminosos.
Trituradores	Trituramiento de sólidos.
Desarenadores	Supresión de arenas y gravilla.
Desengrasadores	Supresión de lípidos.
Pre-aeración	Inspección de olores y mejora de la conducta hidráulica.

**Fuente:** (Rojas, 2002).

- **Tratamiento primario:** En un proceso fisicoquímico simple que se utiliza para la supresión de sólidos suspendidos contenidos en las aguas residuales. Para realizar tratamientos primarios se requieren principalmente procesos de flotación, sedimentación y en algunos casos coagulación. Este tipo de tratamiento tiene la función de depurar el agua a tratar limpiándola de todas aquellas partículas que por sus dimensiones pueden llegar a alterar los demás procesos consecuentes, por lo general remueve alrededor del 60% de sólidos en suspensión y entre el 30% a 40% de DBO. (Encarnación, 2018).
- **Tratamiento secundario:** Este método está creado para descomponer el contenido biológico del agua residual el cual se da por dos medios. El primero es en un medio aerobio, en presencia de oxígeno, el cual degrada la masa orgánica liberando CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. Por otra parte, el medio anaerobio, en ausencia del oxígeno, degrada la materia orgánica generando metano (CH<sub>4</sub>) y CO<sub>2</sub>. Los procesos aerobios utilizados en el tratamiento secundario son los Filtros Biológicos, Lodos Activados y Zanjias de Oxidación. Para los procesos anaerobios se utilizan Reactores Anaerobios de flujo Ascendente y las Lagunas

de Estabilización que pueden ser aerobias, anaerobias y facultativas. El tratamiento secundario es destinado para principalmente descomponer el contenido biológico de las aguas residuales que se proceden de los desechos humanos, restos de alimentos y productos de limpieza. En su total las plantas municipales e industriales tratan el licor de las aguas residuales utilizando métodos biológicos aeróbicos. Para que el método biótico sea practico, necesita oxígeno y un sustrato en el cual desarrollarse. En estos procesos, las bacterias y los protozoarios agotan los contaminantes orgánicos solubles biodegradables y juntan muchas partes disolubles en partículas de floculo. (Abregu, 2015).

- **Tratamiento terciario:** Es un método más completo, consiste en un proceso fisicoquímico ya sea precipitación, filtración y/o cloración para reducir significativamente nutrientes inorgánicos como nitratos y fosfatos del efluente final. Se puede decir que es como un método avanzado, pero relativamente caro.

Son procesos de tratamiento adelantados, de origen biológico, químico o por radiación. En estos procesos, la supresión, de los compuestos tóxicos perennes para la vida acuática, se desarrolla por medio de la mineralización total del contaminante y, en diferentes casos, se pretende que el compuesto inicial se descomponga a compuestos inofensivos. Estos tratamientos terciarios se aplican solo cuando la capacidad del contaminante esta en mínimas concentraciones. (Cadillo, 2017).

Por esta razón los humedales artificiales son una buena opción que puede reemplazar a los tratamientos terciarios, pero con la diferencia que desde un ámbito ambiental es más ecoeficiente, al no utilizar altos niveles de energía, además de

tener un mantenimiento, operación e inversión de bajo costo ya que al tratar de simular un humedal natural no requiere de actividades complejas.

Los humedales artificiales, conjuntamente con las lagunas de estabilización, tienen los mínimos costes de tratamiento por no necesitar energía eléctrica para su funcionamiento. Los costes de energía eléctrica en un sistema intensivo usualmente son semejantes al 80% de los costes de ejecución. Es factible en la ejecución y mantenimiento en términos de costo, capacitación, equipos e insumos. (CONAGUA, 2017).

Los humedales artificiales son sistemas que cada día van tomando más interés en el ámbito de la purificación de aguas residuales. En países desarrollados como Alemania, Francia, Polonia, entre otros, es común ver la implementación de estos sistemas. Aún falta mucho por conocer e investigar sobre los humedales artificiales, pero se espera que también sean comunes en países de América latina, no solo en las comunidades pequeñas, sino también en las grandes ciudades. (Sandoval, 2018).

Lamentablemente Perú forma parte de la lista de países en Latinoamérica que no cuenta con este tipo de tecnologías debido a la falta de investigación e importancia del mismo.

### **2.2.5. Humedales**

Los humedales naturales son ecosistemas que se diferencian por poseer flora acomodada a una inundación regular. Comúnmente se encuentran en áreas aledañas a cuerpos de agua, como ríos y lagos.

Son unidades imprescindibles del ecosistema debido a diferentes servicios que estos brindan, los cuales cabe resaltar la atenuación de inundaciones y la depuración del agua. (Siachoque, 2009).

### 2.2.6. Humedales artificiales

Una manera de recrear estos sistemas es por medio de un humedal artificial, el cual adquiere condiciones que se asemejan a uno natural con la diferencia de que se les puede dar un uso adicional, cabe resaltar que estos sistemas artificiales presentan tanto ventajas como ciertas desventajas las cuales se precisan en la **tabla 2**.

**Tabla 2:** Atributos y obstáculos del sistema de humedales artificiales.

Atributos	Obstáculos
Mínimos costes de operación.	Los costos de construcción necesitan de un capital medio a alto.
Mínimo desgaste de elementos e insumos de energía.	Para su fabricación se requiere de un área extensa.
Soportan una extensa gama de contaminantes.	Apilamiento de sustancias nocivas en el terreno y sedimentos.
Proceso natural y sostenible para el trato de aguas residuales.	Por ser sistemas naturales, pueden exhibir alteraciones en su utilidad debido a las variaciones climáticas.
En estos se desenvuelven una extensa gama en métodos de purificación.	Limitado control operacional sobre los métodos de tratamiento.
Además de brindar tratamiento a aguas residuales pueden presentar diversas utilidades como una habitat para la fauna agreste.	En algunas situaciones los beneficios adicionales pueden causar conflicto tales como dilemas con la fauna local, atraer fauna dañina, etc.

**Fuente:** (Yelhsin Miguel Gómez Lordan, 2017).

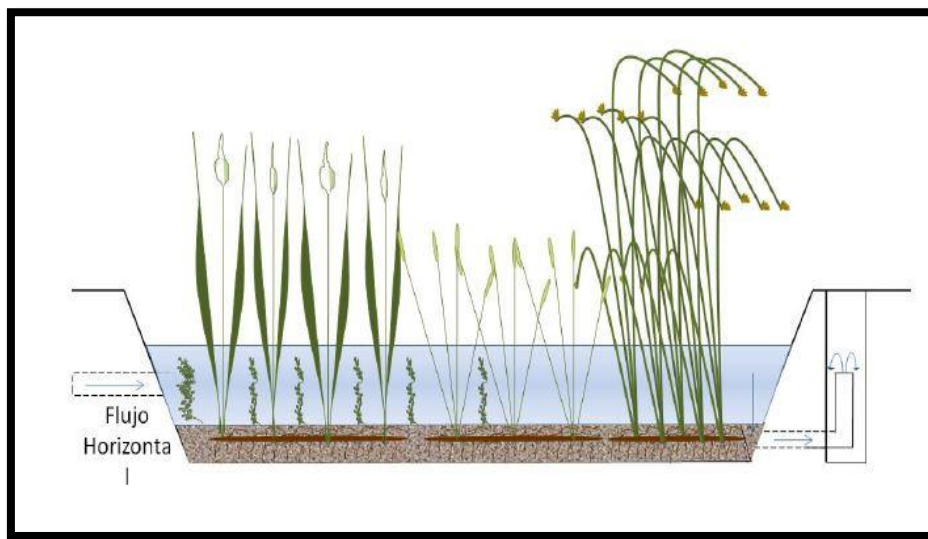


Hay dos tipos de humedales artificiosos:

### 2.2.6.1. Humedal artificial de flujo libre o superficial (FL)

Se les denomina así a aquellos sistemas los cuales permitan el contacto del agua residual con el ambiente y las macrófitas flotantes que se encuentran arraigadas encima de una capa del suelo o grava impermeabilizados. (Máximo Fidel Baca Neglia, 2012).

**Fig. 2:** Humedal artificial de flujo superficial.



**Fuente:** (López E. P., 2009)

### 2.2.6.2. Humedal artificial de flujo subsuperficial (FS)

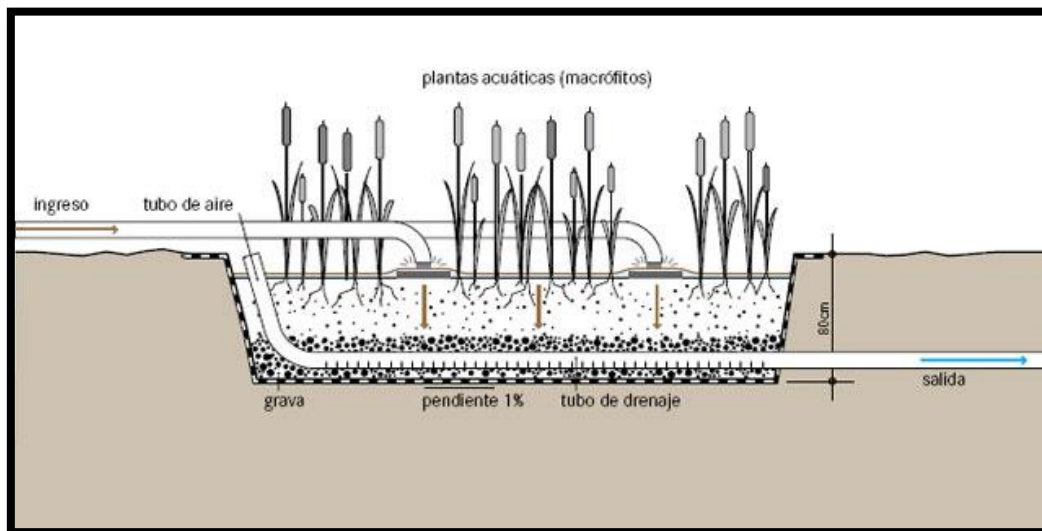
Son tipos de procedimientos donde el agua residual transcurren por debajo del exterior del material impermeabilizado, el cual puede ser arena, suelo o grava; estos materiales forman un medio poroso donde las bacterias y demás microorganismos degradaran la materia orgánica y/o los contaminantes. Se pueden distinguir dos tipos:

- **Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical:** En este modelo de humedales las aguas residuales son vertidas encima la superficie del área del lecho.

- **Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal:** El agua residual fluye de manera horizontal por medio del lecho como si fuese un canal.

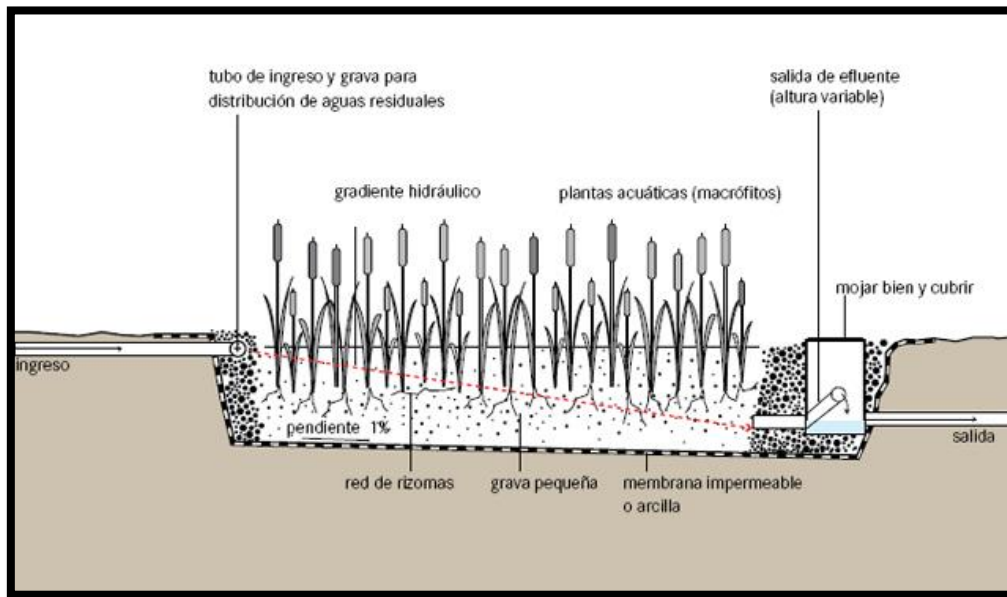
Los humedales superficiales de flujo subsuperficial tienen ciertos atributos con respecto a los de flujo libre ya que presentan un medio poroso (biopelícula) en el cual el crecimiento de microorganismos aerobios se acelera y por ende la remoción también. Por otro lado, ya que el agua se encuentra por debajo del medio esta no entra en contacto con la atmosfera; en tal sentido, no se genera una propagación de vectores tales como el mosquito ni genera malos olores. Es importante señalar que el agua al estar por debajo del medio se genera una protección térmica lo cual favorece la utilización de este sistema en lugares donde las temperaturas son más bajas.

**Fig. 3:** Humedal artificial de flujo subsuperficial vertical.



**Fuente:** (Salazar J. L., 2015).

**Fig. 4:** Humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.



**Fuente:** (Madrid blogs, 2013).

### 2.2.6.3. Componentes de un humedal artificial

Los componentes que influyen fundamentalmente en los procesos depuradores de los humedales artificiales son los siguientes:

- **Plantas:** El acto de purificar las aguas residuales mediante el uso de macrófitas se le denomina fitodepuración, y es desarrollada por las macrófitas acuáticas o también llamadas: plantas hidrófilas o hidrófitas, o plantas hidrófilas o higrófilas, estas se adaptan a entornos de elevada humedad o acuáticos (lagos, estanques, charcos, estuarios, pantanos, orillas de los ríos, deltas o lagunas marinas).

En los humedales artificiales edificados se utilizan matas superiores o macrófitas. La denominación de macrófitas, por su denominación científica, contiene a las plantas acuáticas palpables a plena vista y abarca matas acuáticas vasculares, helechos, algas y musgos. Constituyen "fotosistemas", ya que utilizan la energía solar por medio de la fotosíntesis; que llega a convertir

la luz solar en energía química, que es utilizada en su asimilación para desarrollar funciones básicas e incorporar oxígeno al medio. (Martínez, 2014). En los humedales artificiales se han usado una diversidad de matas flotantes similares a las descubiertas en los humedales naturales. Las matas que tienen mayor reiteración al ser utilizadas son: las espadañas o enneas (*Typha sp.*), caña o junquillo (*Phragmites communies*), papiro (*Cyperus papyrus*), totora (*Schoenoplectus californicus*), y los juncos (*Juncos sp.*), (*Scirpus sp.*) y (*Carex sp.*). (Neglia, 2012).

- **Agua residual:** Es el agua residual proveniente de las actividades domésticas, comerciales e industriales. Generalmente son aguas provenientes de actividades domésticas o agrícolas las cuales son captadas por una PTAR y se les da un tratamiento previo.
- **Medio de soporte o sustrato:** La técnica de trato de aguas residuales se lleva a cabo principalmente en el medio de soporte en donde los microorganismos están adheridos a los rizomas de las plantas y en el terreno de tipo granular formando la biopelícula debido a la porosidad del medio. La dimensión del medio granular perjudica inmediatamente al flujo hidráulico del humedal y como consecuencia al caudal del agua residual a depurar. Si el estrato granular está compuesto por altas concentraciones de arcilla y limo, se obtiene una elevada permeabilidad y una mejor filtración, ya que la adsorción es elevada y el calibre de los orificios es mínimo. Pero también este medio tiene una alta resistencia hidráulica y necesita velocidades de flujo muy bajas, acotando el caudal del agua residual a tratar. (Lordan, 2017). Está constituido por el suelo, arena, grava, roca y demás materiales como sedimentos, compost y restos de vegetación. Los anteriores son importantes

porque brindan las particularidades de permeabilidad necesarias para el flujo del agua (**tabla 3**), funcionan como filtro de los contaminantes, dan sustento a los organismos vivos que se desarrollan en el área y dan lugar a reacciones biológicas que adicionan eficiencia al tratamiento que se realiza. (Peluffo, 2016).

Los sustratos en los humedales artificiosos incluye roca, arena, grava, arena y materiales orgánicos como el compost. Sedimentos y residuos vegetales se aglomeran en el humedal ya que presenta poco flujo de agua y a la elevada productividad característica de estos sistemas. En un sustrato atiborrado, el agua sustituye los gases atmosféricos en los poros y el metabolismo microbiano del ambiente, puede dar lugar a la creación de un sustrato anóxico, el cual será necesario para la eliminación de contaminantes como el nitrógeno y metales. (Borrero, 1999).

**Tabla 3:** Particularidades del recurso para sistemas de humedales artificiales.

Tipos de recurso	Dimensión del grano, mm	Porosidad ( $\eta$ )	Conductividad hidráulica ( $K_s$ ), $m^3/m^2.d$	$K_{20}$
Arena media	1	0.42	420	1.84
Arena gruesa	2	0.39	480	1.35
Gravilla arenosa	8	0,35	500	0.86

**Fuente:** (U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development, 1988)

- **Microorganismos:** Los microorganismos son parte primordial de un humedal artificial, debido a su metabolismo ya que regulan gran parte de las funciones que ocurren dentro de él. Algunas de estas funciones son agotar la mayor cantidad de carbono orgánico y de nutrientes, modificar sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inmiscibles, reutilizar nutrientes y variar las condiciones de potencial rédox del sustrato para así alterar en gran medida la capacidad de proceso depurador del humedal. (Peluffo, 2016). Los primordiales microorganismos encontrados en la biopelícula de los humedales son: helmintos, bacterias, levaduras, hongos, virus y protozoarios. El indicador comúnmente usado son los coliformes fecales, pero también se ha analizado la conducta de otros grupos microbianos presentes en humedales construidos, como los *Estreptococos fecales*, *Salmonella*, *Pseudomonas* y *Clorstridium*. (Martínez, 2014).

#### **2.2.6.4. *Schoenoplectus Californicus***

La totora es una hierba permanente, fasciculada, con rizomas fibrosas que puede medir hasta 4 metros de altura. Presenta un tallo erecto, flexible, rollizo, liso, liviano, similar al césped sin tener tuberosidades el origen.

En la **tabla 4** se muestra la descripción taxonómica del *Schoenoplectus californicus*, llamada Totorá la cual proviene del Quechua *t'utura*.

La inflorescencia es un adherido común y seudolateral de espiguillas; presenta una bráctea erguida, que parece una continuación del tallo. Las espiguillas son abundantes, sésiles, hermafroditas, oblongas y ovoides. Presenta glumas helicoidales, redondas, ovadas en la parte posterior, con una nervadura media fuerte y una lateral obsoleta; la raquilla es persistente. (Quiroz, 2007).

**Tabla 4:** Taxonomía de la especie vegetal *Schoenoplectus*.

Especie Vegetal	
Nombre Científico	<i>Schoenoplectus californicus</i>
Nombre Común	Totora
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Orden	Cyperales
Familia	Cyperácea
Genero	<i>Schoenoplectus</i>

**Fuente:** (Quiroz, 2007).

#### **2.2.6.5. Criterios para el diseño de un humedal artificial**

Para poder obtener o calcular las dimensiones de un humedal artificial se tiene que tomar en consideración criterios importantes como: temperatura aparente del medio, tiempo de contención para la remoción de la DBO, área superficial requerida, área superficial transversal, anchura y longitud del lecho. (López O. J., 2014).

Según Oscar Javier Bernal López, para calcular las dimensiones del humedal piloto se tomó como referencia las siguientes ecuaciones:

##### **2.2.6.5.1. Temperatura promedio del medio**

La temperatura juega un papel significativo en la descomposición de la materia orgánica ya que es directamente proporcional a la actividad microbiana, esto responde a la siguiente ecuación:

$$Kt = K_{20}(1,1)^{T-20}$$

Donde:

$K_{20}$ : Constante de velocidad en primer orden, depende de la temperatura.

T: Temperatura del afluente (°C).

#### 2.2.6.5.2. Tiempo de retención para la remoción de la DBO

Para calcular el tiempo de contención para la degradación de la materia orgánica o DBO se utilizará la siguiente ecuación:

$$T = \frac{\ln(C_o/C_e)}{Kt}$$

Donde:

T: Tiempo de contención para la degradación de la DBO (día).

$C_o$ : Concentración de materia orgánica en el afluente (mg/L).

$C_e$ : Concentración de materia orgánica que se pretende obtener en el efluente (mg/L).

$Kt$ : Temperatura aparente del medio (°C).

El valor de la constante de degradación a 20°C es aproximada a 1.1 d<sup>-1</sup>.

Similar a los humedales artificiales de flujo libre, los humedales artificiales de flujo subsuperficial soportan algunas regeneraciones de DBO debido a la descomposición, que principalmente proceden de los rizomas, ya que la vegetación en putrefacción se encuentra en el exterior del estrato y sustenta fuera de la columna de agua. La degradación de las raíces generara 2 a 3 mg/L de DBO<sub>5</sub>. (Neglia, 2012).

#### 2.2.6.5.3. Área superficial requerida

El cálculo del área superficial se puede dar con la siguiente ecuación:

$$A_s = \frac{Q \cdot T}{\eta \cdot h}$$



Reemplazando la ecuación de Tiempo de Retención (T), se puede llegar a lo siguiente:

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln(C_o/C_e)}{Kt \cdot \eta \cdot h}$$

Donde:

As: Área superficial requerida (m<sup>2</sup>).

Q: Caudal (m<sup>3</sup>/d).

η: Porosidad.

h: Altura o profundidad del medio (m).

#### **2.2.6.5.4. Área superficial transversal**

El área transversal se puede calcular de la siguiente manera:

$$A_c = \frac{Q}{K_s \cdot S}$$

Donde:

Ac: Área superficial transversal (m<sup>2</sup>).

Ks: Conductividad hidráulica (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d).

S: Pendiente

#### **2.2.6.5.5. Anchura del lecho**

Se utiliza la siguiente ecuación:

$$W = \frac{A_c}{h}$$

Donde:

W: Anchura del medio (m).

#### **2.2.6.5.6. Longitud del lecho. -**

Para calcular la longitud del lecho se tiene en cuenta la siguiente ecuación:

$$T = \frac{L \cdot W \cdot \eta \cdot h}{Q}$$

Despejando se obtiene:

$$L = \frac{T \cdot Q}{W \cdot \eta \cdot h}$$

Donde:

L: Longitud del medio (m).

### 2.3. Definición de términos básicos

**Absorción:** Es la tendencia de los átomos o moléculas de penetrar la superficie de otra sustancia.

**Adsorción:** Es la tendencia de los átomos o moléculas de ser retenidas sobre la superficie de otra sustancia.

**Aerobio:** Es aquel medio en el cual los microorganismos se pueden desarrollar y reproducir en presencia de oxígeno.

**Afluente:** Agua u otro tipo de líquido que entra a un reservorio, planta de purificación o proceso de purificación. (OS.090, 2015)

**Anaerobio:** Es aquel medio en el cual los microorganismos se pueden desarrollar y reproducir en ausencia de oxígeno.

**Biopelícula:** Son organizaciones o colonias de microorganismos los cuales se adhieren a superficies vivas o inertes para su posterior actividad microbiana. Es un ecosistema microbiano sistematizado, estructurado por uno o varios microorganismos afiliados a una superficie viva o inactiva, con cualidades funcionales y sistema complejos. (Orocaya, 2012)

**Caudal:** Es la dosis de agua que transcurre por una parte determinada en una unidad de tiempo. (ANA, 2012).

**Efluente:** Líquido que sale de un método de purificación. (OS.090, 2015).

**Estándar de calidad ambiental (ECA):** Es un instrumento de gestión ambiental que se establece para determinar el estado de la calidad del ambiente en el área nacional. El ECA constituye los niveles de concentración de elementos o sustancias presentes en el ambiente que no representen riesgos para la salud y el ambiente. (MINAM, 2017).

**Glumas:** Es una vaina estéril, externa, basal y membranosa que rodean y protegen a las espiguillas.

**Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR):** Infraestructura con métodos que conceden la purificación de aguas residuales. (OS.090, 2015).

**Raquilla:** Pequeña prolongación que se encuentra arriba de la inserción de las glumas, donde se disponen los flóculos.

**Turba:** Especie de combustible fósil o alquitrán que se genera por la degradación de la masa orgánica en el fondo de un humedal artificial.

## CAPITULO III

### DESARROLLO DEL TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

#### 3.1. Modelo de solución propuesto

##### 3.1.1. Calculo para el diseño del humedal piloto

- a. El nivel o la fosa del medio será de 0.40m, respetando el tamaño promedio de crecimiento de las raíces de las totoras. De igual manera el caudal tendrá un valor opcional de 0.1 m<sup>3</sup>/d, con el fin de no saturar el lecho.
- b. La pendiente de inclinación es un valor arbitrario de 0.001, el cual busca tener un leve desnivel, con el propósito de maximizar el tiempo de retención, para poder monitorear el agua tratada que se almacenara en el pequeño reservorio.
- c. Para determinar los valores de  $\eta$ ,  $K_s$  y  $K_{20}$  nos ubicamos en la **tabla 3** donde:

$\eta$ (porosidad)	:	0,35	
$K_s$ (Conductividad hidráulica)	:	500	(m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)
$K_{20}$ (Constante de velocidad)	:	0.86	

- d. Cálculo de valor de  $K_t$  a 17°C.

$$K_t = K_{20} (1.1)^{T-20}$$

$$K_{17} = 0.86 (1.1)^{(17-20)}$$

$$K_{17} = 0.6461 \text{ d}^{-1}$$

- e. Determinación del tiempo de retención, en este caso se tomara un exceso en la concentración de DBO en el afluente ya que puede haber valores atípicos.

$$C_o = 100 \text{ mg/L}$$

$$C_e = 14 \text{ mg/L}$$

$$K_t = K_{17} = 0.6461 \text{ d}^{-1}$$

$$T = \frac{\ln(C_o/C_e)}{K_t}$$

$$T = \frac{\ln(100\text{mg/L}/14\text{mg/L})}{0.6461\text{d}^{-1}}$$

$$T = 3.043\text{d}$$

- f. Cálculo del área superficial.

$$A_s = \frac{Q \cdot \ln(C_o/C_e)}{K_t \cdot \eta \cdot h}$$

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$\eta = 0.35$$

$$h = 0.40 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{d}} \cdot \ln(100\text{mg/L}/14\text{mg/L})}{0.6461 \text{ d}^{-1} \cdot 0.35 \cdot 0.4\text{m}}$$

$$A_s = 2.174 \text{ m}^2$$

g. Determinación del área superficial transversal.

$$Ac = \frac{Q}{Ks \cdot S}$$

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$Ks = 500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$$

$$S = 0.001$$

$$Ac = \frac{0.1 \text{ m}^3/\text{d}}{500 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d} \cdot 0.001}$$

$$Ac = 0.2 \text{ m}^2$$

h. Determinación de la anchura del lecho.

$$w = \frac{Ac}{h}$$

$$Ac = 0.2 \text{ m}^2$$

$$h = 0.4 \text{ m}$$

$$W = \frac{0.2 \text{ m}^2}{0.4 \text{ m}}$$

$$w = 0.5 \text{ m}$$

i. Determinación de la longitud del lecho.

$$L = \frac{T \cdot Q}{W \cdot \eta \cdot h}$$

$$T = 3.043 \text{ d}$$

$$Q = 0.1 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$W = 0.5 \text{ m}$$

$$\eta = 0.35$$

$$h = 0.4 \text{ m}$$

$$L = \frac{3.043 d \cdot 0.1 m^3/d}{0.5 m \cdot 0.35 \cdot 0.4 m}$$

$$L = 4.347 m$$

### 3.1.2. Obtención de materiales

Los materiales inevitables para la edificación del humedal artificial piloto se pueden precisar en la **tabla 5**, en cuanto a las macrófitas (*Schoenoplectus californicus*) necesarias para el estudio fueron obtenidas en los pantanos de Villa El Salvador, Lima-Perú. Con el fin de ahorrar recursos económicos.

**Tabla 5:** Materiales de edificación para el humedal artificial piloto.

Materiales de edificación	
Tablones de madera de 6m x 4"	Geotextil (60 m <sup>2</sup> )
Parantes de madera de 3m x 2" ½	Tornillos de 2"
Tubos de PVC de 1" ½ y 2"	Abrazaderas de acero de 2"
Adaptador tipo codo de PVC de 1" ½ y 2"	Adaptador tipo T de 2"

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.3. Construcción del piloto

Para desarrollar el siguiente proyecto se utilizará una estructura de madera con 2 divisiones recubierto con una membrana denominada "geotextil", el cual impermeabilizará dicha estructura, ubicada en las instalaciones de la PTAR "Juan Velasco Alvarado". Las medidas de la madera para estructurar el humedal, según los cálculos, son las siguientes:

- Largo: 4.95 metros
- Ancho: 0.5 metros
- Alto: 0.4 metros

En el caso de la longitud del lecho (largo) se le aumento 0.6 metros para tener un área donde se pueda hacer el monitoreo del agua residual tratada.

### **3.1.3.1. Adaptación de las macrófitas**

La adaptación de las macrófitas se realizó en un periodo de 1 a 2 semanas, las cuales estuvieron sumergidas en las aguas residuales provenientes de las PTAR “Juan Velasco Alvarado” hasta que de estas brotaran nuevas raíces, además las macrófitas seleccionadas no eran especies maduras ya que su tiempo de adaptación es más lento.

Una vez adaptadas las macrófitas se las pondrá dentro del sustrato, el cual estará en el humedal de flujo subsuperficial piloto, debidamente nivelado.

*Fig. 5: Adaptación de las macrófitas.*



**Fuente:** Elaboración propia.

### **3.1.4. Técnicas de caracterización de aguas residuales**

#### **3.1.4.1. Parámetros a medir**

Los parámetros que se monitorearan son los siguientes:



- ✓ Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).
- ✓ Demanda Química de Oxígeno (DQO).
- ✓ Oxígeno Disuelto (OD).
- ✓ Coliformes Termo-tolerantes o Fecales (CF).

#### 3.1.4.2. Selección de los puntos de muestreo

Los trazos de monitoreo son 2 básicamente.

El primer punto (CAR-01) será a la entrada del humedal de flujo subsuperficial piloto con el fin de saber el valor de cada uno de los parámetros a evaluar y saber si excede o no con la normativa vigente.

El segundo punto (CAR-02) será a la salida del humedal de flujo subsuperficial piloto con el fin de conocer si los parámetros evaluados disminuyeron su concentración y compararlos con la normativa vigente.

**Fig. 6:** Punto de medición CAR-01.



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 7:** Punto de medición CAR-02.



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.4.3. Captura de muestras

La captura de muestras se dio de la siguiente manera:

**Fig. 8:** Monitoreo en el punto CAR-01 (entrada).



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 9:** Muestras del punto CAR-01 (entrada).



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 10:** Monitoreo en el punto CAR-02 (salida).



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 11:** Muestras del punto CAR-02 (salida).



**Fuente:** Elaboración propia.

#### **3.1.4.4. Selección de métodos analíticos**

Los procesos o procedimientos para realizar el monitoreo de las aguas residuales están a cargo del laboratorio Servicios Analíticos Generales S.A.C. los cuales se pueden precisar en la **tabla 6**.

**Tabla 6:** Metodología para el análisis de muestras.

Parámetros	Metodología
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF part5210B, 23rd Ed. 2007. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.
Oxígeno Disuelto (OD)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

**Fuentes:** Servicios Analíticos Generales S.A.C. (S.A.G.)

#### **3.1.4. Actividades para realizar el muestreo**

Con el objetivo de no alterar los resultados de las muestras es necesario utilizar los implementos de seguridad tales como dos pares de guantes, una mascarilla, guardapolvo y una red para el cabello. Además de cumplir con el Protocolo Nacional

para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales según Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA.

#### 3.1.4.4. Preservantes

Al tratarse de parámetros orgánicos como Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y coliformes termo-tolerantes o fecales (CF) solo es necesario utilizando algún tipo de refrigerante común como hielo, hielo seco o ice pack.

En el caso del oxígeno disuelto (OD) es necesario utilizar dos tipos de preservantes tales como el sulfato de manganeso ( $MnSO_4$ ) "reactivo I", el hidróxido de sodio (NaOH) y el yoduro de potasio (KI), estos últimos mezclados en una solución única "reactivo II".

Para poder conservar la Demanda Química de Oxígeno (DQO) el preservante que se utilizara es el ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) con pH menor a dos.

**Fig. 12:** Preservante para el OD "reactivo I".



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 13:** Preservante para el OD "reactivo II".



**Fuente:** Elaboración propia.

**Fig. 14:** Preservante para la DQO " $H_2SO_4$ ".



**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.4.5. Materiales para el muestro

Los instrumentos que se utilizaron para monitorear del afluyente se pueden detallar en la **tabla 7**.

**Tabla 7:** Detalles de los materiales para el monitoreo.

Materiales	Capacidad	Cantidad
Frasco estéril de vidrio	250 mL	02
Frasco Wincler	300 mL	02
Frasco de plástico	120 mL	02
Frasco de plástico	500 mL	02
Cooler		01

**Fuente:** Elaboración propia.

### 3.1.4.6. Equipo de seguridad para el muestreo

Al momento de ejecutar la captura de muestras del efluente proveniente del humedal piloto, por motivo de seguridad a fin de evitar el contacto directo y alteración de la muestra se utilizó:

- ✓ Un mandil o guardapolvo blanco
- ✓ Dos mascarillas desechables.
- ✓ Un par de guantes de nitrilo.
- ✓ Una malla para el cabello.

## 3.2. Caracterización de parámetros

Los análisis del agua residual que se realizaron en el Laboratorio Ambiental "Servicios Analíticos Generales S.A.G." arrojaron los siguientes resultados los cuales se pueden observar en la **tabla 8**.



El primer punto de monitoreo denominado “Calidad de agua residual 1 (CAR-01)” nos muestra los valores de la DBO, DQO, OD y Coliformes fecales en el afluente del humedal artificial obtenidos por el laboratorio.

El segundo punto de monitoreo denominado “Calidad de agua residual 2 (CAR-02)” nos muestra los valores de la DBO, DQO, OD y Coliformes fecales en el efluente del humedal artificial obtenidos por el laboratorio.

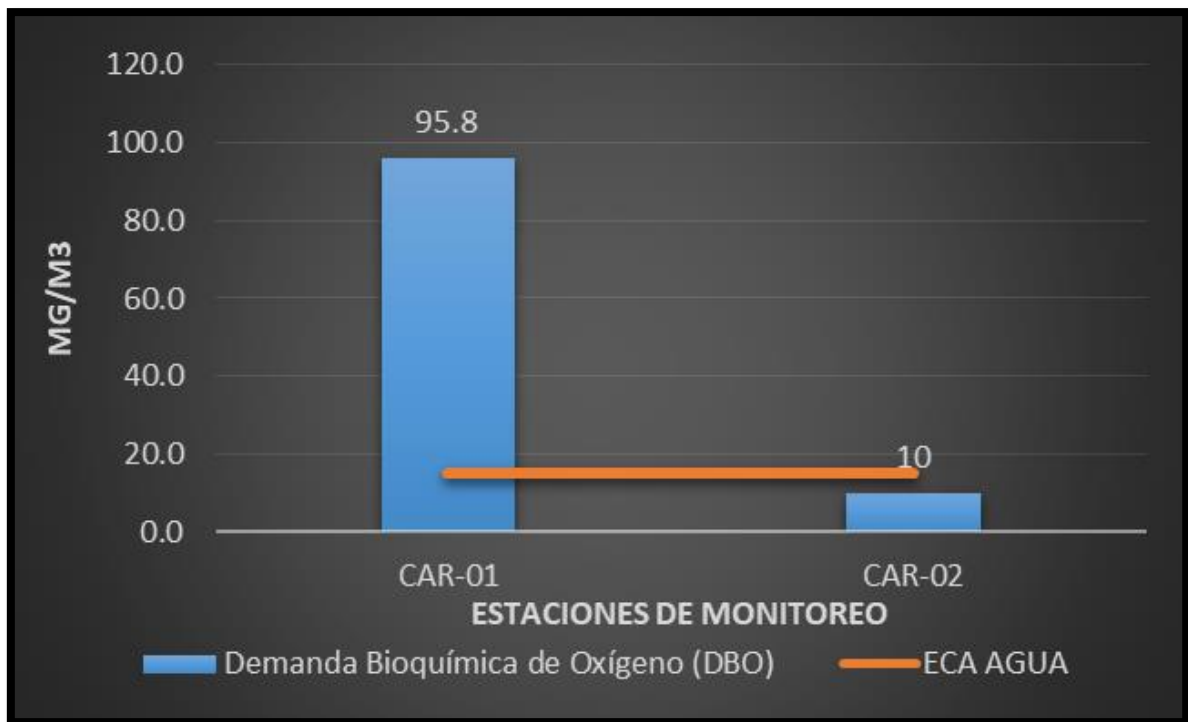
**Tabla 8:** Resultado de los análisis de laboratorio.

Parámetros	Unidad	Resultados		ECA
		19/03/2019		
		PTAR		
		CAR-01	CAR-02	
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	95.8	<10	15
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	88.3	10.8	40
Oxígeno Disuelto (OD)	mg/L	<0.5	5.8	≥4
Coliformes Fecales (CF)	NMP/100ml	1100000	900	2000

**Fuente:** Elaboración propia.

## Resultado y comparación de datos obtenidos de la DBO

**Fig. 15:** Gráfico comparativo de la Demanda Biológica de Oxígeno.



**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis de referencia para la Demanda Bioquímica de Oxígeno registro una concentración de 95.8 mg/L en el punto CAR-01 encontrándose por encima de los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3, cuyo valor es de 15 mg/L.

Por otra parte, en el punto CAR-02 se determinó una concentración menor a 10 mg/L, el cual está por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3 establecidos.

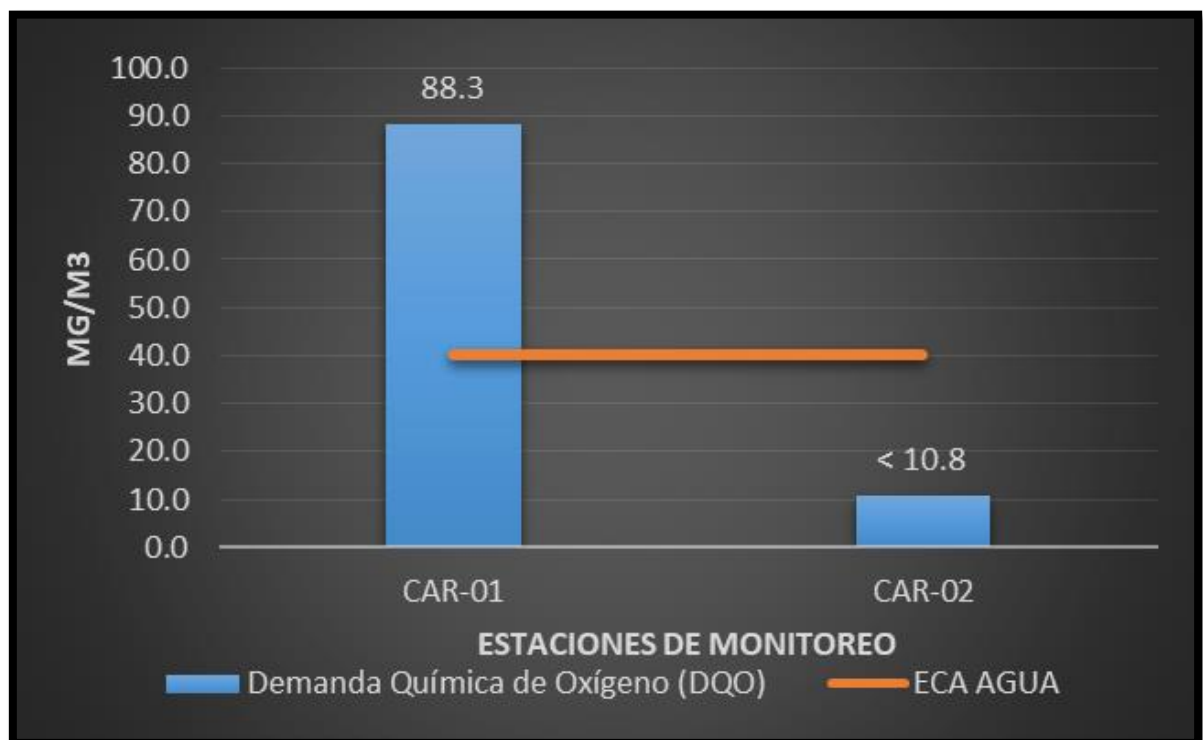
Por esta razón la remoción de la Demanda Bioquímica de Oxígeno tiene una eficacia del 90% aproximadamente.

Lo que favorece a la disminución de la demanda biológica de oxígeno (DBO) son los procesos físicos, gracias a la conductividad hidráulica ya que favorece a la sedimentación de la materia orgánica, y procesos biológicos (*Schoenoplectus californicus* y la biopelícula), ya que al estar condicionada por microorganismos

aerobios estos necesitan oxígeno como aceptor de electrones para poder desarrollarse y transformando la materia biodegradable u orgánica en otro compuesto como: biomasa microbiana, minerales y gases.

### Resultado y comparación de datos obtenidos de la DQO

**Fig. 16:** Gráfico comparativo de la Demanda Química de Oxígeno.



**Fuente:** Elaboración propia.

El análisis de referencia para la Demanda Química de Oxígeno en el punto CAR-01, tuvo como resultado un valor de 88.3 mg/L excediendo notablemente los niveles fijados por los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3, cuyo valor es de 40 mg/L.

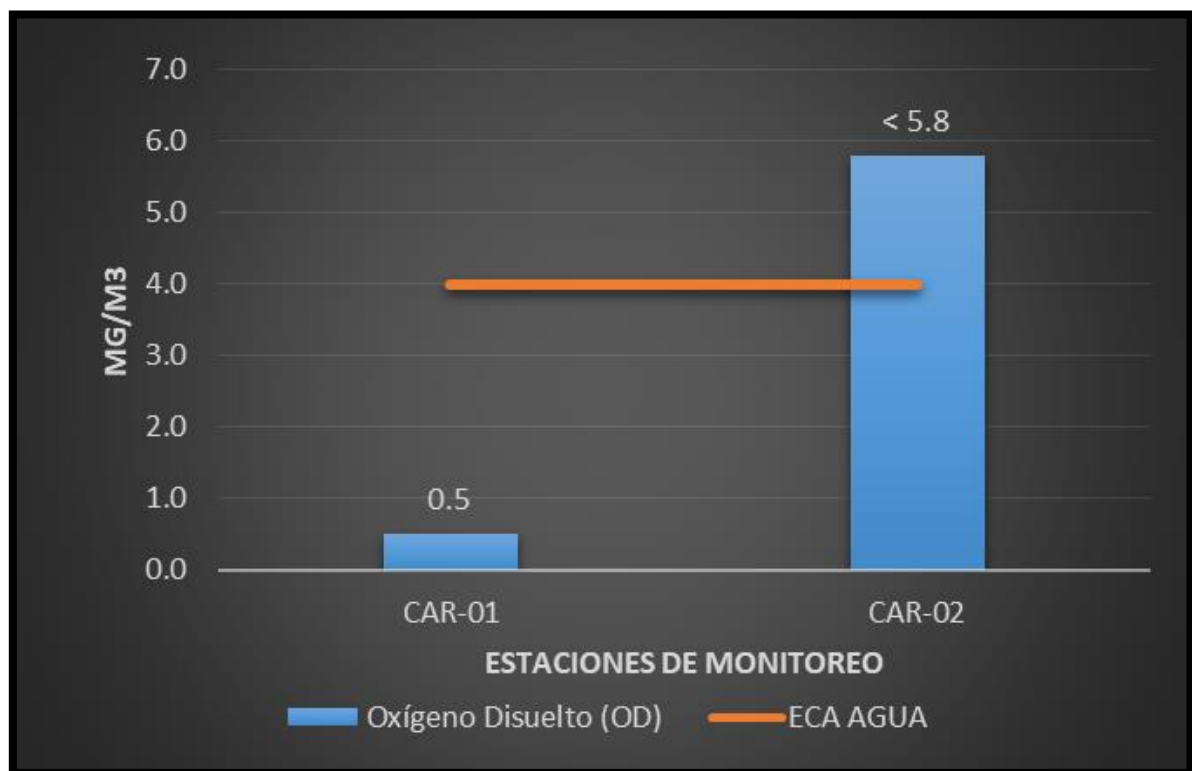
Sin embargo, el resultado obtenido luego del análisis en el punto CAR-02 dio un valor de 10.8 mg/L satisfaciendo así con los Estándares de Calidad Ambiental para agua categoría 3.

En este caso se puede ver un 88% de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.

La reducción de la demanda química de oxígeno (DQO) se da básicamente por la actividad de los microorganismos aerobios mediante de reacciones de hidrolisis, fotosíntesis, oxidación y reducción que favorecen a la biodegradación de la masa orgánica.

### Resultado y comparación de datos obtenidos del OD

**Fig. 17:** Gráfico comparativo del Oxígeno Disuelto.



**Fuente:** Elaboración propia.

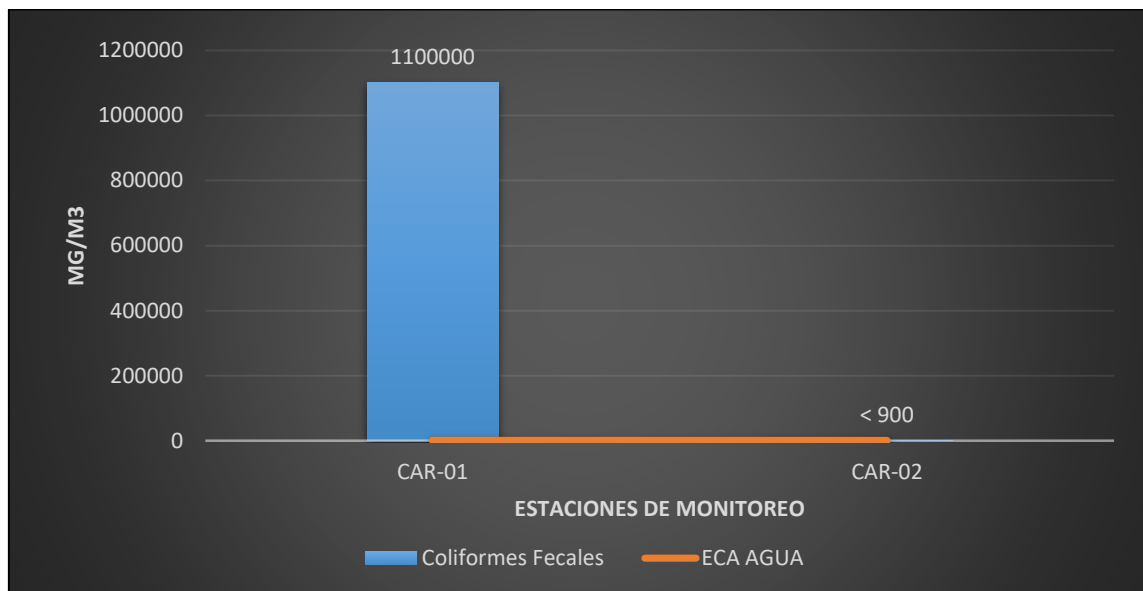
En el gráfico N° 17 se puede observar como en el punto CAR-01 el Oxígeno Disuelto está por debajo de los valores establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3, teniendo como resultado un valor menor a 0.5 mg/L. Según el análisis de referencia realizado.

No obstante, en el punto CAR-02 el valor obtenido es de 5.8 mg/L satisfaciendo con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3 establecidos.

El incremento de oxígeno disuelto (OD) se da básicamente por la actividad fotosintética de la *Schoenoplectus californicus*, debido a la foto asimilación del carbono, el cual aporta oxígeno al agua residual por medio de sus rizomas y esto contribuye a la descomposición de la masa orgánica.

### Resultado y comparación de datos obtenidos de los CF

**Fig. 18:** Gráfico comparativo de los coliformes termo-tolerantes o fecales.



**Fuente:** Elaboración propia.

Se aprecia en la figura N° 18 el valor obtenido para los coliformes termo-tolerantes o fecales es de  $110 \times 10^4$  NMP/100ml excediendo en gran manera a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

Por otra parte, en el punto CAR-02 se puede observar una notable reducción de los coliformes termo-tolerantes fecales con un valor de 900 NMP/100ml, cumpliendo así con los niveles instaurados por los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 3.

Esto debido a la conductividad hidráulica, ya que el paso del agua residual por el humedal artificial se hace cada vez más lenta, estos microorganismos pueden quedar retenidos en la biopelícula o sedimentarse en el humedal artificial y su posterior deceso o degradación por competencia con otros microorganismos o patógenos, esto puede generar una turba en el fondo del humedal artificial.

Cabe precisar que los resultados obtenidos no son determinantes ya que son análisis referenciales y se realizaron para poder utilizar los datos en el diseño del humedal artificial piloto de flujo subsuperficial.

### **3.3. Eficiencia para la remoción de contaminantes**

La presente indagación asume un boceto preexperimental ya que se hizo seguimiento a un grupo de prueba, antes y después del tratamiento. El modelo de exploración es aplicada debido a que su fin es específico, por el empleo de estudios en la práctica y el nivel de la investigación es de tipo exploratoria por el tema y los objetivos. (Peña, 2012).

Para procesar la indagación obtenida en el campo y de los estudios de laboratorio, dichos valores fueron incluidos y examinados por medio del software Microsoft Office Excel 2013, estos datos fueron tabulados y graficados estadísticamente, donde se hizo uso de la estadística descriptiva para poder determinar promedios, mínimos y máximos de remoción de contaminantes. Estos análisis de datos que se obtuvieron de los experimentos permiten estudiar el comportamiento del grupo experimental.

Para hallar la eficiencia de remoción de contaminantes se siguió la metodología empleada por la ingeniera química Lina Marcela Parra Rodríguez, empleando los valores de la **tabla 8** y la siguiente fórmula:

$$E = \left( \frac{S_0 - S}{S_0} \right) \times 100$$

Donde:

E = Eficacia de supresión del sistema (%).

S = Carga del contaminante de salida (mg DBO, DQO o SST).

S<sub>0</sub> = Carga del contaminante de entrada (mg DBO, DQO o SST).

**Tabla 9:** Eficacia promedio de remoción de contaminantes.

Parámetros	Valor inicial	Valor final	Eficiencia
DBO	95.8 mg/L	10 mg/L	90%
DQO	88.3 mg/L	10.8 mg/L	88%
CF	1100000 NMP/100ml	900 NMP/100ml	100%
Eficiencia promedio			92%

**Fuente:** Elaboración propia.

En la **tabla 9** se puede contemplar la eficacia, en porcentaje, de supresión de contaminantes.

La eficiencia de remoción alcanzada en el presente trabajo para el caso de la DBO fue de un 90%, pero la eficiencia de remoción obtenida por el ingeniero civil Joel Rubén Raymundo Montes (2017) fue menor ya que tuvo un valor de 70.87%, no obstante para el ingeniero sanitario Daniel Arturo Peña Orocaja (2012) en su trabajo de investigación obtuvo una eficiencia relativamente menor ya que fue de un 88.89%; sin embargo el ingeniero ambiental Gabriel Eduardo Escudero Cornejo (2011) obtuvo una eficiencia mayor que la del presente trabajo de investigación la cual fue del 90.71%.

Para el caso de la DQO la eficiencia de remoción obtenida fue de un 88%, por otra parte el ingeniero civil Joel Rubén Raymundo Montes (2017) obtuvo una eficiencia de

remoción menor a la del presente trabajo de investigación ya que fue de un 86.67%, no obstante el ingeniero sanitario Freddy Emerson Medina Abregu (2015) obtuvo una eficiencia relativamente menor al tener un valor de 85%, sin embargo el ingeniero ambiental Luis Esteban Guerra Flores (2012) obtuvo una eficiencia del 88% cuyo valor se asemeja a la del presente trabajo de investigación.

Por último, la eficiencia de remoción obtenida para el parámetro de coliformes fecales fue de un 100%, sin embargo el ingeniero ambiental Luis Esteban Guerra Flores (2012) obtuvo una eficiencia menor a la del presente trabajo al obtener un valor del 90%, por otra parte el ingeniero sanitario Erwin López Barbarán obtuvo una eficiencia de remoción del 98%, no obstante la doctora en ingeniería hidráulica Nuria Oliver Rajadel (2017) obtuvo una eficiencia de remoción con un valor de 99% el cual se acerca al valor obtenido en el presente trabajo.



## CONCLUSIONES

Luego de haber realizado la prueba piloto de un humedal artificial de flujo subsuperficial para la purificación de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado" se llegó a las siguientes conclusiones:

- Según los ensayos pilotos de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado", es factible el desarrollo de un prototipo para la purificación de las aguas residuales, ya que al caracterizar la DBO, DQO, OD y coliformes fecales del agua al inicio y al final en el sistema de humedad se pudo obtener en el efluente los parámetros se hallan debajo de los ECA para agua de categoría 3 y sub categoría D1 "Riego de vegetales", esto debido a la actividad fitorremediadora y fotosintética por parte de los rizomas de la *Schoenoplectus californicus*, de la conductividad hidráulica y a la biopelícula formada el sustrato, además esta tecnología presenta costes mínimos y un nulo gasto de energía.
- Según con una temperatura de 17°C, caudal de inicio de 0.1 m<sup>3</sup>/d y la cantidad de carga orgánica de 100 mg/L obtenidas en el afluente del humedal artificial, se desarrollan los cálculos de las medidas del humedal artificial, tales como el área transversal (0.2 m<sup>2</sup>), área superficial (2.174 m<sup>2</sup>), largo de (4.347 m) y ancho de 0.5m.
- El tratamiento del agua residual originario de la PTAR "Juan Velasco Alvarado" por parte del sistema de humedal artificial resulta ser eficiente para la remoción de contaminantes, ya que al hacer la comparación de la DBO con un 90% de eficiencia de remoción con la de otros autores se observa que los valores no son tan alejados por lo que hay coincidencia de

resultados. Para el caso de la DQO la eficiencia obtenida es similar o semejante a la de otro autor ya que esta eficiencia es de un 88%, además al comparar este resultado con los valores hallados por diferentes autores se evidencia que dichos resultados no son tal alejados. Por otra parte, la eficacia de supresión obtenida para los coliformes fecales fue un 100%, de igual manera, como se evidencia con los demás parámetros los valores obtenidos por los diferentes autores difieren en porcentajes mínimos y no son tan alejados a los resultados obtenidos, por lo que de tal manera da un respaldo al presente trabajo de investigación. Para el caso del OD no se calculó la eficiencia de remoción ya que lo que se busca de este parámetro es elevar su concentración ya que favorece a la descomposición de la masa orgánica realizada por los microorganismos aerobios.

## RECOMENDACIONES

- Se recomienda la utilización de un humedal artificial de flujo subsuperficial en la depuración de las aguas residuales provenientes de la PTAR "Juan Velasco Alvarado" debido a que esta técnica tiene un impacto positivo en la depuración del agua residual, además resulta ser ecoeficiente al tener un consumo de energía nulo. Cabe resaltar que para el desarrollo del prototipo y su respectivo análisis es preciso hacer un estudio en cuanto a costes de construcción, operación y mantenimiento para determinar su vida útil.
- Realizar un análisis previo al diseño del humedal artificial con los parámetros tales como temperatura (T) y carga orgánica (DBO) ya que estos análisis nos brindaran los datos necesarios para poder hacer los cálculos del tamaño del humedal artificial y de esta manera evitar contratiempos a la hora de su ejecución. Además de realizar un estudio previo de costo y beneficio para determinar la viabilidad del humedal artificial al ser comparado con otros tipos de tratamientos de aguas residuales.
- Realizar más pruebas de análisis de laboratorio, con el fin de hacer un seguimiento continuo y obtener datos con mayor representatividad, así mismo se recomienda analizar otros parámetros tales como sulfatos, fosfatos, nitratos, entre otros. Además de realizar evaluaciones semanales del sistema de humedal artificial para verificar su apropiado funcionamiento, la conductividad hidráulica y el caudal de entrada, que puede afectar el paso del agua residual durante el funcionamiento del humedal artificial para no saturarlo; y de esta manera controlar la muerte de los rizomas de las plantas.

## Bibliografía

- Abregu, F. E. (2015). *Determinación de la eficiencia del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en el barranco del sector cruce de Uchuglla, ciudad de Moyobamba 2013*. Moyobamba - Perú.
- ANA, A. N. (2012). *Autoridad Nacional del Agua*. Lima - Perú.
- Borrero, J. A. (1999). *Depuración de aguas residuales municipales con humedales artificiales*. Barcelona.
- Cadillo, M. C. (2017). *Remoción de materia orgánica mediante Chrysopogon zizanioides en el tratamiento secundario de aguas residuales domésticas de CITRAR*. Lima-Perú.
- Chiappe, I. M. (2014). *Optimización de lagunas de estabilización mediante el uso de macrofitas*. Piura.
- CONAGUA, C. N. (2017). *Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Humedales artificiales*. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.
- Cornejo, G. E. (2009). *Tratamiento de efluentes de la granja porcina del instituto Redentores Mater y Juan Pablo II de Ventanilla a través de humedales artificiales para su reutilización como agua de clase III*. Callao - Perú.
- Encarnación, G. G. (2018). *Diseño de jardín depurador piloto para tratamiento de aguas residuales en la hostería Garceta-Sol*. Quito.
- González, M. E. (2010). *Evaluación de un humedal artificial como tratamiento de agua residual en un asentamiento irregular*. México D.F. - México.

Hidritec. (2016). *Hidritec*. Obtenido de Hidritec:

<http://www.hidritec.com/hidritec/tratamiento-de-aguas-residuales-y-disminucion-de-dqo>

Inga, R. L. (2014). *Propuesta de diseño de humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales con fines de riego en la ciudad Universidad UNSCH 2014*. Lima - Perú.

Lenntech. (2016). *Lenntech*. Obtenido de Lenntech:

<https://www.lenntech.es/nitratos.htm>

López, E. P. (2009). *Selección de plantas acuáticas para establecer humedales en el estado de Durango*. Chihuahua-México.

López, M. E. (2011). *Aguas residuales composición*. Lima - Perú.

López, O. J. (2014). *Diseño de unidad piloto de humedales artificiales de flujo subsuperficial para tratamiento de aguas residuales domesticas en el campus UMNG-CAJICÁ con fines de reusó*. Bogotá-Colombia.

Lordan, Y. M. (2017). *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus altemifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Lima - Perú.

Madrid blogs. (16 de Mayo de 2013). *Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales*. Obtenido de Humedales artificiales como sistemas naturales de depuración de aguas residuales:

<http://www.madrimasd.org/blogs/remtavares/2013/05/16/131891>

Martínez, D. P. (2014). *Evaluación y diseño de un humedal construido para la depuración de aguas residuales domésticas*. Barcelona - España.

MINAM, M. d. (2017). *Ministerio del Ambiente*. Lima - Perú.

- NCPH, D. d. (2009). *Hoja informativa sobre las bacterias coliformes en los pozos de agua privada*. Carolina del Norte-Estados Unidos.
- Neglia, M. F. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona*. Callao - Perú.
- OEFA, O. d. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Lima - Perú.
- Orocaja, D. A. (2012). *Evaluación de la eficiencia de remoción de un humedal artificial en función de la granulometría de grava en el medio filtrante*. Lima - Perú.
- OS.090, N. t. (2015). *Norma técnica de edificación OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales*. Lima - Perú.
- Peluffo, J. C. (2016). *Tratamiento de aguas residuales usando Rhizophora mangle (Mangle rojo) para la remoción de nutrientes y materia orgánica en un humedal artificial de flujo vertical*. Cartagena - Colombia.
- Peña, R. M. (2012). *Protocolo de la Investigación Científica*. Lima.
- Quiroz, F. P. (2007). *Efecto de cinco dosis de probiótico bioseptic en la descomposición de Totora (Schoenoplectus californicus) y su evaluación en el cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) en Yahuarcocha*. Ibarra-Ecuador.
- Rodriguez, L. M. (2006). *Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable*. Manizales - Colombia.
- Rojas, R. (2002). *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. Lima-Perú.
- Rubio, I. B. (2014). *Implementación de humedales artificiales para la depuración de purines de granjas porcinas*. León - España.
- Sáenz, P. B. (2010). *Protocolo de monitoreo de agua*. Lima.

- Salazar, J. L. (2015). *Optimización de la fitorremediación de mercurio en humedales de flujo continuo empleando Eichhornia crassipes "Jacinto de agua"*. Tingo María-Perú: Biblioteca central-UNAS.
- Salazar, J. L. (2015). *Tratamiento de aguas residuales mediante la aplicación de humedales artificiales*. México D.F. - México.
- Sandoval, L. D. (2018). *Propuesta de un humedal artificial en un edificio de oficinas ubicado al sur de la ciudad de México*. México D.F.
- Sevilla, U. d. (17 de Marzo de 2019). *Ambientum*. Obtenido de Ambientum:  
[https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_de\\_sulfatos.asp](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_de_sulfatos.asp)
- Siachoque, I. J. (2009). *Estudios del comportamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial en la planta experimental de Carrión de los Cespedes*. Sevilla - España.
- Torres, E. Y. (2013). *Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial con vegetación herbácea*. Santo Domingo - Ecuador.
- U.S. Environmental Protection Agency Office of Research and Development. (1988). *Design Manual Constructed Wetlands and Aquatic Plant Systems for Municipal Wastewater Treatment*. Washington D.C.-Estados Unidos.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Petitorio para el uso de las instalaciones de la PTAR "Juan Velasco Alvarado"

 UNIVERSIDAD  
DE LIMA SUR

"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

Villa El Salvador, 13 de febrero de 2019

**CARTA DE PRESENTACIÓN N° 007 -2019-UNTELS-CO-V-ACAD-FIG-EIA**

Señor:  
**KEVIN IÑIGO PERALTA**  
Alcalde  
**MUNICIPALIDAD DE VILLA EL SALVADOR**

**Presente.-**

De mi especial consideración:

Es propicia la ocasión para dirigirme a usted y expresarle mis cordiales saludos a nombre de la Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur; asimismo, para hacer de su conocimiento que en nuestra universidad se forman profesionales íntegros en: lo científico; académico; tecnológico y humanístico. No obstante, nuestros alumnos requieren asimilar la experiencia de su empresa y/o institución para consolidar y aplicar los conocimientos teóricos adquiridos en las aulas y con ello, encontrarse aptos para contribuir al desarrollo de la colectividad.


Por ello, consideramos conveniente presentar al Sr. **CARDENAS FLORES DANIEL ANDREE**, con D.N.I N° **71705249** EGRESADO de la carrera profesional de **INGENIERIA AMBIENTAL**, con Código N° **2013100142**, a fin que se le facilite el ingreso a las instalaciones de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, teniendo conocimiento de que el egresado dejó unos materiales previos de la Planta en mención, Rotoplas de 250 litro., estructura de madera, estructura de metal y grava, por el tiempo que sea pertinente para su distinguida institución edil.

El representante único de nuestra universidad es el Ing. Mg. Dr. **Guillermo Vilchez Ochoa** quien suscribe, **RESPONSABLE DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**, con DNI N° **08968007**, siendo el RUC de nuestra universidad N° **20502245032**, y con dirección en Av. Bolívar s/n, Sector 3, Grupo 1, Mz. "A", sub. Lote 3 - Villa El Salvador. Nuestro correo de oficina es: **ingambiental@untels.edu.pe** y nuestros números telefónicos: **987336594** y **715 8878/715 8734** anexo **126**.

Agradeciendo por la deferencia a la presente carta, es propicia la oportunidad para reiterarle mis saludos y desearle el mayor éxito en vuestra gestión.

Atentamente,

  
**Mg. Dr. Guillermo Vilchez Ochoa**  
de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental  
EIA



C.C.  
Archivo  
GVOEIA  
Ara C.


P.J. Villa El Salvador Mz. A, Sub lote 3, Grupo 1, Sector 3 (cruce Av. Central y Av. Bolivar) - Villa El Salvador  
[www.untels.edu.pe](http://www.untels.edu.pe)

  
Municipalidad de Villa El Salvador  
Unidad de Adm. Documental y Archivo Central  
3693  
13 FEB 2019  
DOCUMENTO  
Fila: 02, H: 234, Firma: [Signature]



ANEXO 2: Cadena de custodia.

O.S. 175785



### CADENA DE CUSTODIA DE MONITOREO - DE AGUAS Y SUELOS

FR - 005  
 Versión: 05  
 F.E: 10/2016  
 Página: 1 de 1

Cliente: DANIEL CARDENAS FLORES      Contacto: DANIEL CARDENAS      E-mail: Gersonds@hotmail.com      Telef.(s) 937139622  
 Lugar: VILLA EL SALVADOR - LIMA      Empresa: DANIEL CARDENAS FLORES      Planta: \_\_\_\_\_      Proyecto: Monitoreo de Agua Residual  
 Carta/Cotización: N° 2019-03VE-54-1

MUESTREO POR SAG       MUESTREO POR CLIENTE

PUNTO DE MUESTREO O CÓDIGO DEL CLIENTE	MUESTREO		TIPO DE MATRIZ	PARAMETROS IN SITU				ANÁLISIS DE LABORATORIO		N° Informe: <u>31608-2019</u>
	FECHA	HORA		OD	DOB	DB5	Coliformes Totales	CÓDIGO DE LABORATORIO	DATOS ADICIONALES	
<u>CAR-01</u>	<u>2019/03/19</u>	<u>12:30</u>	<u>Agua Residual DOMESTICA</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<u>19031036</u>
<u>CAR-02</u>	<u>2019/03/19</u>	<u>13:00</u>	<u>Agua Residual DOMESTICA</u>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			<u>19031037</u>

SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES  
**RECIBIDO**  
**19 MAR 2019**  
 RECEPCIÓN DE MUESTRAS  
 SAG

Observaciones de Muestreo: CAR-01: Agua Residual proveniente del alcantarillado del Sector 2 de V.E.S. // CAR-02: Agua Residual tratada a través de un humedal Artificial en la PTAR Juan Velasco Alvarado de V.E.S.

Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable del muestreo: DANIEL CARDENAS FLORES      Firma(s): \_\_\_\_\_      Recibido en laboratorio: 6:01  
 Nombre(s) y Apellido(s) del Responsable o Supervisor en campo: \_\_\_\_\_      Firma(s): \_\_\_\_\_      Día/Hora: 15:00

# ANEXO 3: Resultado de laboratorio.



**SAG**

**LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-047**



Registro N°LE-047

## INFORME DE ENSAYO N° 131608 - 2019 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : DANIEL ANDREE CARDENAS FLORES  
**DOMICILIO LEGAL** : SECTOR 7 GRUPO 3A MZ D8 LOTE 13- VILLA EL SALVADOR- LIMA- LIMA  
**SOLICITADO POR** : DANIEL ANDREE CARDENAS FLORES  
**REFERENCIA** : MONITOREO DE AGUA RESIDUAL  
**PROCEDENCIA** : VILLA EL SALVADOR- LIMA  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRA** : 2019-03-19  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2019-03-19 AL 2019-03-29  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2019-03-19  
**MUESTREO POR** : EL CLIENTE  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.	2.00 <sup>(a)</sup>	mg/L
Demanda Química de oxígeno (DQO)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.	10.0	O <sub>2</sub> mg/L
Oxígeno Disuelto OD	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 4500-O C. 23rd Ed. 2017. Oxygen (Dissolved). Azide Modification.	0.5 <sup>(b)</sup>	O <sub>2</sub> mg/L
Numeración de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E-1, 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.	1.8 <sup>(a)</sup>	NMP/100mL

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

(b) Expresado como límite de detección del método.

### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Agua Residual Doméstica	Agua Residual Doméstica
Matriz analizada	Agua Residual	Agua Residual
Fecha de muestreo	2019-03-19	2019-03-19
Hora de inicio de muestreo (h)	12:30	13:00
Condiciones de la muestra	Refrigerada/Preservada	Refrigerada/Preservada
Código del Cliente	CAR-01	CAR-02
Código del Laboratorio	19031036	19031037
Ensayo	Unidad	Resultados
Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	95.8 < 10
Demanda Química de oxígeno (DQO)	O <sub>2</sub> mg/L	88.3 < 10.8
Oxígeno Disuelto OD	O <sub>2</sub> mg/L	< 0.5 < 5.8
Numeración de Coliformes Fecales <sup>(1)</sup>	NMP/100mL	110 x 10 <sup>4</sup> < 900

(1) Coliformes Fecales es lo mismo que coliformes termotolerantes.

Lima, 02 de Abril del 2019.

Blgo. Roger Aparicio Estrada  
 C.B.P. N° 7403  
 Asesor Técnico Biológico

Quim. Belbeth Y. Fajardo León  
 C.Q.P. N° 648  
 Asesor Técnico Químico

EXPERTS  
 WORKING  
 FOR YOU

Cod.: FI 02/Versión: 08/FE 03/2018

\* El Método Indicado no ha sido acreditado por INACAL-DA.

EPA: Environmental Protection Agency. ASTM: American Society for Testing and Materials. NTP: Norma Técnica Peruana.

OBSERVACIONES: • Está prohibida la reproducción parcial o total del presente documento a menos que sea bajo la autorización escrita de Servicios Analíticos Generales S.A.C. • Los resultados emitidos en este documento solo son válidos para las muestras referidas en el presente informe. • Las muestras serán conservadas de acuerdo al periodo de perecibilidad del parámetro analizado con un máximo de 30 días de haber ingresado las muestras al laboratorio. Luego serán eliminadas. • Para corroborar la AUTENTICIDAD del presente informe comunicarse al correo laboratorio@sagperu.com. • Cualquier modificación no autorizada, fraude o falsificación del contenido o de la apariencia de este documento es ilegal y los culpables pueden ser procesados de acuerdo a ley.

**SERVICIOS ANALÍTICOS GENERALES S.A.C.**

Laboratorio Av. Naciones Unidas N° 1565 Urb. Chacra Ríos Norte - Lima • Oficinas Administrativas Pasaje Clorinda Matto de Turner N° 2079 - Lima  
 • Central Telefónica (511) 425-6885 • Web: www.sagperu.com • Contacto Electrónico sagperu@sagperu.com

Página 1 de 1

**ANEXO 4:** Presupuesto del proyecto piloto.**Tabla 10:** Presupuesto del proyecto.

<b>Materiales</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario (S/.)</b>	<b>Costo total (S/.)</b>
Ensayo de laboratorio	Und.	02	136.00	272.00
Informe de laboratorio	Und.	01	20.00	20.00
Parantes de 2" ½	m	04	4.00	16.00
Tablones de 4"	m	09	5.00	45.00
Geo textil	m <sup>2</sup>	01	150.00	150.00
Tubo de PVC de 1" ½	m	01	4.00	4.00
Tubo de PVC de 2"	m	01	6.00	6.00
Adaptador tipo T de 2"	Und.	01	3.00	3.00
Adaptador tipo codo de 1" ½	Und.	02	2.00	4.00
Tornillos de 2"	Und.	01	30.00	30.00
Abrazaderas de acero de 2"	Und.	02	2.50	5.00
Rotoplast de 250 L	Und.	01	300.00	300.00
Piedra redonda de 3 cm	m <sup>3</sup>	03	60.00	180.00
Piedra bola de 2 mm	m <sup>3</sup>	08	80.00	640.00
<b>Total</b>				<b>1675.00</b>

**Fuente:** Elaboración propia.