UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA

Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental

IMPLEMENTACIÓN PILOTO DE UN HUMEDAL ARTIFICIAL DE FLUJO SUBSUPERFICIAL HORIZONTAL EN LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA, PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DE LA LAGUNA PRIMARIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL – PTAR DEL DISTRITO DE PACOCHA, ILO 2017.

TESIS

PRESENTADA POR:

BACHILLER MARIA DEL CARMEN CEJAS BARJA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

ILO – PERU

2021

Folio Nº 001

ACTA DE SUSTENTACIÓN

I. Modalidad:

Tesis : [✓]
Trabajo de Suficiencia Profesional : [ ]
Otro: ..... : [ ]

II. Documento de aprobación para la sustentación:

Resolución de Comisión Organizadora N° 107-2021-UNAM

Fecha: 27/03/2021

III. El jurado ha dictaminado la (el) Tesis, TITULADO:
"Implementación Piloto de un Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua, Para el Tratamiento del Agua Residual de la Laguna Primaria de la planta de Tratamiento de Agua Residual-PTAR del Distrito de Pacocha ILO 2017"

Bachiller: María Del Carmen Cejas Baria

Asesor Principal: Dr. Eduardo Luis Flores Quispe

Co-Asesor: .....

IV. Se dictamina:

Como: Aprobado por Unanimidad la sustentación de manera:

Presencial [ ] Virtual [✓]

Con nota: Quince (15) por lo que; Sí [✓] No [ ]

Opta el Título Profesional de INGENIERO AMBIENTAL.

Siendo las 22:15 horas, del 29 de enero del año 2021 se procede con la firma en conformidad de lo dictaminado por el Jurado.

M.Sc. Mario Román Flores Roque
Presidente

M.Sc. Rodolfo Rafael Sánchez Valencia
Primer Miembro

Ing. Percy Omar Velásquez Chirinos
Segundo Miembro

Bachiller

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mis pasos para cumplir mis metas en la vida. A mis padres Antonio y Carol, a mis hermana Carmen y Nicoll por el apoyo incondicional durante todo el desarrollo de mi investigación.

A mí querida Universidad Nacional de Moquegua por ser mi alma mater en mi formación académica y ética como profesional integro.

A mis profesores universitarios que con vocación y dedicación impartieron más allá de sus conocimientos, sus experiencias y consejos, a mi jurado de tesis, que me impulso y motivo para el logro de esta investigación.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló desde Febrero hasta fines de Julio del 2017; teniendo como objetivo el implementar un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua para el tratamiento de agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo con un diseño convencional y otro mejorado (zeolita). Para probar la hipótesis de la investigación se procedió a la construcción y operación del humedal artificial piloto en la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua Filial Ilo, aplicando una metodología cuantitativa y la utilización de un diseño de investigación cuasi-experimental analizando la causa y efecto. Siendo las variables de estudios de la investigación: DBO_5, DQO, tiempo de retención y medio de soporte, realizando los respectivos análisis a los 30, 74 y 96 días que se desarrolló la investigación. Se trataron con ambos humedales alrededor de 19.3 m^3 de afluente de la laguna primaria, donde la concentración de la DBO_5 de mi testigo (Afluente) tuvo un promedio de 220.33 mg/l, del Efluente 1 (SHAC) un promedio de 67.33 mg/l y del Efluente 2 (SHAM) con promedio de 51.67 mg/l, logrando que el afluente reduzca su concentración de DBO_5 en un 80% en el Efluente 1 (SHAC) y un 85% en el Efluente 2 (SHAM). Respaldados por los resultados de análisis físicos, químicos y biológicos estandarizados realizados en el laboratorio acreditado, cumpliendo con los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM logrando el objetivo propuesto de aplicar un tratamiento adecuado para las aguas residuales de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.

Palabras Claves: *construcción, aguas residuales, afluente, efluente, concentración, parámetros, humedal artificial, tratamiento, DBO_5, laguna primaria.*

ABSTRACT

This research work was developed from February to the end of July 2017; aiming to implement a pilot horizontal subsurface flow artificial wetland at the National University of Moquegua for the treatment of residual water from the primary lagoon of the WWTP of EPS of the city of Ilo with a conventional design and another improved (zeolite). So, for testing research hypothesis, the construction and operation of the pilot artificial wetland was carried out in the Professional School of Environmental Engineering of the National University of Moquegua Ilo Branch, applying a quantitative methodology and the use of a quasi-experimental research design analyzing cause and effect. The variables of the research studies were: BOD_5, COD, retention time and medium of support, performing the respective analyzes at 30, 74 and 96 days that the research was developed. Both wetlands were treated with around 19.3 m3 of tributary from the primary lagoon, where the concentration of the biochemical oxygen demand on the 5th day of my control (Tributary) had an average of 220.33 mg / l, from Effluent 1 (OAWC) an average of 67.33 mg / l and of Effluent 2 (OIAW) with an average of 51.67 mg / l, achieving that the affluent reduces its concentration of BOD_5 by 80% in Effluent 1 (OAWC) and 85% in Effluent 2 (OIAW). Backed by the results of standardized physical, chemical and biological analyzes carried out in the accredited laboratory, complying with the parameters established in Supreme Decree No. 003-2010-MINAM of the Environment, consequently it was achieving the proposed objective of applying an adequate treatment for the wastewater from the primary lagoon of the WWTP of EPS Ilo.

Keywords: *construction, wastewater, tributary, effluent, concentration, parameters, artificial wetland, treatment, BOD5, primary lagoon.*

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS iii
RESUMEN iv
ABSTRACT v
INDICE GENERAL vi
ÍNDICE DE TABLAS ix
ÍNDICE DE CUADROS x
ÍNDICE DE FIGURAS x
INTRODUCCIÓN 1
1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 2
1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 2
1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 5
1.1.2.1. Interrogante General 5
1.1.2.2. Interrogantes Secundarias 5
1.2. ANTECEDENTES 5
1.3. OBJETIVOS 9
1.3.1. OBJETIVO GENERAL 9
1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 9
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA 9
1.5. HIPÓTESIS 10
1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL 10
1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 10
1.6. VARIABLES 11
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO 12
2.1. BASES TEÓRICAS 12
2.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS 12
2.1.1.1. Aguas Contaminadas 12
2.1.1.2. Aguas Residuales 12

2.1.2. PARÁMETROS DE CONTROL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES 13
2.1.2.1. Sólidos Suspendidos 13
2.1.2.2. Solidos Inorgánicos Disueltos 13
2.1.2.3. Contenido Microbiano Patógeno 13
2.1.2.4. Contenido de Materia Orgánica 14
2.1.2.5. Contenido de Nutrientes 15
2.1.2.6. PH 15
2.1.2.7. Grasas 15
2.1.3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES 16
2.1.4. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES 16
2.1.4.1. Pre Tratamiento 17
2.1.4.2. Tratamiento Primario 17
2.1.4.3. Tratamiento Secundario 18
2.1.4.4. Tratamiento Terciario 18
2.1.5. HUMEDALES 20
2.1.5.1. Tipos de Humedales Artificiales 21
2.1.5.2. Componentes de Humedales Artificiales 23
2.1.5.3. Mecanismos de Remoción 26
2.1.6. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL HUMEDAL 28
2.1.6.1. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal 28
2.1.6.2. Diseño del Humedal 29
2.1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN 31
2.1.7.1. Pre-Tratamiento 32
2.1.7.2. Tratamiento 32
2.2. BASE LEGAL 33
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS 35
2.4. ABREVIATURAS 38
CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO 40

3.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 40
3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN 40
3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN 40
3.1.2.1. Planificación 40
3.1.2.2. Diseño 41
3.1.2.3. Construcción 42
3.1.2.4. Monitoreo 43
3.1.2.5. Análisis de Muestras de Laboratorio 43
3.1.2.6. Análisis de Datos 44
3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN 44
3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL 44
3.2.1. ÁMBITO TEMPORAL 44
3.2.2. ÁMBITO ESPACIAL 44
3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA 46
3.3.1. POBLACIÓN 46
3.3.2. MUESTRA 46
3.4. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN 46
3.4.1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL PTAR 46
3.4.2. TÉCNICAS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES 47
3.5. PROCEDIMIENTOS 49
3.5.1. ACTIVIDADES DE PRE MUESTREO 49
3.5.2. ACTIVIDADES DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA 51
3.6. ANÁLISIS DE DATOS 53
CAPÍTULO 4: RESULTADOS 54
4.1. RESULTADOS 54
4.1.1. PARÁMETROS DE CAMPO 54
4.1.2. PARÁMETROS DE LABORATORIO 62
4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS SEGÚN OBJETIVOS 69

4.2.1. CONTRASTACIÓN DE LA DBO_5 69
4.2.2. CONTRASTACIÓN DE LA DQO 70
4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS..... 72
4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL 74
4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS 75
4.3.2.1. Hipótesis específica 1 75
4.3.2.2. Hipótesis específica 2 76
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS 78
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES..... 81
CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES 82
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... 84
ANEXOS 88
GALERIA DE FOTOS..... 97

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Plantas Emergentes más Utilizadas en Humedales Artificiales 24
Tabla 2 Características Típicas de los Soportes para Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial 25
Tabla 3 Características Típicas de los Soportes para Humedales Artificiales (adaptado de Zúñiga, 2004)..... 42
Tabla 4 Monitoreo del pH en los Humedales Pilotos..... 54
Tabla 5 Monitoreo de Temperatura en los Humedales Pilotos..... 56
Tabla 6 Monitoreo de Salinidad en los Humedales Pilotos..... 58
Tabla 7 Monitoreo de Solidos Disueltos Totales en los Humedales Pilotos..... 59
Tabla 8 Monitoreo del Oxígeno Disuelto en los Humedales Pilotos 61
Tabla 9 Concentración de Aceite y Grasas en los Humedales Artificiales..... 63
Tabla 10 Concentración de Coliformes Termotolerantes en los Humedales Artificiales 64
Tabla 11 Concentración de Demanda Bioquímica de Oxigeno en los Humedales Artificiales 65

Tabla 12 Concentración de Demanda Química de Oxigeno en los Humedales Artificiales 67
Tabla 13 Concentración de Solidos Totales en Suspensión en los Humedales Artificiales 68
Tabla 14 Análisis Descripción de la DBO_5 69
Tabla 15 Comparación Múltiples de la DBO_5 70
Tabla 16 Análisis Descripción de la DQO 71
Tabla 17 Comparación Múltiples de la DQO 71
Tabla 18 Prueba de Normalidad para DBO_5 73
Tabla 19 Prueba de Normalidad para DQO 73
Tabla 20 Prueba de Homogeneidad de Varianzas 74
Tabla 21 Análisis ANOVA de la Hipótesis General 75
Tabla 22 Análisis ANOVA de la Hipótesis Especifica 1 76
Tabla 23 Análisis ANOVA de la Hipótesis Específica 2 77
Tabla 24 Requisitos para la Toma de Muestras de Agua y Preservación 91
Tabla 25 Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales 91
Tabla 26 Remoción de DBO_5 en otros Estudios 92
Tabla 27 Resultados de Análisis de Laboratorio 92
Tabla 28 Comparación de Parámetros con otras investigaciones 93
Tabla 29 Equipos e Insumos para desarrollo de la Investigación 94
Tabla 30 Presupuesto para Construcción de los Humedales 95
Tabla 31 Datos de Diseño de los Humedales Artificiales 96

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Cronograma de Trabajo 89
Cuadro 2 Métodos de Ensayo 90

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Humedal Artificial de Flujo Superficial 21
Figura 2 Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal 22
Figura 3 Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical 22
Figura 4 Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal 28

Figura 5 Lagunas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR... 32
Figura 6 Diseño Piloto del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial - Convencional 41
Figura 7 Diseño Piloto del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial - Mejorado41
Figura 8 Plano de Ubicación y Puntos de Muestreo 45
Figura 9 Comportamiento del PH 55
Figura 10 Comportamiento de la Temperatura 57
Figura 11 Comportamiento de la Salinidad 59
Figura 12 Comportamiento de los Solidos Totales Disueltos 60
Figura 13 Comportamiento del Oxígeno Disuelto 62
Figura 14 Concentración de Aceite y Grasas en los Humedales Artificiales 63
Figura 15 Concentración de Coliformes Termotolerantes en los Humedales Artificiales 64
Figura 16 Concentración de Demanda Bioquímica de Oxigeno en los Humedales Artificiales 66
Figura 17 Concentración de Demanda Química de Oxigeno en los Humedales Artificiales 67
Figura 18 Concentración de Solidos Totales en Suspensión en los Humedales Artificiales 68
Figura 19 Análisis de DBO_5 70
Figura 20 Análisis de DQO 72
Figura 21 Ubicación de la Investigación 97
Figura 22 Construcción de los Humedales 97
Figura 23 Prueba de Vacío de los Humedales 98
Figura 24 Colocación de la Grava en los Humedales 98
Figura 25 Ubicación de las Macrófitas 99
Figura 26 Macrófitas (carrizo) con rizomas 100
Figura 27 Humedales en Proceso de Depuración 100
Figura 28 Laguna Primaria - PTAR EPS Ilo 101
Figura 29 Extracción de Afluente de la Laguna Primaria 101
Figura 30 Temperatura del Afluente 102
Figura 31 Multiparámetro (Izquierda) - Oximetro (derecha) 102
Figura 32 Muestras para Análisis de Laboratorio 103
Figura 33 Diferencia visual del Afluente y los Efluentes 103
Figura 34 Análisis de DBO5 en el Laboratorio de Ciencias Básicas 104

INTRODUCCIÓN

La entidad prestadora de servicios de saneamiento ILO S.A. cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada al norte del distrito de Pacocha a 5 km de la Cuidad de Ilo, específicamente entre la estación ferroviaria de Southern Peru Copper Corporation, la urb. Ciudad Jardín y la playa Media Luna, de la provincia de Ilo, región Moquegua. Dado lo accidentado del terreno, ocupa una ladera que se extiende en el desnivel entre las cotas 15 y 10 msnm limitado en el nivel 15 por la carretera de acceso y los rieles de los trenes de carga a la fundición de S.P.C.C. y en el nivel 10 por los acantilados colindantes con la playa (Cárdenas et al., 2009).

La laguna de Estabilización se ejecutó en 1993 por la firma CADUCEO Consultores S.A. con un periodo de diseño hasta el año 2012 y un caudal de tratamiento de 200 L/s, diseñada para un porcentaje de remoción de la carga total de salida de la planta de 75 % (Cárdenas et al., 2009), la misma que se encargaba de tratar las aguas del sistema del alcantarillado de la ciudad; bajo un sistema convencional de lagunas facultativas con oxigenación mecánica, cuya infraestructura es de una laguna aireada con revestimiento de cemento, dos lagunas secundarias y dos lagunas terciarias con revestimiento de geomembrana.

En la actualidad, se encuentran en operación solamente la laguna aireada, sin embargo, los mecanismos de aireación no se encuentran en funcionamiento por encontrarse en reparación, calificándose el nivel de tratamiento solo a nivel primario deficiente. Las lagunas secundarias y terciarias, se encuentran inoperativas por no contar con material impermeabilizante en la base y taludes. Las condiciones actuales de operación del sistema de tratamiento de aguas residuales es muy deficiente, promoviendo un tratamiento casi nulo; asimismo, la sobrecarga de las pocas unidades en funcionamiento trae como consecuencia la

generación de condiciones anaerobias con los consiguientes hedores y contaminación del mar. Cabe resaltar que por su ubicación los hedores generados en la planta de tratamiento de aguas residuales son arrastrados hacia zonas pertenecientes al distrito de Pacocha.

Para el presente tema de investigación, se tomó como base el Decreto Supremo que aprueba Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales D.S. 003-2010-MINAM y la Ley General de Aguas N° 17752 que clasifica las Aguas para su uso (específicamente la clase III que permite su uso para riego de áreas verdes) entre otras y las consideraciones técnicas de diseño, referido a un sistema de tratamiento del tipo humedales artificiales de flujo sub superficial de aguas residuales.

1.1. DESCRIPCIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

A nivel global se han desarrollado distintas alternativas de tratamiento de aguas residuales con el fin de solucionar los problemas asociados a sus descargas no tratadas, la falta de información acerca del funcionamiento, operatividad y mantenimiento de dichos sistemas; la ineficaz adaptación de estos al entorno; y la capacidad local deficiente para su manejo, conducen a la implementación de sistemas inoperativos y al abandono de los existentes por parte de la comunidad (Villegas & Vidal, 2009).

Según (Bauer et al., 2017) la disponibilidad de recursos hídricos está básicamente unida a la calidad del agua, ya que la contaminación de las fuentes de agua puede excluir diferentes usos. El aumento en los vertidos de aguas residuales sin tratar, junto con la escorrentía de tierras

agrícolas y las aguas residuales industriales con tratamiento incorrecto, han llevado al deterioro de la calidad del agua en el mundo. Uno de los Objetivos de Desarrollo Sostenible tiene como meta, de aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgo a nivel mundial (ONU, 2015).

A nivel nacional, existen 50 Empresas Prestadoras de Servicios de Saneamiento bajo el ámbito de regulación de la SUNASS (SUNASS, 2015). En el país el Ministerio de Vivienda, construcción y Saneamiento enfrenta varios problemas serios, donde solo un 48 % de las aguas residuales reciben un tipo de tratamiento (Autoridad Nacional del Agua, 2016). En promedio 2,59 millones de m^3 de aguas residuales son vertidos al alcantarillado y requieren de tratamiento antes de su disposición en el medio ambiente o su reuso (SUNASS, 2015).

La contaminación que se genera por el vertimiento de aguas residuales, sin tratarlo o tan solo con tratamiento primario tiene impactos negativos sobre el medio ambiente y la salud generando pérdidas económicas, sociales, recreativas y paisajísticas.

La entidad prestadora de servicios de saneamiento ILO S.A. cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales ubicada al norte del distrito de Pacocha a 5 km de la Provincia de Ilo, específicamente entre la estación ferroviaria de S.P.C.C., Ciudad Jardín y la Playa Media Luna entre las cotas 15 y 10 msnm (EPS ILO S.A., 2009).

El Sistema de Tratamiento de las Agua Residuales de la Provincia de Ilo es a través de Lagunas de Estabilización, estas fueron construidas en el año 1994 y consta de una Laguna Primaria Aireada, dos Lagunas Secundarias Facultativas y dos Lagunas Terciarias Facultativas, las cuales reciben todos los desagües de la Provincia de Ilo para su tratamiento. En el año 2003 se realizaron trabajos de mejoramiento donde se construyó un sistema de pre-tratamiento que consistía en la construcción de rejillas y un desarenador (EPS ILO S.A., 2012).

En la actualidad, se encuentra en operación solamente la laguna primaria aireada que cuenta con un sistema de impermeabilización, su funcionamiento es a través de 06 aireadores de 20 HP cada uno, pero en la actualidad no se encuentran en funcionamiento.

Personal técnico de la EPS ILO S.A. ha podido verificar que la PTAR fue diseñada para una DBO de 280 mg/lt y una remoción del 80% en la laguna primaria, sin embargo en la actualidad se obtienen valores del desagüe crudo que superan los 480 mg/lt de DBO obteniéndose una remoción del 65.8%, asimismo considerando que de acuerdo al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM donde se indica que el límite máximo permisible para los efluentes de una PTAR en DBO es de 100 mg/l se ha verificado que cuando la DBO supera los 370 mg/l el efluente excede el máximo permisible. Siendo ineficiente el tratamiento y su disposición final crea problemas de contaminación del agua de mar, de estética y de hedores en la zona, encontrándose en todos los casos reclamos de los vecinos que viven cerca de ella (EPS ILO S.A., 2012).

El tema de investigación en estudio tomó como base el Decreto Supremo que aprueba Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de

Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM y la Ley General de Aguas N° 17752 que clasifica las aguas para su uso, Valores máximos admisibles (VMA) establecidos en el Decreto Supremo N° 021-2009-VIVIENDA y su reglamento aprobado por el Decreto Supremo N.° 003-2011-VIVIENDA y las consideraciones técnicas de diseño, referido a un sistema de tratamiento del tipo Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial de aguas residuales.

1.1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.1.2.1. Interrogante General

¿Será la implementación de un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua una alternativa para el tratamiento de agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo?

1.1.2.2. Interrogantes Secundarias

- ¿Se podrá reducir la concentración de DBO_5 del agua residual con el diseño de humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal?
- ¿Sera el medio de soporte el adecuado para el tratamiento del agua residual y dispersión de hedores?

1.2. ANTECEDENTES

La historia del uso de humedales artificiales para recibir aguas residuales se remonta a principios del siglo XX. Los pantanos, humedales y turberas se consideran los mejores sumideros de aguas residuales y también

desempeñan un papel importante en la depuración. Los primeros conceptos científicos relacionados con el uso de humedales para el tratamiento de aguas residuales se remontan a la década de 1950, cuando Seidel y Kikkoth realizaron una investigación sobre la eliminación de fenol y el tratamiento de aguas residuales de productos lácteos con humedales artificiales en 1952. Max Plank Institute (Instituto Max Plank), estos lugares no se consideraban sistemas de alcantarillado (Fernandez, 2017).

En la Convención sobre Humedales de Importancia Internacional, conocida como la Convención de Ramsar, promueven la conservación y el uso racional de los humedales, donde el objetivo mundial se centra en un único ecosistema (Gama Campillo et al., 2013).

En Colombia y América Latina representan un reto a la hora de seleccionar tecnologías sostenibles para el tratamiento de las aguas residuales domésticas, creando la necesidad de desarrollar herramientas que faciliten la toma de decisiones para la implementación de estos sistemas basados en tecnologías naturales de depuración, como humedales artificiales (Espinosa, 2014) conocidos también como construidos.

Los humedales construidos para el tratamiento de aguas residuales son sistemas no convencionales que no requieren energía eléctrica ni equipos costosos para su funcionamiento, demandan poca capacitación para sus operadores y por ser el sistema natural, sus costos de tratamiento son más bajos que los de cualquier tecnologías convencional. En los humedales artificiales se logra reducir adecuadamente el contaminante presente en el agua residual. Los humedales pueden establecerse de manera diferente de acuerdo con las necesidades del usuario el sitio geográfico e incluso de la condición climática de la zona. La construcción de humedales es una medida

de bajo impacto ambiental, incide en la recreación de sitios paisajísticos y hábitat de especies (Gama Campillo et al., 2013).

Inicialmente se recopilan algunos antecedentes de la utilización de humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales principalmente en Estados Unidos, Sudamérica y algunos países de Europa, donde los humedales de flujo libre utilizados en los Estados Unidos, son los que presentan una mayor extensión (Espinosa, 2014).

El estudio de los humedales como sistemas de tratamiento comenzó con un estudio de las plantas deseables para el tratamiento de aguas residuales. Se encontró que las especies de plantas más adecuadas para el tratamiento son las que tienen raíces grandes, crecen rápidamente, transpiran grandes volúmenes de agua y tienen raíces adventicias, es decir que se desarrollan en un sitio distinto de su hábitat normal (Osnaya, 2012).

En Argentina también se ha implementado el uso de estas tecnologías naturales para la depuración de aguas residuales. Uno de los proyectos más reconocidos en este país fue la construcción de un humedal artificial para realizar el pulido final de los vertimientos industriales y residuales provenientes de la empresa Bahco, ubicada en Santo Tomé, provincia de Santa Fe. La idea de construir un humedal a cielo abierto con plantas de camalote, *E. Crasa Pes*, que se encargaran de absorber y depurar los residuos líquidos, surgió en el 2001, cuando Bahco Argentina decidió mejorar su estrategia de gestión ambiental, para así disminuir el impacto generado por los procesos de fabricación, decidiendo anexar una etapa de pulido final a su sistema de tratamiento de efluentes, utilizando humedales artificiales (Frers, 2008).

Existe una comparación entre países europeos y Estados Unidos, donde los humedales es una técnica más consolidada, en España. Un estudio

realizado en el año 2006 determinó que más del 80 % de los humedales artificiales subsuperficiales existentes en España, usados para el tratamiento de aguas residuales urbanas, fueron construidos entre los años 2000 y 2005, siendo el de flujo horizontal el más implementado, obteniéndose rendimientos de eliminación entre 80 a 95 % para la DBO5 y 70 a 95 % para SST, como también valores medios de 52 %, 40 % y 43 % para el nitrógeno orgánico, nitrógeno amoniacal y fósforo total respectivamente (Espinosa, 2014).

El humedal artificial construido en la comunidad del distrito de Lacabamba ubicada en el Departamento de Ancash, de flujo horizontal subsuperficial, consta de un área total de 58,5 m^2, con un medio filtrante de 0,45 m y borde libre de 0,33m, pendiente descendente en el sentido del flujo de 1% para asegurar una buena capacidad hidráulica. La base y los taludes del humedal están revestidos con geomembrana de PVC de color negro, de 0,5 mm de espesor, como refuerzo para la distribución de cargas del medio filtrante. Teniendo en cuenta los criterios de diseño, el medio poroso por donde circularía el agua está constituido por un sustrato de grava y arena usando tres tamaños de material disponiéndolos de acuerdo a la forma. Para implantar la cobertura vegetal en los humedales se procedió al trasplante de rizomas de carrizo o caña brava los cuales se obtuvieron en los alrededores del lugar (Espinosa, 2014).

Se analizan y revisan para cada tipología de humedal los diferentes modelos y criterios de diseño, tanto desde el punto de vista hidráulico como de remoción de contaminantes (SS, DBO_5, N, P y patógenos), estableciendo los principales parámetros y variables que intervienen en el mismo y sus factores condicionantes, centrándose en la superficie de humedal necesaria para conseguir un determinado nivel de depuración. Se han comparado los rendimientos para cada uno de los modelos y tipos de humedal, concluyendo

que los modelos basados en la carga superficial dan superficies de humedal mayores que los modelos volumétricos (Rabat, 2016).

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Implementar un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua para el tratamiento adecuado del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Reducir la concentración de DBO_5 de las aguas residuales con el diseño piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.
- Demostrar que el medio de soporte del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal es adecuado para el tratamiento y dispersión de hedores de las aguas residuales de la laguna primaria.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La EPS Ilo cuenta con una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales que presenta una serie de restricciones, no cuenta con equipos de aireación, así mismo el caudal con el correr de los años ha ido aumentando haciendo que el tiempo de retención en las lagunas no sea el adecuado. Asimismo esta planta de tratamiento de aguas residuales se encuentra operando con un sistema de captación de agua, un desarenador de dos naves, un sistema de medición de caudal Parshall, 01 laguna primaria donde se ubicaban los motores de aireación, 02 lagunas secundarias y 02 lagunas terciarias.

En la actualidad esta planta de tratamiento de agua residual se encuentra colapsada por el volumen de aguas residuales generado por la

población de Ilo, donde la limitación para un adecuado tratamiento es el presupuesto para el mantenimiento de los equipos y de las instalaciones convirtiéndose la planta de tratamiento de aguas residuales en un tratamiento primario.

A consecuencia de lo anterior se genera un ineficiente tratamiento de aguas residuales de la Provincia de Ilo y por lo tanto una disposición inadecuada del efluente sobrepasando el parámetro de DBO_5 incumpliendo los límites máximos permisibles establecidos en el Decreto Supremo 003-2010-MINAM provocando una contaminación del cuerpo marino receptor, afectando a la micro y macro flora y fauna, la estética y la presencia de hedores que generan malestar en la población del Distrito de Pacocha. A falta de iniciativas por parte de las autoridades surge la necesidad de aportar a la investigación con sistemas de tratamiento naturales y de costos bajos, es allí donde nace el presente proyecto de investigación que tiene como finalidad tratar el agua residual de la laguna primaria a través de un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal que se podría aplicar a la realidad de la Provincia de Ilo.

1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. HIPÓTESIS GENERAL

Es posible implementar un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua para el adecuado tratamiento del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.

1.5.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

H_{01}: El diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial reducirá la concentración de DBO_5 de las aguas residuales.

H_{02}: El tratamiento del agua residual y dispersión de hedores de la laguna primaria es adecuado con el medio de soporte del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

1.6. VARIABLES

El desarrollo de la investigación fue netamente experimental, teniendo las siguientes variables:

- *VARIABLE DEPENDIENTE* = Calidad del agua residual de la Laguna Primaria de la Planta de Tratamiento de Agua Residual.
    - Demanda Bioquímica de Oxigeno - DBO_5 (mg/l)
    - Demanda Química de Oxigeno - DQO (mg/l)
- *VARIABLE INDEPENDIENTE* = Diseño de Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal.
    - Tiempo de Retención (días)
    - Medio de Soporte (grava/zeolita)

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. BASES TEÓRICAS

2.1.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS

2.1.1.1. Aguas Contaminadas

Se considera que el agua está contaminada cuando se ven alteradas sus características químicas, físicas, biológicas o su composición, por lo que pierde su potabilidad para consumo diario o para su utilización en actividades domésticas, industriales o agrícolas (Romero-Aguilar et al., 2009).

La EPA define como los principales contaminantes de las aguas residuales bajo las siguientes categorías: nitrógeno, fósforo, organismos patógenos, metales pesados y traza de compuestos orgánicos.

2.1.1.2. Aguas Residuales

Según (OEFA, 2014) aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. Las aguas residuales según su origen se clasifican en:

- **Aguas Residuales Industriales:** resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial entre otras.

- **Aguas residuales domésticas:** de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana y deben ser dispuestas adecuadamente.

- **Aguas residuales municipales:** son aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

2.1.2. PARÁMETROS DE CONTROL PARA TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Conforme (Delgadillo et al., 2010) los parámetros fundamentalmente para determinar la contaminación de las aguas residuales urbanas pueden reducirse a:

2.1.2.1. Sólidos Suspendidos

Pueden llevar al desarrollo de depósitos de lodo y condiciones anaerobias, cuando los residuos no tratados son lanzados al ambiente acuático.

2.1.2.2. Solidos Inorgánicos Disueltos

Componentes inorgánicos, como calcio, sodio y sulfato, deben ser removidos se va usar nuevamente al agua residual, por ser potencialmente degradadores del suelo.

2.1.2.3. Contenido Microbiano Patógeno

Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades y se clasifican en:

- **Aerobios:** que constituyen el 60 al 65% de los microorganismos en el agua residual, caracterizándose por captar en forma directa el oxígeno disuelto.

- **Anaerobios:** que constituyen del 10 al 25% de los microorganismos existentes en el agua residual, obtiene oxigeno por descomposición de la materia orgánica constituida por tres o más elementos (C, H, O, N, S, P, K).

- **Facultativos:** que constituyen del 10 al 30 %, estos pueden adaptarse a condiciones aerobias y anaerobias.

2.1.2.4. Contenido de Materia Orgánica

Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos y grasas. Por lo general, se mide en parámetros de DBO_5 y DQO. Si es descargada sin tratamiento al medio ambiente, su estabilización biológica puede llevar al consumo de las fuentes de oxígeno natural y al desarrollo de condiciones sépticas.

- **Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5):** es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual durante la oxidación (vía biológica) de la materia orgánica Biodegradable presente en el agua residual. Para el control de los procesos de depuración suele adoptarse la DBO a los 5 días y a 20 °C (DBO_5), cuyo valor se aproxima al valor asintótico de la DBO_5 correspondiente al ciclo del carbono.

- **Demanda Química de Oxigeno (DQO):** es la cantidad de oxígeno disuelto consumida por el agua residual (por vía química) provocada por un agente químico, fuertemente oxidante. La oxidación es activa

sobre las sales minerales oxidables así como sobre la materia orgánica biodegradable, que existe en el agua analizada. La relación encontrada entre la DBO5 y la DQO indicará la importancia de los vertidos industriales y sus posibilidades de biodegradabilidad.

- **Oxígeno Disuelto (OD):** es el índice fundamental para la definición y control de las aguas residuales. La cantidad de oxígeno puede disminuir por la respiración de los microorganismos, algas y organismos macroscópicos, elevación de la temperatura, reacciones químicas y por la reacción metabólica de los microorganismos regidos por la acción enzimática

2.1.2.5. Contenido de Nutrientes

Cuando son lanzados en el ambiente acuático, pueden llevar al crecimiento de vida acuática indeseable. Cuando son aplicados al suelo en cantidades excesivas, pueden contaminar también el agua subterránea.

2.1.2.6. PH

En la naturaleza, así como en las aguas residuales urbanas se encuentran ácidos y bases que modifican ampliamente el pH de las aguas. Las aguas residuales urbanas tienen un pH próximo al valor de 7, es decir son adecuadas para los microorganismos neutrófilos. Es necesario controlar el pH para garantizar los procesos biológicos, debiendo encontrarse entre valores de 6,5 y 8,3 para que no se generen problemas de inhibición.

2.1.2.7. Grasas

Las grasas generan problemas por su poder tenso activo que impiden la captación del oxígeno, o genera una película envolvente en los

flóculos biológicos impidiendo su respiración, aligerándolos y llevándolos a flotación, dificultándose así un tratamiento secundario.

2.1.3. REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

El agua residual tratada es un valioso recurso que podría sustituir un importante volumen de agua de primer uso, en actividades que no requieren de la calidad de agua potable (Gonzales et al., 2009). El efecto de dicho tratamiento se observara principalmente en la reducción de los riesgos para la salud pública, la vulnerabilidad de los acuíferos a la contaminación; la conservación original de la calidad de las aguas en las fuentes naturales superficiales y subterráneas y un mejor aprovechamiento por su disponibilidad del recurso (Francisco et al., 2011). Es indiscutible que las limitadas prácticas de manejo de las aguas residuales no son planeadas ni controladas adecuadamente y generan volúmenes considerables de infiltración generando el peligro de contaminar los acuíferos que se utilicen para el abastecimiento de agua potable en las ciudades, constituyéndose en una fuente difusa de contaminación continua (Gonzales et al., 2009). El Tratamiento planificado y controlado de grandes volúmenes de agua residual, se convertiría en fuente alternativa para proveer el abastecimiento de agua con un amplio rango de propósitos poblacionales, industriales, agrícolas y recreativos (Francisco et al., 2011). Si se reutiliza el efluente de las plantas de tratamiento puede generar ingresos para el municipio que trata el agua y también conservar los escasos recursos hídricos, principalmente de las zonas áridas de la vertiente del Pacífico como es el caso de la Provincia de Ilo.

2.1.4. TRATAMIENTOS DE AGUAS RESIDUALES

El principio básico en el tratamiento de aguas residuales es la separación del líquido de los componentes no deseados. Para ello se dispone de

procesos físicos, biológicos y químicos que componen el sistema de tratamiento. El sistema de tratamiento y su complejidad dependen del grado de contaminación de las aguas residuales y su fuente para lo cual se realizarán investigaciones técnicas y económicas.

(Rossi, 2010) El proceso habitual de tratamiento de aguas residuales domesticas se puede dividir en las siguientes etapas:

2.1.4.1. Pre Tratamiento

Esta etapa no afecta a la materia orgánica contenida en el agua residual. El objetivo con el pre tratamiento es la eliminación de materias gruesas, cuerpos gruesos y arenosos cuya presencia en el efluente alteraría el tratamiento total y el funcionamiento eficiente de las máquinas, equipos e instalaciones.

Consiste en un ***desbaste*** (rejas) para la eliminación de las sustancias de tamaño excesivo, un ***tamizado*** para eliminar las partículas en suspensión, un ***desarenador***, para eliminar las arenas y sustancias sólidas densas en suspensión y un ***desengrasador*** para eliminar los aceites presentes en el agua residual así como elementos flotantes.

2.1.4.2. Tratamiento Primario

El tratamiento primario que recibe las aguas residuales consiste principalmente en la separación de solidos suspendidos floculentos bien mediante sedimentación o floculación, en la neutralización de la acidez o alcalinidad excesivas y en las remociones de compuestos inorgánicos mediante precipitación química. En algunos casos se puede utilizar la coagulación como auxiliar del proceso de sedimentación.

2.1.4.3. Tratamiento Secundario

Su propósito es reducir la materia orgánica en las aguas residuales luego de pasar por las etapas de pre tratamiento y tratamiento primario. Se han diseñado tratamientos secundarios o tratamientos biológicos, como los procesos biológicos de autopurificación naturales descritos anteriormente. La aplicación en aguas residuales puede evitar que el agua se contamine antes de su vertido. Los procesos aeróbicos más utilizados para la biomasa en suspensión son las lagunas de aireación y los lodos activados.

2.1.4.4. Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario incluye la eliminación de la carga orgánica remanente en el tratamiento secundario, la eliminación de microorganismos patógenos, la eliminación de colores y olores indeseables, y la eliminación de detergentes residuales, fosfatos y nitratos, que provocan espuma y eutrofización, respectivamente. La cloración forma parte del tratamiento terciario o avanzado, se utiliza para obtener agua más pura, pudiendo incluso consumirse según sea necesario.

(Baca, 2012) las opciones de tratamiento de bajo costo para aguas residuales, incluyen métodos de estudio en terrenos en los cuales las aguas residuales se retienen pudiendo ser:

a) **Lagunas de Estabilización:** Es una opción tecnológica para el tratamiento de aguas residuales urbanas que elimina patógenos a gran escala. Las limitaciones de los estanques de estabilización están relacionadas principalmente con el costo y la disponibilidad de tierra. Estos sistemas pueden adaptarse a los procesos

biológicos que se encuentran entre la limpieza en los canales de captación y el proceso de fangos activados que se lograría con lagunas aireadas artificialmente

b) **Lagunas Naturales:** Son simples con bajos rendimientos y problemas de olor. Pueden verse como una solución para las comunidades rurales con sistemas de saneamiento uniformes y una población de 2,000 habitantes.

c) **Lagunas Aireadas:** Para evitar problemas de olores, la cantidad de oxígeno debe ajustarse según los cambios de carga y las condiciones estacionales, y para mejorar la agitación en el tanque, aparecerá una laguna inflable, que por supuesto requiere la conexión eléctrica del sistema de ventilación. Cualquier sistema de aireación mencionado en el sistema convencional es adecuado para la laguna.

d) **Humedales:** Son zonas saturadas de aguas superficiales o subterráneas, cuya frecuencia y duración son suficientes para mantener la saturación. Las plantas acuáticas emergentes crecen en humedales, incluyendo juncos, jaguares y espadañas. Estas plantas proporcionan una superficie para el crecimiento de microorganismos. Además de inhibir bacterias, también pueden filtrar y absorber contaminantes en aguas residuales. Debido a que estas plantas tienen la propiedad de transferir el oxígeno de las hojas al oxígeno de las raíces, el crecimiento de algas favorece la formación de zonas aeróbicas alrededor de las raíces.

2.1.5. HUMEDALES

Los humedales son aquellas áreas que son consideradas fase intermedia entre sistema acuático y sistema terrestre. Se encuentran saturadas completamente de agua superficial (o subterránea) por tiempo suficiente para crecimiento de vegetación en dichas condiciones. Los humedales son considerados ecosistemas de gran productividad biológica, tanto por crecimiento bacteriano como crecimiento de su vegetación. Proporcionan un tratamiento básico de ciertos contaminantes en el agua, principalmente su vegetación que se alimenta del nitrógeno y fósforo que pueden encontrarse presentes (Osnaya, 2012).

Los humedales artificiales, al igual que los naturales, pueden reducir una amplia gama de contaminantes del agua tales como: sólidos en suspensión DBO, nutrientes, metales, patógenos y otros productos químicos. Esta eliminación se da por una variedad de procesos que incluyen la sedimentación, filtración, metabolismo microbiano (aeróbico y anaeróbico), absorción de la planta y respiración. La principal diferencia entre un humedal natural y un humedal artificial es que éste último permite el tratamiento de aguas residuales bajo diseños que se basan en objetos específicos de calidad del efluente. El funcionamiento de los humedales artificiales se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de los microorganismos, el aporte de oxígeno a través de las plantas durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como soporte para el enraizamiento de las plantas, además de funcionar como material filtrante (Osnaya, 2012).

Según (Delgadillo et al., 2010) los humedales artificiales pueden ser clasificados según el tipo de macrófitas que empleen en su funcionamiento:

macrófitas fijas al sustrato (enraizada) o macrófitas flotantes libres. Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos de acuerdo a la circulación del agua que se emplee: 1) humedales de flujo superficial, si el agua circula en forma superficial por entre los tallos de las macrófitas y 2) humedales de flujo subsuperficial, si el agua circula por debajo de la superficie del estrato del humedal.

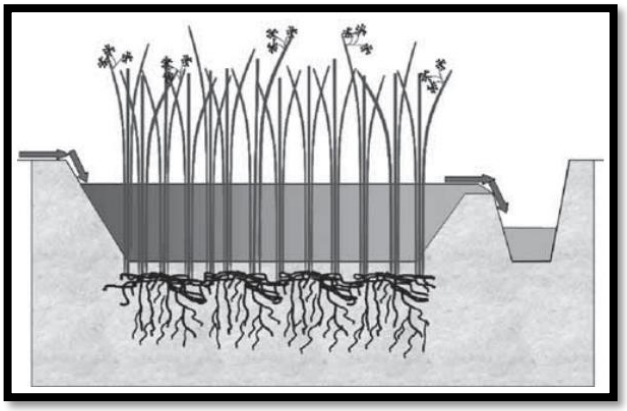
2.1.5.1. Tipos de Humedales Artificiales

(Delgadillo et al., 2010) Las características de los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, basados en macrófitas enraizadas emergentes, por ser los que interesan para esta investigación.

a) **Humedales Artificiales de Flujo Superficial:** (conocido en inglés como Surface flow constructed wetlands o free wáter Surface constructed) son aquellas en las que el agua circula preferentemente por los tallos de las plantas y está directamente expuesta a la atmósfera. Este tipo de humedales es una modificación al sistema de lagunas convencionales. A diferencia de estas, tienen menor profundidad (no más de 0.6 m) y tiene plantas (Delgadillo et al., 2010).

Figura 1

Humedal Artificial de Flujo Superficial

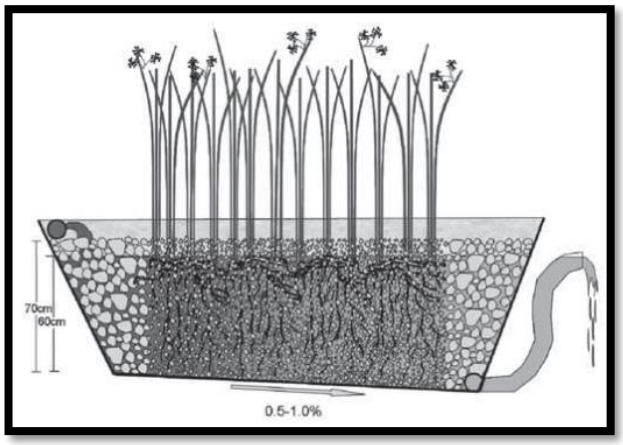


Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

b) **Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial:** (conocido en inglés como Subsurface flow constructed wetlands) se caracterizan porque la circulación del agua es los mismo se realiza a través de un medio granular (subterráneo), con una profundidad de agua cercana a los 0.6 m. la vegetación se planta en este medio granular y el agua está en contacto con los rizomas y raíces de las plantas. Los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: (1) en función de la forma de aplicación de agua al sistema: humedal de flujo subsuperficial horizontal. *Figura 2* y (b) humedales de flujo subsuperficial vertical Figura *3*.

Figura 2

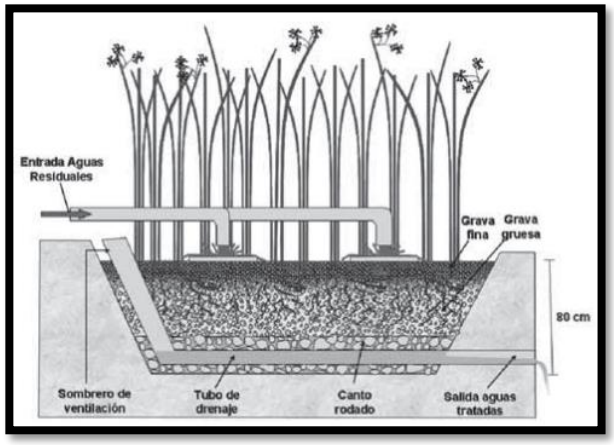
Humedal Subsuperficial de Flujo Horizontal



Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

Figura 3

Humedal Subsuperficial de Flujo Vertical



Fuente: (Delgadillo et al., 2010)

2.1.5.2. Componentes de Humedales Artificiales

a) **Agua Residual:** El agua es la fase móvil en los humedales, es responsable del transporte de contaminantes y se producirán la mayoría de las reacciones responsables de la purificación. Las condiciones hidrológicas son extremadamente importantes para mantener la estructura y función de los humedales. Estos influyen en muchos factores abióticos, incluido el estado de oxidación del lecho, la disponibilidad de nutrientes y la salinidad. A su vez, estos factores no biológicos determinan qué organismos crecerán en el humedal. Eventualmente y completar el ciclo, los componentes biológicos actúan cambiando las propiedades hidrológicas y otras propiedades físicas y químicas del humedal (Espinosa, 2014).

b) **Vegetación:** La mayor ventaja de las plantas es la transferencia de oxígeno a la zona de las raíces. Su presencia física en el sistema (tallos, raíces y rizomas) permite la penetración en el suelo o el medio portador y transporta el oxígeno más profundamente que en el caso de la difusión sola. Lo más importante en los humedales artificiales es que las partes sumergidas de las hojas muertas y los tallos se descomponen y se convierten en lo que se conoce como restos de vegetación, que sirven como sustrato para el crecimiento de la película microbiana fija que es responsable de gran parte del tratamiento que se produce. Las plantas emergentes que se encuentran a menudo en la mayoría de los humedales de aguas residuales son las espadañas, los juncos, los pastos y los juncos de las lagunas. En la mayoría de los humedales artificiales de los Estados Unidos, dominan los juncos de la laguna y las espadañas o una combinación de estas dos especies. También hay algunos

sistemas de juncos y esta especie es dominante en los humedales artificiales europeos (Espinosa, 2014).

Tabla 1

Plantas Emergentes más Utilizadas en Humedales Artificiales

Familia	Nombre Científico	Nombre Común	Temperatura °C		Máxima Salinidad Tolerable ppt.	Rango Efectivo de Ph
			Deseable	Germinación de la Semilla		
Ciperáceas	*Carex sp.*	NA	14 - 32	NA	NA	5 - 7.5
	Eleocharis sp.	NA	NA	NA	NA	NA
	Scirpulacustris L.(*)	Junco de laguna	18 - 27	NA	20	4 - 9
	Cyperus pepyrus	Papiro	7 - 36	NA	NA	NA
Gramineas	*Glyceria flutans (L) R. Br.*	Hierba del maná	NA	NA	NA	NA
	Phragmites australis (Cav) Trim. Ex Steudel (*)	Carrizo	12 - 23	10 - 30	45	2 - 8
Iridáceas	*Ins pseudacorus L.*	Lirio amarillo, Espadaña fina	NA	NA	NA	NA
Juncaceas	*Juncos sp.*	Juncos	16 - 26	NA	20	5 - 7.5
Tifáceas	*Thypna sp (*)*	Eneas, Aneas, Espadañas	10 - 30	12 - 24	30	4 - 10

(*) Especies más utilizadas

Fuente: (Espinosa, 2014)

c) **Microorganismos:** Los microorganismos son responsables del tratamiento biológico. En la zona superior del humedal, dominan el oxígeno liberado por las raíces de las plantas y el oxígeno atmosférico, y se pueden formar colonias microbianas aeróbicas. En los lechos de pellets restantes, dominarán los microorganismos anaeróbicos. Los principales procesos que llevan a cabo los microorganismos son la degradación de la materia orgánica, la eliminación de nutrientes, oligoelementos y la desinfección. Los principales microorganismos presentes en las biopelículas de los humedales son: bacterias, levaduras, hongos y protozoos. La

biomasa microbiana consume mucho carbono y muchos nutrientes. La actividad microbiana tiene la función de convertir una gran cantidad de sustancias orgánicas e inorgánicas en sustancias inofensivas e insolubles y cambiar las condiciones de reducción potencial y oxidación del sustrato, afectando así la capacidad de procesamiento de los humedales. Del mismo modo, debido a la actividad biológica, muchos contaminantes se convierten en gases liberados a la atmósfera (Delgadillo et al., 2010).

d) **Sustrato y medio de soporte:** En los humedales el sustrato está formado por el suelo: arena, grava, zeolita, sedimentos y restos de vegetación que se acumulan en el humedal debido al crecimiento biológico (Lara, 1999).

Tabla 2

Características Típicas de los Soportes para Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (m/d)
Arena Gruesa	2	28 – 32	100 – 1000
Arena Gravosa	8	30 – 35	500 – 5000
Grava Fina	16	35 – 38	1000 – 10000
Grava Media	32	36 – 40	10000 – 50000
Grava Gruesa	128	38 – 45	50000 - 250000

Fuente: (Zúñiga, 2004)

La característica principal del medio es que debe tener suficiente permeabilidad para permitir el paso del agua. Esto requiere el uso de suelo granular, principalmente grava seleccionada, que tiene unos 5 mm de diámetro y es pequeña. Si el lecho de partículas está compuesto de grava y arena, la capacidad de adsorción y la capacidad de filtración del medio disminuirán, pero la conductividad

hidráulica aumentará. Indirectamente, los medios granulares ayudan a eliminar los contaminantes porque favorecen el crecimiento de plantas y colonias microbianas con actividad biodegradable (Delgadillo et al., 2010).

2.1.5.3. Mecanismos de Remoción

Los humedales pueden tratar eficazmente altos niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), sólidos suspendidos (SS), y nitrógeno, así como niveles significativos de metales, compuestos orgánicos traza y patógenos. Los mecanismos básicos de tratamiento son tamizados, sedimentación, precipitación química, adsorción y degradación microbiológica de la DBO_5 y del nitrógeno, así como la captación por parte de la vegetación (Mena et al., 2008).

a) **Remoción de Materia Orgánica:** La materia orgánica en forma de materia sedimentable en suspensión se deposita gradualmente en los humedales y está sujeta a procesos de degradación biológica. Además, parte de la materia orgánica presente en forma de partículas se retiene por filtración cuando el agua fluye a través de la red de sustrato-raíz-tronco del filtro (Rabat, 2016).

   La eliminación de materia orgánica por las dos vías descritas transcurre de forma rápida, y en el caso de los Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial casi la mitad de la DBO_5 se elimina al pasar las aguas por los primeros metros del humedal (Salas et al., 2007).

   Para la materia orgánica disuelta, al igual que las partículas, los microorganismos presentes en los humedales son principalmente

bacterias, y las bacterias utilizarán esta materia orgánica como sustrato (Rabat, 2016).

En cualquier caso, los procesos físicos, químicos y microbiológicos responsables de la eliminación de materia orgánica pueden variar en el tiempo y el espacio, y también dependen de muchos factores como la carga orgánica, la profundidad del agua y la disponibilidad de receptores de electrones (Garcia & Corzo, 2008). Sin embargo, los microorganismos facultativos convierten una parte de la DBO5. La tasa de remoción se relaciona con el tiempo de retención y la temperatura(Baca, 2012).

b) **Remoción de Solidos Suspendidos:** En los humedales horizontales, la mayor parte de la remoción de materia en suspensión ocurre cerca de la zona de entrada y su concentración disminuye exponencialmente en todo el lecho del río. Por lo general, casi toda la remoción de materia en suspensión ocurre en ¼ - 1/3 de la longitud total del sistema (Garcia & Corzo, 2008). Aunque la mayoría de los sólidos suspendidos y sedimentables se han eliminado en el tratamiento anterior, el humedal filtra y sedimenta los residuos para complementar la eliminación. De hecho, las raíces y los sustratos de las plantas grandes reducen la velocidad del agua, lo que es beneficioso para estos dos procesos. El pretratamiento es muy importante para evitar la obstrucción y la rápida colmatación de los humedales (Delgadillo et al., 2010).

c) **Remoción de Patógenos:** Las bacterias patógenas y los virus son removidos, fundamentalmente, por adsorción, sedimentación, filtración y precipitación, debido a que las condiciones ambientales,

las cuales no son favorables para el patógeno lo que trae como consecuencia su muerte (Baca, 2012).

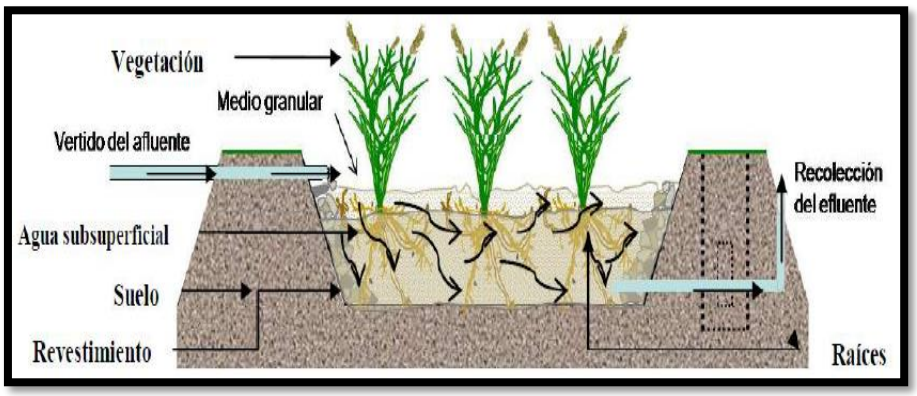
2.1.6. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DEL HUMEDAL

2.1.6.1. Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal

(Delgadillo et al., 2010) El diseño de estos sistemas por lo general consiste en una cama, ya sea de tierra y grava, plantada con macrófitas acuáticas, en la mayoría de los casos con la caña común o carrizo (*Phragmites australis*). Toda la cama es recubierta por una membrana impermeable para evitar filtraciones en el suelo. El agua circula horizontalmente a través del medio granular, los rizomas y raíces de las plantas, ingresando en forma permanente. Es aplicada en la parte superior de un extremo y recogida por un tubo de drenaje en la parte opuesta inferior. El agua residual se trata a medida que fluye lateralmente a través de un medio poroso (flujo pistón). La profundidad del lecho varía entre 0,45 m a 1 m y tiene una pendiente de entre 0,5% a 1%. El agua residual no ingresa directamente al medio granular principal, sino que existe una zona de amortiguación generalmente formada por grava de mayor tamaño.

Figura 4

Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial Horizontal



Fuente: (Rabat, 2016)

Una ventaja principal de los humedales es que presenta diferentes aplicaciones además de proporcionar un tratamiento a las aguas residuales. Los humedales ocasionan efectos climáticos localizados (microclimáticos) a través del proceso de evapotranspiración, ayuda a mantener estable los niveles de humedad y de temperatura en un ámbito local (Vela, 2018). Los humedales ayudan en la regulación de procesos hidrológicos y ecológicos, permiten recarga y descarga de posibles acuíferos. Estos sistemas también permiten prevenir o mitigar inundaciones, pueden captar agua de otros sectores permitiendo regular el flujo de agua (Biopedia, 2012).

2.1.6.2. Diseño del Humedal

(Cueva & Rivadeneira, 2013; Lara, 1999) Dentro de los criterios importantes del diseño están el tiempo de retención, el área superficial requerida, las tasas de carga de DBO y sólidos, y la profundidad del medio, que presentan criterios específicos del diseño del humedal.

a. **Constante de Temperatura en el Humedal** $(\boldsymbol{K_T})$ **.-** Se determinó la velocidad de la reacción de acuerdo a la temperatura:

$$\boldsymbol{K_T = K_{20}(1.06)^{Ta-20}}$$

Dónde:

K_T = temperatura del humedal

$K_{20} = 1.104d^{-1}$ Constante de temperatura

b. **Área superficial (A_S).-** Se obtuvo el Área superficial aplicando la fórmula:

$$\boldsymbol{As = \frac{Q(\ln Co - lnCe)}{K_T(n)(h)}}$$

Dónde:

As = Área Superficial (m^2)

Q = Caudal (m^3/día)

Co = Concentración de la DBO en el afluente (ingreso) (ppm)

Ce = Concentración de la DBO en el efluente (salida) (ppm)

K_T = constante de primer orden (l/día)

h = Profundidad del Humedal (m)

n = Porosidad promedio de las capas filtrantes del humedal (fracción decimal)

c. **Tiempo de retención Hidráulica (TRH).-** se aplicó la siguiente fórmula:

$$\boldsymbol{TRH = \frac{(As)(h)(n)}{Q}}$$

d. **Ancho del Humedal (W).-** Se calculó el ancho del humedal aplicando la fórmula:

$$\boldsymbol{W = \frac{1}{y} \times \left(\frac{(Q)(As)}{(m)(Ks)}\right)^{0.5}}$$

Dónde:

W = Ancho del Humedal (m)

Q = Caudal (m^3)

As = Área Superficial (m^2)

m = Pendiente del Lecho (% expresado como decimal)

Ks = Conductividad Hidráulica promedio (m^3/ m^2/d)

y = Profundidad del agua en el humedal (m)

e. **Largo del Humedal (L).-** Se determinó el largo del humedal utilizando la fórmula:

$$L = \frac{As}{W}$$

Dónde:

L= Largo del humedal

As= Área superficial

W= Ancho del Humedal

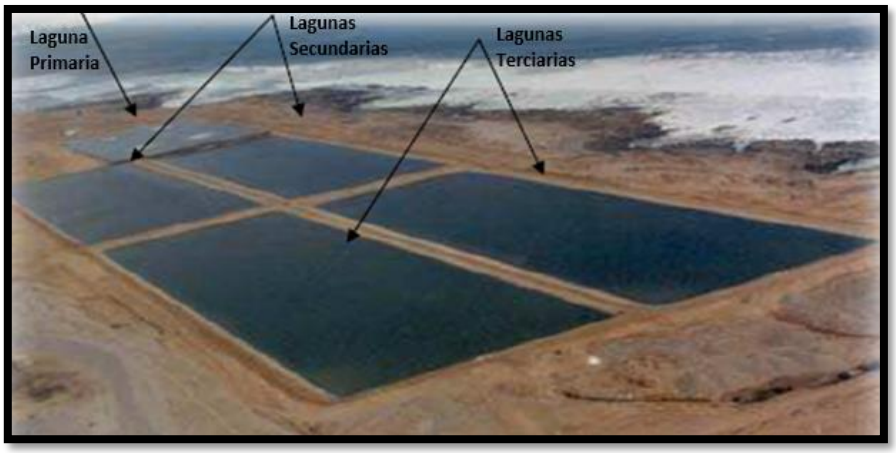
2.1.7. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

(EPS ILO S.A., 2009) El punto receptor del sistema de alcantarillado de la ciudad es el mar, cuya margen izquierda forma el límite oriental de la ciudad. Las aguas residuales se vierten a este mar con tratamiento a nivel primario. El ineficiente tratamiento de aguas residuales y su disposición final han creado problemas de contaminación del agua de mar, estética y malos olores en la zona, con quejas de los vecinos que en todos los casos viven cerca de ellos. El Sistema de Alcantarillado de la Provincia de Ilo está conformado por cinco (05) Estaciones de Bombeo de las cuales una (01) está ubicada en la Pampa Inalámbrica, dos (02) están ubicadas en el Puerto de Ilo y dos (02) están ubicadas en el Distrito de Pacocha.

(EPS ILO S.A., 2012) El sistema de tratamiento de las aguas residuales de la Provincia de Ilo es a través de lagunas de estabilización ubicadas en la playa media luna en el distrito de Pacocha, estas fueron construidas en el año 1994 y consta de una laguna primaria aireada, dos lagunas secundarias facultativas y dos lagunas terciarias facultativas Figura *5*, las cuales reciben todos los desagües de la provincia de Ilo para su tratamiento. En el año 2003 se realizaron trabajos de mejoramiento donde se construyó un sistema de pretratamiento que consistía en la construcción de rejillas y un desarenador.

Figura 5

Lagunas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales – PTAR



Fuente: (EPS ILO S.A., 2009)

2.1.7.1. Pre-Tratamiento

a. **Cámara de Rejas:** Consiste en unas rejillas de planchas de platina espaciadas con la finalidad de retener los sólidos gruesos y material flotante que podrían producir natas no degradables y de difícil manejo.

b. **Desarenador:** Se cuenta con dos unidades cuya función es la retención de arena existente en el desagüe crudo, estos son longitudinales con una velocidad que permita separar la materia inorgánica (arena con granos superiores a 0.2mm de diámetro) de la materia orgánica, antes de la entrada a la laguna Primaria Aireada.

2.1.7.2. Tratamiento

a. Laguna Primaria Aireada: que tiene las siguientes dimensiones 150m x 80m x 3.47m y un tirante de agua de 3 metros de profundidad para un volumen útil total de 3,600 m3 de capacidad. El requerimiento de oxígeno y energía es a través de seis (6) aireadores con motores de 20 HP cada uno. Actualmente, los

seis aireadores electromecánicos que inyectaban oxígeno para acelerar el proceso biológico se encuentran inoperativos.

b. **Laguna Secundaria:** La PTAR cuenta con dos lagunas secundarias facultativas 2A y 2B de 200m x 65m y una profundidad máxima de 1,80m cada una; de las cuales la laguna 2A fue en enero 2011 rehabilitada con un sistema de impermeabilización de PVC a HDPE de 1mm de espesor con recursos propios, y posteriormente también para el caso de la rehabilitación de la laguna secundaria 2B. Las lagunas secundarias se encuentran inoperativas por no contar con material impermeabilizante en la base y taludes. Actualmente cumplen la misma función de la Laguna Primaria.

c. **Laguna Terciaria:** La PTAR cuenta con dos lagunas terciarias facultativas 3A y 3B 200m x 65m y con una profundidad máxima de 1,80m cada una; de las cuales la laguna 3A fue en enero 2011 rehabilitada con un sistema de impermeabilización de PVC a HDPE de 1mm de espesor con recursos propios, y posteriormente también para el caso de la rehabilitación de la laguna secundaria 3B. Las lagunas terciarias se encuentran funcionando en forma parcial, presentando deficiencias en el material de impermeabilización de la base y taludes. Actualmente también cumplen la misma función de la Laguna Primaria.

2.2. BASE LEGAL

La reutilización de las aguas residuales debe garantizar un tratamiento adecuado de acuerdo con la finalidad específica, para no generar riesgos para la salud de los habitantes en contacto con las aguas residuales tratadas. Para determinar el sistema de tratamiento de aguas residuales, se debe considerar

la calidad del tipo de aguas residuales requerido en base a las siguientes condiciones:

- **Constitución Política del Perú 1993**

  Artículo 2° Toda persona tiene derecho: *22.-* A la paz, a la tranquilidad, al disfrute de su tiempo y al descanso, así como gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida.

  Artículo 7° El Estado reconoce el derecho de toda persona a acceder de forma progresiva y universal al agua potable. El Estado garantiza este derecho priorizando el consumo humano sobre otros usos.

- **Ley General de Aguas N° 17752**

  Clasificación de las Aguas, calidad de los recursos de aguas en general y el uso.

- **Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM**

  Definición de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales.

- **Reglamento Nacional de Edificaciones Norma OS.090**

  Reglamento de Planta de tratamiento de aguas residuales. Define Estándares de diseño para diferentes tecnologías de Tratamiento de Aguas Residuales.

- **Decreto Supremo N.° 021-2009-VIVIENDA y Decreto Supremo N.° 003-2011-VIVIENDA**

  Decreto de Aprobación de los Valores Máximos Admisibles (VMA) para la descarga al alcantarillado público y su reglamento.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

- **Agua:** es un recurso natural renovable, indispensable para la vida, vulnerables y estratégico para el desarrollo sostenible, el mantenimiento de los sistemas y ciclos naturales que la sustentan (MINAM, 2012)
- **Afluente:** agua u otro líquido que ingresa a un reservorio, planta de tratamiento o proceso de tratamiento (Norma OS.090, 2006).
- **Aguas residuales:** Aguas cuyas características han sido modificadas por actividades antropogénicas, requieren de tratamiento previo y pueden ser vertidas a un cuerpo natural de agua o ser reutilizadas (MINAM, 2012).
- **Ambiente:** Es el conjunto de elementos físicos, químicos y biológicos, de origen natural o antropogénico, que rodean a los seres vivos y determinan sus condiciones de existencia (MINAM, 2012).
- **Autorización de vertimiento:** Es el otorgamiento de una autorización a través de la certificación ambiental, por el organismo correspondiente, cumpliendo los LMP y la implementación progresiva de los ECA, que comprende el sistema de tratamiento de aguas residuales y el efecto del vertimiento en el cuerpo receptor, sujeta a un pago en función a la cantidad y calidad del efluente en cuestión (MINAM, 2012).
- **Bacterias:** Grupo de organismos microscópicos unicelulares, con cromosoma bacteriano único, división binaria y que intervienen en los procesos de estabilización de la materia orgánica (Norma OS.090, 2006).
- **Bioacumilación:** Acumulación de determinadas sustancias químicas en tejidos de organismos vivos de manera directa o a través de la cadena alimenticia, alcanzando concentraciones mayores que en el ambiente al que está expuesto. Usualmente se refiere a la acumulación de metales, pero el concepto también aplica a las sustancias orgánicas persistentes, como los compuestos organoclorados (MINAM, 2012).

- **Contaminación:** Es un cambio perjudicial en las características físicas, químicas y biológicas de nuestro aire, tierra y agua que puede afectar o afectará nocivamente la vida humana y la de especies beneficiosas (MINAM, 2012).
- **Demanda Biológica de Oxigeno (DQO):** Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20°C) (Norma OS.090, 2006).
- **Demanda Química de Oxigeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidante sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio (Norma OS.090, 2006).
- **Ecosistemas:** Es el complejo dinámico de comunidades vegetales, animales y de microorganismos y su medio no viviente que interactúan como una unidad funcional (MINAM, 2012).
- **Eficiencia del Tratamiento:** relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje (Norma OS.090, 2006).
- **Efluente:** Descarga directa de aguas residuales que son descargadas al ambiente, cuya concentración de sustancias contaminantes es medida a través de los Límites Máximos Permisibles (LMP) (MINAM, 2012).
- **Endémico:** especies silvestres, géneros y familias únicas en el Perú (en un área o hábitat determinado). especies silvestres, géneros y familias únicas en el Perú (en un área o hábitat determinado) (MINAM, 2012).
- **EPA:** Agencia del gobierno federal de Estados Unidos encargada de proteger la salud humana y proteger el medio ambiente: agua, aire y suelo (Neyra & Torres, 2018).

- **Eutrofización:** referida al aumento de nutrientes que producen un aumento de la biomasa y un empobrecimiento de la diversidad de un ecosistema (MINAM, 2012).
- **Indicador ambiental:** parámetro, o un valor derivado de parámetros que busca proveer información describiendo de manera sintética una medida aproximada o evidencia del estado del ambiente y su impacto cuyo significado es mayor que las propiedades directamente asociadas al valor de los parámetros (MINAM, 2012).
- **Límites Máximos Permisibles (LMP):** Instrumento de gestión ambiental que regula la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2012).
- **Muestreo:** tomar la muestra de volumen predeterminado y con la técnica de preservación correspondiente para el parámetro que se va a analizar (Norma OS.090, 2006).
- **Planta de Tratamiento:** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de aguas residuales (Norma OS.090, 2006).
- **Planta Piloto:** Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes y parámetros de diseño del proceso (Norma OS.090, 2006).
- **Resiliencia:** capacidad de un sistema, comunidad o sociedad, de adaptarse a los disturbios y cambios mientras mantiene sus funciones y servicios y así mismo mantiene un nivel aceptable de funcionamiento y estructura (MINAM, 2012).
- **Tratamiento Biológico:** proceso de tratamiento que intensifica la acción de los microrganismos para estabilizar la materia orgánica (Norma OS.090, 2006).

- **Tratamiento Primario:** remoción de una considerable cantidad de materia en suspensión sin incluir la materia coloidal y disuelta (Norma OS.090, 2006).
- **Vertimiento:** Sinónimo de Efluente. Está referido a toda descarga deliberada de aguas residuales a un cuerpo natural de agua. Se excluyen las provenientes de naves y artefactos navales, así como la descarga de aguas residuales al alcantarillado (MINAM, 2012).

2.4. ABREVIATURAS

- **AS:** Área Superficial
- **C:** Carbono
- **DBO_5:** Demanda Biológica de Oxigeno al 5^{to} día
- **DQO:** Demanda Química de Oxigeno
- **DS:** Decreto Supremo
- **ECA:** Estándar de Calidad Ambiental
- **EPS:** Empresa Prestadora de Servicio
- **H:** Hidrogeno
- **HAFSS:** Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial
- **HDPE:** High Density Polyethylene (polietileno de alta densidad)
- **HP:** Horsepower (caballos de fuerza)
- **K:** Potasio
- **K_T:** Constante de Temperatura
- **LMP:** Límite Máximo Permisibles
- **L:** Largo del Humedal
- **MINAM:** Ministerio del Ambiente
- **MVCS:** Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento
- **N:** Nitrógeno
- **Nv:** Numero de Macrofitas

- **O:** Oxigeno
- **P:** Fósforo
- **PTAR:** Planta de Tratamiento de Aguas Residuales
- **PVC:** Cloruro de Polivinilo
- **S:** Azufre
- **SHAC:** Salida de Humedal Artificial Convencional
- **SHAM:** Salida de Humedal Artificial Mejorado
- **SLP:** Salida de Laguna Primaria
- **SPCC:** Southern Peru Copper Corporation
- **SS:** Sólidos Suspendidos
- **SUNASS:** Superintendencia Nacional de Servicios y Saneamiento
- **TRH:** Tiempo de Retención Hidráulica
- **VMA:** Valores Máximos Admisibles
- **W:** Ancho del Humedal

CAPÍTULO 3: MARCO METODOLÓGICO

3.1. TIPO, NIVEL Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.1.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Según (Hernandez et al., 2010) la investigación es del siguiente tipo:

- Según las variables: Experimental
- Según la fuente de información: Investigación de Campo
- Según la extensión del estudio: Investigación de Caso
- Según el nivel de medición y análisis de la información: Investigación Cuantitativa
- Según su ubicación temporal: Transversal
- Según el objeto de estudio: Investigación Aplicativa

3.1.2. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

(Sousa et al., 2007) La presente investigación tiene un diseño experimental – cuasi experimental que analiza la causa y efecto entre las variables independientes y dependientes bajo condiciones altamente controladas.

El diseño de la Investigación abarco las siguientes etapas las cuales se desarrollaron de manera secuencial en cada una de las evaluaciones realizadas:

3.1.2.1. Planificación

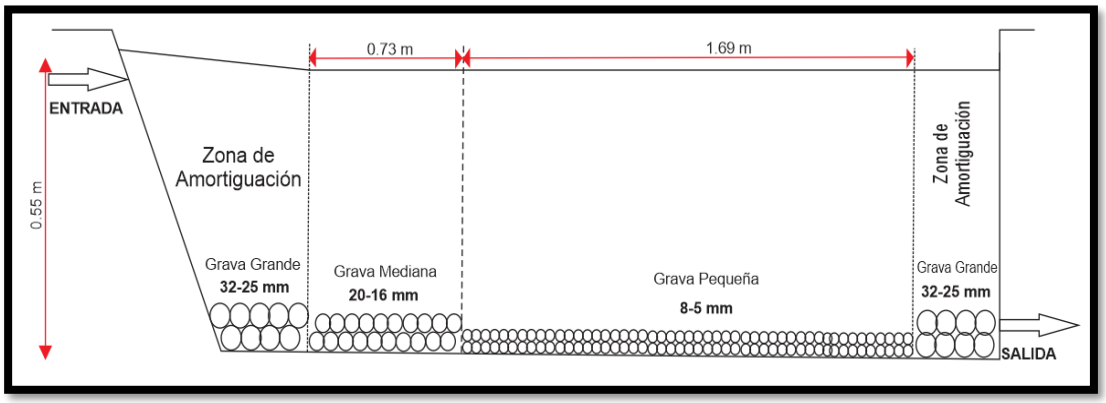
La presente investigación inició con la selección del tipo de humedal adecuado, autorización y permisos para la ubicación del desarrollo de la investigación, diseño del humedal, cotización y adquisición de materiales de la ejecución de la investigación y el respectivo monitoreo.

3.1.2.2. Diseño

En la etapa se tuvo en cuenta los factores para diseño de los humedales así como buscar una opción innovadora para lograr una mejor eficiencia de los mismo optando por construir un humedal piloto con características convencionales Figura *6* y otro humedal piloto adicionándole un tipo de zeolita más a las mismas características del humedal convencional Figura *7*.

Figura 6

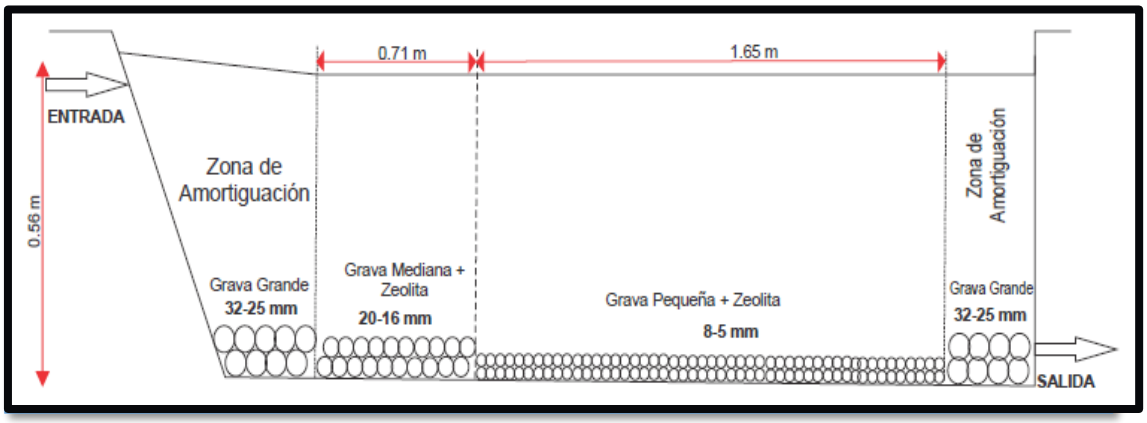
Diseño Piloto del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial - Convencional



Fuente: Elaboración Propia

Figura 7

Diseño Piloto del Humedal Artificial de Flujo Subsuperficial - Mejorado



Fuente: Elaboración Propia

La metodología utilizada para diseñar e implementar los sistemas de los Humedales Pilotos Artificiales Subsuperficial fue según manuales de construcción de humedales (CONAGUA, 2018; Cueva & Rivadeneira, 2013; Delgadillo et al., 2010; Lara, 1999; Salas et al., 2007), donde el factor limitante para el dimensionamiento y diseño del humedal es la concentración del DBO_5 por lo que se trabajó con datos del análisis que la EPS Ilo realizo en el mes de diciembre del 2016 por un laboratorio acreditado.

3.1.2.3. Construcción

En esta etapa se evaluó el tipo de material a usar en la construcción de los humedales, donde se usó varios tipos de materiales para el medio del humedal como son: grava grande, grava mediana, grava pequeña y zeolita que tienen diferente tamaño, porosidad y conductividad hidráulica. Considerando los siguientes materiales como se observan en la Tabla *3*.

Tabla 3

Características Típicas de los Soportes para Humedales Artificiales (adaptado de (Zúñiga, 2004)).

Tipo de material	Tamaño efectivo (mm)	Porosidad (%)	Conductividad hidráulica (m/d)
Zeolita	2	32	1000
Arena Gravosa	8	35	5000
Grava Fina	16	38	7500
Grava Media	32	40	10000

Fuente: Elaboración propia - adaptado (Zúñiga, 2004)

3.1.2.4. Monitoreo

Se desarrollaron (03) tres muestreos representativos para los parámetros que se encuentran contemplados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM “Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales” según *Tabla 25* en cada mes como se observa en el Cronograma de Actividades en el *Cuadro 1*.

Se emplearon como referencia para los muestreos el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de Agua Superficial según Resolución Jefatural N° 182-2011-ANA, Protocolo de Muestreo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento aprobado con R.M. N°273-2013-VIVIENDA. Así mismo se monitoreo la calidad del agua mediante un MULTIPARAMETRO DIGITAL 3630 WTW donde se tomó los datos de: temperatura, oxígeno disuelto, solidos totales disueltos, turbidez, salinidad; siendo los 03 parámetros primero los principales para verificar el tratamiento de forma inmediata. Se consideró la toma de muestra del Afluente (salida de laguna primaria) antes de que ingrese al humedal para luego del tiempo de retención (TRH) donde efectúa el tratamiento se vuelva a tomar la muestra a la salida de los humedales a modo de verificar el mejoramiento de la calidad del agua.

3.1.2.5. Análisis de Muestras de Laboratorio

Las muestras para Demanda Bioquímica de Oxigeno (DBO_5), Demanda Química de Oxigeno (DQO), Coliformes Termotolerante o Fecales, Aceites y Grasa, Sólidos Suspendidos Totales y Ph se

enviaron a BHIOS LABORATORIOS (2 corridas mayo y julio) y en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la UNAM - Filial Ilo (1 corrida junio). En ambos casos se aseguró la integridad de las muestras conservando las Cadenas de Custodia respectivas. Los métodos de ensayo utilizados y sus respectivas referencias se muestran en el

Cuadro *2*.

3.1.2.6. Análisis de Datos

Lo primero que se realizo fue armar una tabla donde estuvieran los resultados de análisis para luego dale un tratamiento estadístico en el programa SPSS 22.

3.1.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

(Hernandez et al., 2010) El Nivel de Investigación del presente estudio de acuerdo a la naturaleza de la investigación, reúne por su nivel las características de una investigación *correlacional* donde este tipo de estudio persigue medir el grado de relación existente entre dos o más variables.

3.2. ÁMBITO TEMPORAL Y ESPACIAL

3.2.1. ÁMBITO TEMPORAL

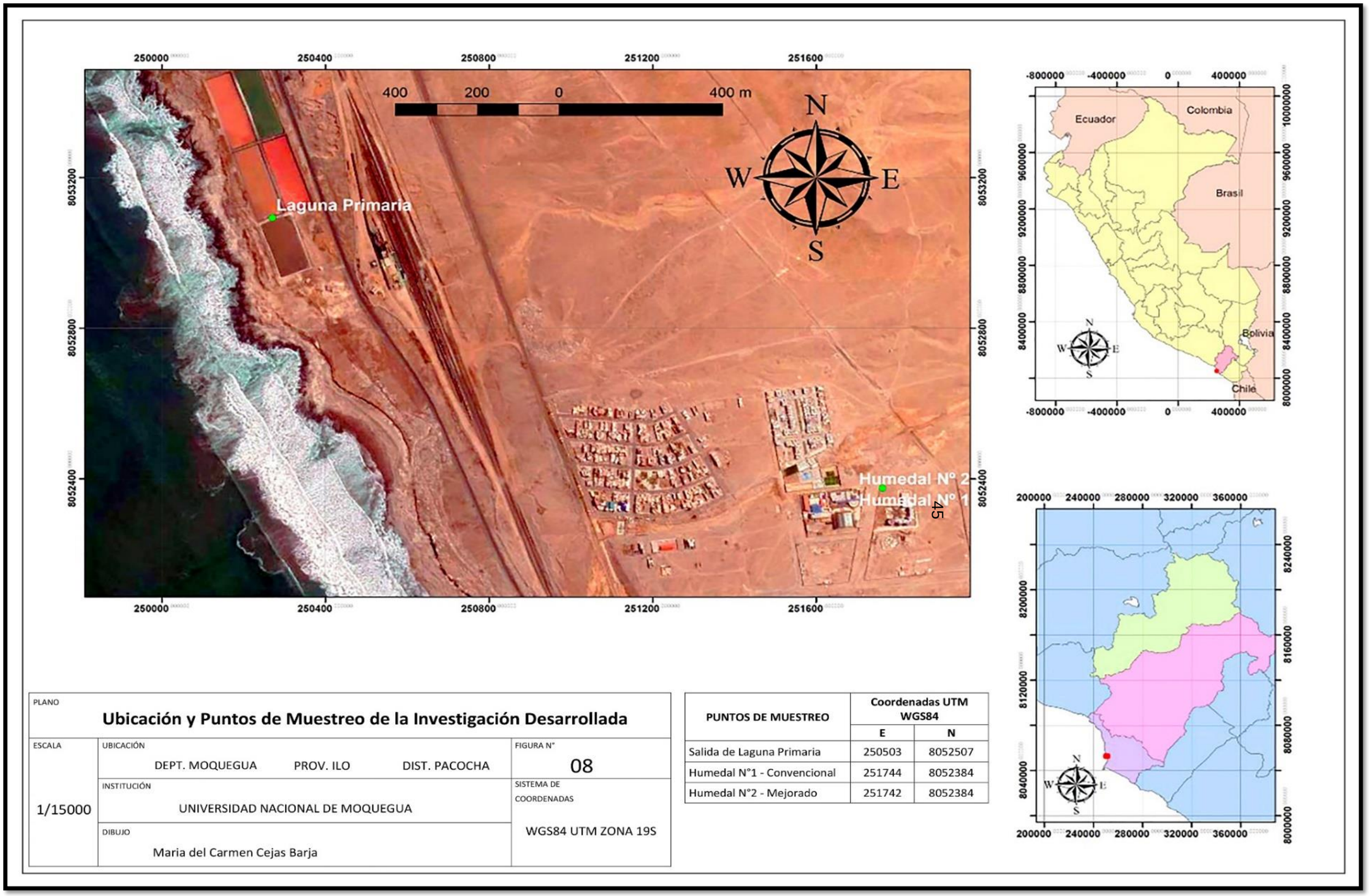
La presente investigación fue desarrollada durante los meses de marzo a agosto del 2017.

3.2.2. ÁMBITO ESPACIAL

La investigación se realizó en el distrito de Pacocha teniendo la siguiente ubicación según se muestra en la *Figura 8*

Figura 8

Plano de Ubicación y Puntos de Muestreo



PLANO	Ubicación y Puntos de Muestreo de la Investigación Desarrollada	
ESCALA	UBICACIÓN: DEPT. MOQUEGUA PROV. ILO DIST. PACOCHA	FIGURA N°
1/15000	INSTITUCIÓN: UNIVERSIDAD NACIONAL DE MOQUEGUA	SISTEMA DE COORDENADAS: WGS84 UTM ZONA 19S
	DIBUJO: Maria del Carmen Cejas Barja	08

PUNTOS DE MUESTREO	Coordenadas UTM WGS84	
	E	N
Salida de Laguna Primaria	250503	8052507
Humedal N°1 - Convencional	251744	8052384
Humedal N°2 - Mejorado	251742	8052384

45

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La Población en estudio está compuesta por el *afluente* de la laguna primaria de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la EPS Ilo.

3.3.2. MUESTRA

La muestra que se ha de utilizar es de un volumen de 200 litros de afluente tomado a la salida de la Laguna Primaria de la PTAR de la EPS Ilo para cada humedal.

3.4. INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.4.1. CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE DEL PTAR

Para poder realizar la caracterización se analizó resultados de muestreos realizados por la misma EPS Ilo y se visitó la Planta de Tratamiento para visualizar los puntos, considerando lo siguiente:

Objetivo: obtener suficiente información sobre la composición de las aguas residuales. Caracterización específica de aguas residuales domésticas y determinación de puntos de muestreo.

Parámetros a medir: donde se seleccionará los indicadores más importantes como el DBO_5, DQO, SST y coliformes.

Selección de los Puntos de muestreo: la selección de puntos de muestreo se ubica en tres puntos como son salida de la laguna primaria (SLP), salida de humedal artificial convencional (SHAC) y salida de humedal artificial mejorado (SHAM).

Selección de información: se puedo entrevistar con el encargado de la Planta de Tratamiento con el fin de conocer el proceso y así es como se obtuvo información que consistió en análisis que la EPS Ilo realizo en el mes de diciembre del 2016 por un laboratorio acreditado.

3.4.2. TÉCNICAS PARA LAS PRUEBAS EXPERIMENTALES

Con el fin de efectuar las pruebas experimentales necesarias para demostrar la hipótesis planteada se requirió el diseño y construcción de los humedales pilotos de tipo de Flujo Subsuperficial, utilizando para dicho diseño la teoría basada en el Marco Teórico, el piloto se construyó y opero en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Moquegua. A continuación se presenta el cálculo de diseño del HAFSS, en base a la información teórica:

a) **Constante de temperatura en el humedal** $(\boldsymbol{K_T})$ **.-** Se determinó la velocidad de la reacción de acuerdo a la temperatura:

$$\boldsymbol{K_T = 1.104 \times (1.06)^{26.7-20}}$$

$$\boldsymbol{K_T = 1.63}$$

b) **Área superficial (A_S).-** Se obtuvo el Área superficial aplicando la fórmula:

- Humedal Artificial Convencional:

$$\boldsymbol{As = \frac{0.2 \times (\ln 300 - ln30)}{1.63 \times (0.38)(0.55)}}$$

$$\boldsymbol{As = 1.36\ m^2}$$

- Humedal Artificial Mejorado:

$$\boldsymbol{As = \frac{0.2 \times (\ln 300 - ln30)}{1.63 \times (0.363)(0.56)}}$$

$$\boldsymbol{As = 1.4\ m^2}$$

c) **Tiempo de retención Hidráulica (TRH).-** se aplicó la siguiente fórmula:

- Humedal Artificial Convencional:

$$\boldsymbol{TRH = \frac{(1.36)(0.55)(0.38)}{0.2}}$$

$$\boldsymbol{TRH = 1.4\ días}$$

- Humedal Artificial Mejorado:

$$\boldsymbol{TRH = \frac{(1.4)(0.56)(0.363)}{0.2}}$$

$$\boldsymbol{TRH = 1.9\ días}$$

d) **Ancho del Humedal (W).-** Se calculó el ancho del humedal aplicando la fórmula:

- Humedal Artificial Convencional:

$$\boldsymbol{W = \frac{1}{0.54} \times \left(\frac{(0.2)(1.36)}{(0.01)(159.21)}\right)^{0.5}}$$

$$\boldsymbol{W = 0.56\ m}$$

- Humedal Artificial Mejorado:

$$\boldsymbol{W = \frac{1}{0.55} \times \left(\frac{(0.2)(1.4)}{(0.01)(145.56)}\right)^{0.5}}$$

$$\boldsymbol{W = 0.59\ m}$$

e) **Largo del Humedal (L).-** Se determinó el largo del humedal utilizando la fórmula:

- Humedal Artificial Convencional:

$$\boldsymbol{L = \frac{1.36}{0.56}}$$

$$\boldsymbol{L = 2.42\ m}$$

- Humedal Artificial Mejorado:

$$\boldsymbol{L = \frac{1.40}{0.59}}$$

$$\boldsymbol{L = 2.36\ m}$$

f) **Número de Macrófitas (Nv).-** Se determinó la cantidad de macrófitas requeridas para la instalación de cada humedal utilizando la fórmula:

- Humedal Artificial Convencional:

$$\boldsymbol{Nv = \left(\frac{2.42}{0.21} - 1\right)\left(\frac{0.56}{0.21} - 1\right)}$$

$$\boldsymbol{Nv = 18\ individuos}$$

- Humedal Artificial Mejorado:

$$Nv = \left(\frac{2.36}{0.21} - 1\right)\left(\frac{0.59}{0.21} - 1\right)$$

$$Nv = 18\ individuos$$

3.5. PROCEDIMIENTOS

En su fase experimental, fue necesario recolectar datos de las aguas residuales domésticas tratadas por el humedal piloto para demostrar la hipótesis propuesta. Esta recolección de datos se realizó a partir de la evaluación de los valores de los indicadores de la variable dependiente.

Al momento de analizar los resultados de los parámetros analizados y compararlos con los valores de la Clase III de la Ley de Aguas permitió disponer de una manera adecuada los efluentes tratados en la presente investigación de modo que se demostraría el cumplimiento de la Hipótesis, y conocer la eficiencia del tratamiento para aprovechar el efluente tratado para el riego de áreas verdes.

Por esta razón, es necesario desarrollar un protocolo de monitoreo para muestreo en el humedal piloto. Para determinar las características de los indicadores de las variables dependientes, se evaluaron las muestras extraídas de los procedimientos de seguimiento establecidos que constaba en tomar muestras de aguas residuales en la entrada y salida de los humedales.

En el proceso de muestreo que se desarrolló durante la investigación, se llevaron a cabo procedimientos de muestreo, almacenamiento, etiquetado, empaque y transporte. Para garantizar la representatividad de las muestras, también se llevaron a cabo las siguientes sub actividades:

3.5.1. ACTIVIDADES DE PRE MUESTREO

- **Equipos e Instrumentos.-** Los equipos e instrumentos de medición en sitio cumplen con las normas establecidas en el protocolo de

monitoreo, que estipula que la limpieza y calibración se debe realizar antes de ir a campo y se debe mantener las mismas condiciones al final del muestreo. Teniendo como principales Equipos: multiparametro (pH, Oxigeno, salinidad y solidos suspendidos totales), termómetro digital (T ºC) y Cooler con refrigerante para mantener las muestras a de 4±2ºC.

- **Tipos de Recipientes de Muestreo.-** Los envases utilizados para la toma de muestra y su posterior análisis fueron proporcionados por el laboratorio de Ciencias Básicas de la UNAM Filial Ilo y por BHIOS LABORATORIOS S.R.L. que se encuentra acreditada por INACAL con registro N° LE-055, estos envases fueron previamente esterilizados, sellados y etiquetados. Para la realización del programa de monitoreo se utilizarán los siguientes envases:
  - Frascos de polietileno de 1,000 ml
  - Frascos de vidrio de 1,000 ml
  - Frascos de polietileno de 500 ml
  - Frascos de vidrio de 500 ml

- **Preservantes y Solución de Calibración.-** Al realizar los procedimientos de monitoreo, las muestras deben transportarse al laboratorio por lo que las muestras deben conservarse adecuadamente para mantener las condiciones físicas, químicas y biológicas del afluente y efluente para garantizar la veracidad de los resultado de los análisis del agua residual. Para lo cual es necesario que en algunos envases, se agregue productos químicos como preservantes y almacenarlos en un ambiente frío (cooler). Para los equipos, debe calibrarse antes de ejecutar muestreos.

- **Materiales de Apoyo para el Muestreo.**- En la ejecución de la toma de muestras y los muestreos de parámetros in situ se utilizó los siguientes materiales:
    - Vasos precipitado (Backer) de 500 mL
    - Jarra plástico de 1000 mL

- **Equipo de Seguridad para el Muestreo.-** Para la recolección y análisis de muestras en el laboratorio, también se utilizó implementos de seguridad para evitar el contacto directo con muestras y productos químicos:
    - Guarda polvo blanco
    - Lentes de laboratorio
    - Mascarillas de doble filtro
    - Guantes quirúrgicos desechables

3.5.2. ACTIVIDADES DE MUESTREO Y RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

- **Toma de muestra.-** las muestras utilizadas para el análisis se recolectaron dentro de las horas establecidas en el cálculo de tiempo de retención.
    - Procedencia de la Muestra
    - Nombre de la Fuente
    - Punto de Muestreo
    - Fecha de Muestreo
    - Hora de la toma de muestra
    - Técnica de preservación.
    - Responsable del Muestreo

- **Rotulado de las Muestras.-** Antes de enviar las muestras al laboratorio para su respectivo análisis, se ha rotulado correctamente y se registró la siguiente información en la etiqueta.

- **Volumen de la Muestra.-** Se recolectó de 1 a 2 litros para la realización de los análisis. En este punto, debido a las características de los efluentes, se tomaron muestras de cada humedal artificial, cada treinta y cuatro horas en el humedal artificial convencional y cuarenta y siete horas para el humedal mejorado, para luego extraer una muestra representativa para un posterior análisis de laboratorio.

- **Recolección de Datos de Campo.-** La recolección de datos de campo (pH, Temperatura, Salinidad, Solidos Totales Disueltos, Oxígeno Disuelto) se realizó “in situ” utilizando un MULTIPARAMETRO DIGITAL 3630 WTW debidamente calibrado y verificado de acuerdo a los métodos de ensayo utilizados a nivel nacional e internacional, cuya metodología es según el

- Cuadro *2*.

- **Tiempo Máximo de Almacenamiento.-** El análisis inmediato es la mejor forma de reducir el margen de error, por ello se constituye que durante el muestreo se tiene que preservar y acondicionar a temperaturas menores de 4 +/- 2 °C (refrigerar en el cooler) para ser llevados posteriormente a BHIOS LABORATORIOS S.R.L. Como se muestra en la *Tabla 24* para cada parámetro seleccionado para la presente investigación.

- **Conservación y Preservación de la Muestra.-** La conservación y preservación de las muestras se efectuaron de acuerdo a lo indicado

en el Anexo *Tabla 24*. Los análisis realizados por el laboratorio certificado fueron enviados debidamente identificados y acompañados de su Cadena de Custodia teniendo en cuenta los protocolos asimismo, los análisis que se realizaron en el Laboratorio de Ciencias Básicas – Biología también contó con todo el procedimiento y la utilización de la metodología para análisis.

- **Transporte y Almacenamiento.**- Para el transporte de las muestras se utilizaron cajas térmicas aislantes (Cooler), que contribuyeron a la preservación de las muestras hasta llegar al laboratorio.

3.6. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis estadístico de los datos recopilados durante los muestreos y los posteriores análisis de Laboratorio se utilizaron los Softwares SPSS Statistics 22 y hoja de cálculo Excel 2013.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. RESULTADOS

4.1.1. PARÁMETROS DE CAMPO

Se basan en la confiabilidad del MULTIPARAMETRO DIGITAL 3630 WTW el cual cuenta con soluciones patrones para calibrado.

a) Potencial de Iones Hidronio (pH)

Los valores de pH realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 7.5 a 9.87, efluente 1 (SHAC) vario entre 6.97 a 8.55 y en el efluente 2 (SHAM) vario entre 7.07 a 8.45 Tabla *4*.

Tabla 4

Monitoreo del pH en los Humedales Pilotos

N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2
1	9/04/2017	8.00	8.10	8.30	25	29/05/2017	8.68	7.85	7.80
2	11/04/2017	7.60	7.50	7.84	26	1/06/2017	8.80	7.81	7.85
3	13/04/2017	7.60	7.20	7.80	27	3/06/2017	8.50	7.70	7.65
4	15/04/2017	7.35	7.30	7.40	28	5/06/2017	9.87	7.88	7.64
5	17/04/2017	7.00	6.97	7.07	29	7/06/2017	9.47	7.99	7.80
6	19/04/2017	7.80	7.65	7.92	30	9/06/2017	8.85	7.90	7.80
7	21/04/2017	7.35	7.20	7.50	31	11/06/2017	8.91	8.50	8.12
8	23/04/2017	7.60	7.48	7.70	32	13/06/2017	8.87	7.74	7.51
9	25/04/2017	7.95	7.80	8.11	33	15/06/2017	8.80	7.92	7.70
10	27/04/2017	7.50	7.40	7.65	34	17/06/2017	8.60	7.92	7.70
11	1/05/2017	7.17	7.10	7.30	35	19/06/2017	8.70	8.00	7.74
12	3/05/2017	7.80	7.74	7.87	36	21/06/2017	8.80	7.84	7.68
13	5/05/2017	7.80	7.73	7.97	37	23/06/2017	8.73	8.45	8.35
14	7/05/2017	8.37	8.38	8.33	38	25/06/2017	9.47	7.99	7.80
15	9/05/2017	7.8	7.7	7.5	39	27/06/2017	8.81	8.30	7.90
16	11/05/2017	8.10	7.80	7.90	40	29/06/2017	8.81	7.91	8.03
17	13/05/2017	8.10	7.90	7.80	41	1/07/2017	8.17	7.83	7.99
18	15/05/2017	8.50	8.30	7.99	42	3/07/2017	8.70	8.00	7.74
19	17/05/2017	8.70	8.25	8.00	43	5/07/2017	8.50	7.63	7.40
20	19/05/2017	8.50	7.90	7.78	44	7/07/2017	8.71	7.68	7.50
21	21/05/2017	8.55	8.45	7.73	45	9/07/2017	8.77	7.98	7.76

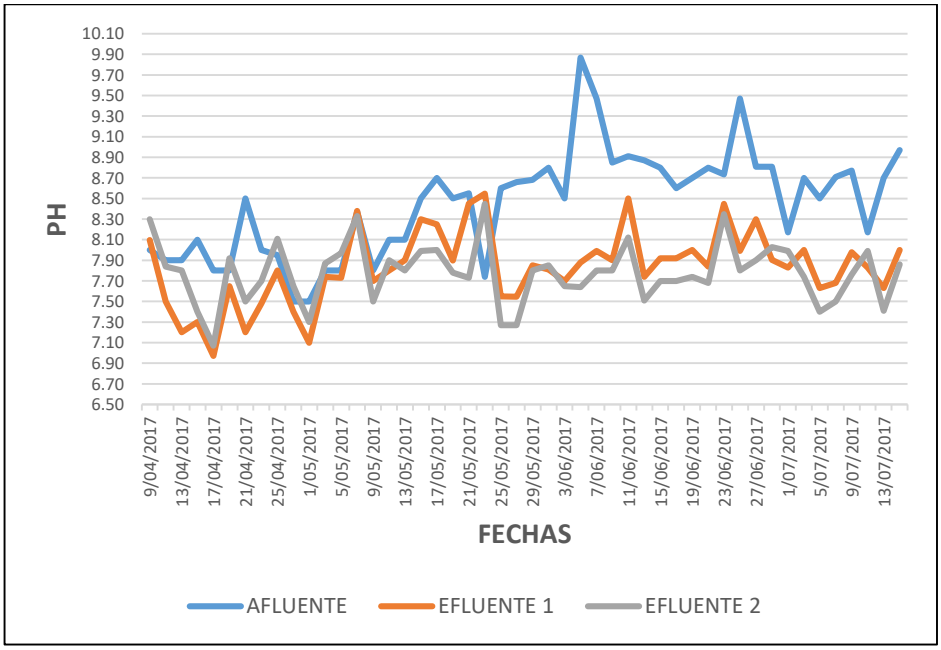
22	23/05/2017	7.74	8.55	8.45	46	11/07/2017	8.17	7.83	7.99
23	25/05/2017	8.60	7.55	7.27	47	13/07/2017	8.70	7.63	7.41
24	27/05/2017	8.66	7.55	7.27	48	15/07/2017	8.97	8.00	7.86

Fuente: Elaboración Propia

Donde en la *Figura 9* el valor del rango de pH del afluente se encuentra sobrepasando valores y los rangos de pH de los efluentes en ambos humedales se encuentran dentro de los rangos, acogiéndonos al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

Figura 9

Comportamiento del PH



Fuente: Elaboración Propia

b) Temperatura

Los valores de temperatura realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 20.0°C a 28.7°C, efluente 1 (SHAC) vario entre 20.10°C a 28.8°C y en el efluente 2 (SHAM) 20.1°C a 29.0°C Tabla *5*.

Tabla 5

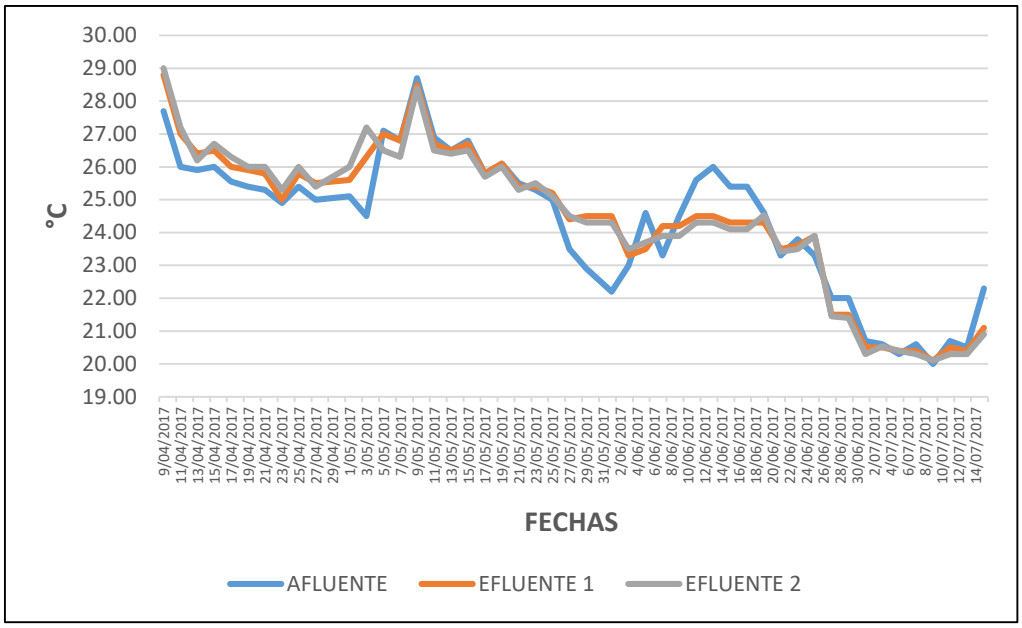
Monitoreo de Temperatura en los Humedales Pilotos

N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2
1	9/04/2017	27.70	28.80	29.00	25	29/05/2017	22.90	24.50	24.30
2	11/04/2017	26.00	27.00	27.20	26	1/06/2017	22.20	24.50	24.30
3	13/04/2017	25.90	26.40	26.20	27	3/06/2017	23.00	23.30	23.50
4	15/04/2017	26.00	26.50	26.70	28	5/06/2017	24.60	23.50	23.70
5	17/04/2017	25.55	26.00	26.30	29	7/06/2017	23.30	24.20	23.90
6	19/04/2017	25.40	25.90	26.00	30	9/06/2017	24.50	24.20	23.90
7	21/04/2017	25.30	25.80	26.00	31	11/06/2017	25.60	24.50	24.30
8	23/04/2017	24.90	25.00	25.30	32	13/06/2017	26.00	24.50	24.30
9	25/04/2017	25.40	25.80	26.00	33	15/06/2017	25.40	24.30	24.10
10	27/04/2017	25.00	25.50	25.40	34	17/06/2017	25.40	24.30	24.10
11	1/05/2017	25.10	25.60	26.00	35	19/06/2017	24.60	24.30	24.53
12	3/05/2017	24.50	26.30	27.20	36	21/06/2017	23.30	23.50	23.42
13	5/05/2017	27.10	27.00	26.50	37	23/06/2017	23.80	23.60	23.50
14	7/05/2017	26.80	26.80	26.30	38	25/06/2017	23.30	23.90	23.90
15	9/05/2017	28.70	28.50	28.40	39	27/06/2017	22.00	21.50	21.45
16	11/05/2017	26.90	26.70	26.50	40	29/06/2017	22.00	21.50	21.40
17	13/05/2017	26.50	26.50	26.40	41	1/07/2017	20.70	20.50	20.30
18	15/05/2017	26.80	26.70	26.50	42	3/07/2017	20.60	20.50	20.53
19	17/05/2017	25.80	25.80	25.70	43	5/07/2017	20.30	20.40	20.40
20	19/05/2017	26.10	26.10	26.00	44	7/07/2017	20.60	20.40	20.30
21	21/05/2017	25.50	25.40	25.30	45	9/07/2017	20.00	20.10	20.10
22	23/05/2017	25.30	25.40	25.50	46	11/07/2017	20.70	20.50	20.30
23	25/05/2017	25.00	25.20	25.10	47	13/07/2017	20.50	20.40	20.30
24	27/05/2017	23.50	24.40	24.50	48	15/07/2017	22.30	21.10	20.90

Fuente: Elaboración Propia

Figura 10

Comportamiento de la Temperatura



Fuente: Elaboración Propia

Donde los valores del rango de la temperatura del afluente se encuentra dentro de los valores y los rangos de temperaturas de los efluentes en ambos humedales se encuentran dentro de los rangos, acogiéndonos al Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Asimismo debido a los meses donde se desarrolló la investigación fue enmarcada por las estaciones de verano e invierno pudiendo observarse en la Figura *10* los valores máximos y mínimos, que influyeron satisfactoriamente en el desarrollo de la investigación.

c) Salinidad

Los valores de temperatura realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 4.60‰ a 6.00‰, efluente 1 (SHAC) vario entre 4.48‰ a 5.60‰ y en el efluente 2 (SHAM) 4.40‰ a 5.90‰ Tabla *6*.

Tabla 6

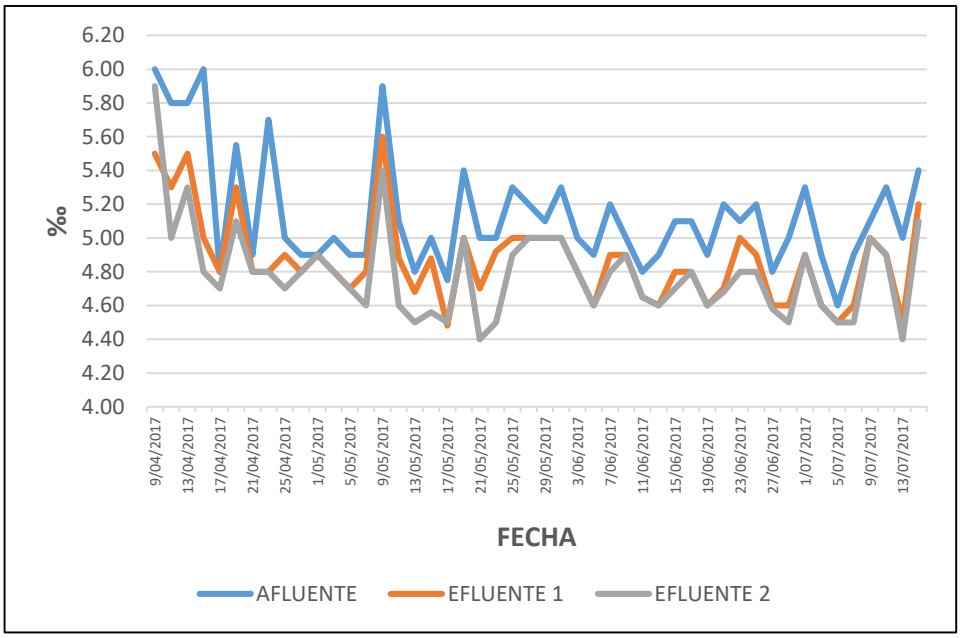
Monitoreo de Salinidad en los Humedales Pilotos

N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2
1	9/04/2017	6.00	5.50	5.90	25	29/05/2017	5.10	5.00	5.00
2	11/04/2017	5.80	5.30	5.00	26	1/06/2017	5.30	5.00	5.00
3	13/04/2017	5.80	5.50	5.30	27	3/06/2017	5.00	4.80	4.80
4	15/04/2017	6.00	5.00	4.80	28	5/06/2017	4.90	4.60	4.60
5	17/04/2017	4.80	4.80	4.70	29	7/06/2017	5.20	4.90	4.80
6	19/04/2017	5.55	5.30	5.10	30	9/06/2017	5.00	4.90	4.90
7	21/04/2017	4.90	4.80	4.80	31	11/06/2017	4.80	4.65	4.65
8	23/04/2017	5.70	4.80	4.80	32	13/06/2017	4.90	4.60	4.60
9	25/04/2017	5.00	4.90	4.70	33	15/06/2017	5.10	4.80	4.70
10	27/04/2017	4.90	4.80	4.80	34	17/06/2017	5.10	4.80	4.80
11	1/05/2017	4.90	4.90	4.90	35	19/06/2017	4.90	4.60	4.60
12	3/05/2017	5.00	4.80	4.80	36	21/06/2017	5.20	4.70	4.68
13	5/05/2017	4.90	4.70	4.70	37	23/06/2017	5.10	5.00	4.80
14	7/05/2017	4.90	4.80	4.60	38	25/06/2017	5.20	4.90	4.80
15	9/05/2017	5.90	5.60	5.40	39	27/06/2017	4.80	4.60	4.58
16	11/05/2017	5.10	4.88	4.60	40	29/06/2017	5.00	4.60	4.50
17	13/05/2017	4.80	4.68	4.50	41	1/07/2017	5.30	4.90	4.90
18	15/05/2017	5.00	4.88	4.56	42	3/07/2017	4.90	4.60	4.60
19	17/05/2017	4.75	4.48	4.50	43	5/07/2017	4.60	4.50	4.50
20	19/05/2017	5.40	5.00	5.00	44	7/07/2017	4.90	4.60	4.50
21	21/05/2017	5.00	4.70	4.40	45	9/07/2017	5.10	5.00	5.00
22	23/05/2017	5.00	4.92	4.50	46	11/07/2017	5.30	4.90	4.90
23	25/05/2017	5.30	5.00	4.90	47	13/07/2017	5.00	4.50	4.40
24	27/05/2017	5.20	5.00	5.00	48	15/07/2017	5.40	5.20	5.10

Fuente: Elaboración Propia

Figura 11

Comportamiento de la Salinidad



Fuente: Elaboración Propia

d) Sólidos Disueltos Totales

Los valores de sólidos disueltos totales realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 8.03 mg/l a 11.72 mg/l, efluente 1 (SHAC) vario entre 7.47 mg/l a 9.90 mg/l y en el efluente 2 (SHAM) 7.00 mg/l a 10.56 mg/l Tabla 7.

Tabla 7

Monitoreo de Sólidos Disueltos Totales en los Humedales Pilotos

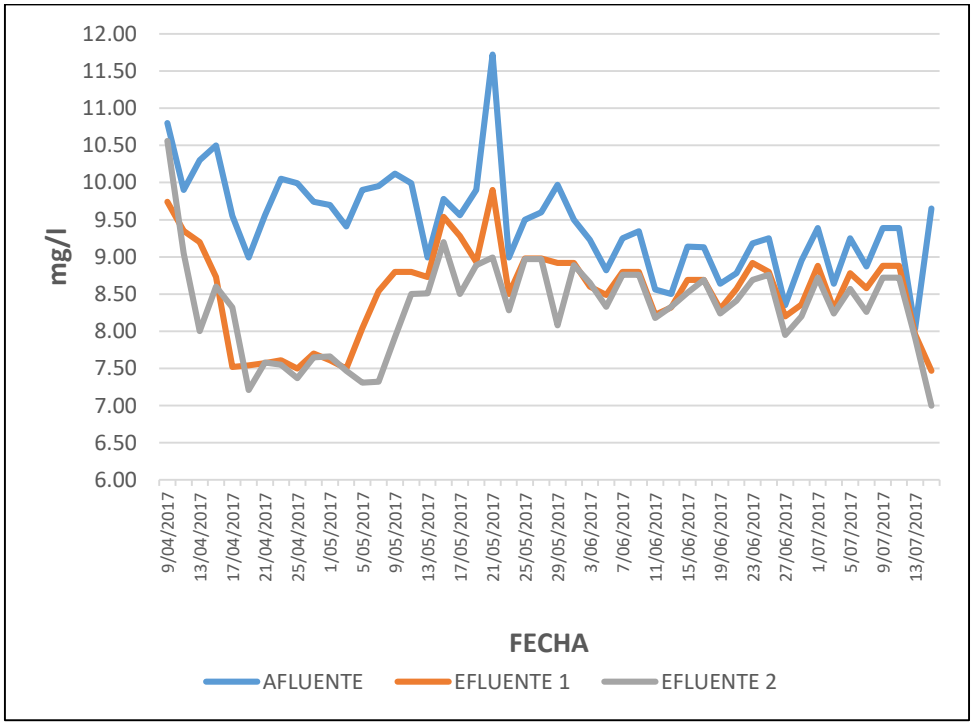
N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2
1	9/04/2017	10.80	9.74	10.56	25	29/05/2017	9.97	8.92	8.08
2	11/04/2017	9.90	9.35	9.05	26	1/06/2017	9.50	8.92	8.89
3	13/04/2017	10.30	9.20	8.00	27	3/06/2017	9.23	8.60	8.65
4	15/04/2017	10.50	8.73	8.60	28	5/06/2017	8.82	8.49	8.33
5	17/04/2017	9.55	7.52	8.32	29	7/06/2017	9.25	8.80	8.76
6	19/04/2017	8.99	7.54	7.21	30	9/06/2017	9.35	8.80	8.76
7	21/04/2017	9.56	7.57	7.58	31	11/06/2017	8.56	8.22	8.18
8	23/04/2017	10.05	7.61	7.55	32	13/06/2017	8.50	8.32	8.33
9	25/04/2017	9.99	7.50	7.37	33	15/06/2017	9.14	8.69	8.52
10	27/04/2017	9.74	7.70	7.65	34	17/06/2017	9.13	8.69	8.69
11	1/05/2017	9.70	7.61	7.66	35	19/06/2017	8.64	8.30	8.24

12	3/05/2017	9.41	7.50	7.47	36	21/06/2017	8.78	8.57	8.41
13	5/05/2017	9.90	8.04	7.31	37	23/06/2017	9.18	8.92	8.69
14	7/05/2017	9.95	8.54	7.32	38	25/06/2017	9.25	8.80	8.76
15	9/05/2017	10.12	8.80	7.92	39	27/06/2017	8.35	8.20	7.95
16	11/05/2017	9.99	8.80	8.50	40	29/06/2017	8.95	8.36	8.20
17	13/05/2017	8.99	8.73	8.51	41	1/07/2017	9.39	8.88	8.72
18	15/05/2017	9.78	9.54	9.20	42	3/07/2017	8.64	8.30	8.24
19	17/05/2017	9.56	9.28	8.50	43	5/07/2017	9.25	8.78	8.57
20	19/05/2017	9.90	8.93	8.89	44	7/07/2017	8.87	8.58	8.26
21	21/05/2017	11.72	9.90	8.99	45	9/07/2017	9.39	8.88	8.72
22	23/05/2017	8.99	8.50	8.28	46	11/07/2017	9.39	8.88	8.72
23	25/05/2017	9.50	8.98	8.97	47	13/07/2017	8.03	7.96	7.91
24	27/05/2017	9.60	8.98	8.97	48	15/07/2017	9.65	7.47	7.00

Fuente: Elaboración Propia

Figura 12

Comportamiento de los Solidos Totales Disueltos



Fuente: Elaboración Propia

Donde los valores del rango de Solidos Disueltos Totales no se encuentran estipulados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, se consideró este parámetro porque una de sus características es la posibilidad de degradación y descomposición por reacciones químicas o acciones enzimáticas de los microorganismos. Que se puedo observar en su comportamiento Figura *12*.

e) Oxígeno Disuelto:

Los valores de solidos disueltos totales realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 0.00 mg/l a 0.20 mg/l, efluente 1 (SHAC) vario entre 0.30 mg/l a 5.52 mg/l y en el efluente 2 (SHAM) 0.32 mg/l a 6.10 mg/l Tabla *8*.

Tabla 8

Monitoreo del Oxígeno Disuelto en los Humedales Pilotos

N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	N°	DIA	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2
1	9/04/2017	0.00	0.30	0.33	25	29/05/2017	0.10	4.78	5.10
2	11/04/2017	0.00	0.35	0.40	26	1/06/2017	0.07	4.69	4.99
3	13/04/2017	0.00	0.32	0.32	27	3/06/2017	0.00	4.71	4.89
4	15/04/2017	0.01	0.40	0.41	28	5/06/2017	0.00	4.94	5.12
5	17/04/2017	0.00	0.43	0.45	29	7/06/2017	0.20	4.85	4.95
6	19/04/2017	0.02	0.46	0.51	30	9/06/2017	0.00	4.45	4.55
7	21/04/2017	0.00	0.50	0.70	31	11/06/2017	0.00	4.54	5.05
8	23/04/2017	0.01	0.99	1.20	32	13/06/2017	0.00	5.00	5.14
9	25/04/2017	0.00	1.50	1.70	33	15/06/2017	0.00	5.16	5.20
10	27/04/2017	0.05	2.60	2.80	34	17/06/2017	0.00	4.90	5.38
11	1/05/2017	0.01	2.62	2.75	35	19/06/2017	0.00	4.89	5.12
12	3/05/2017	0.03	3.65	3.80	36	21/06/2017	0.10	4.74	5.40
13	5/05/2017	0.01	3.66	3.81	37	23/06/2017	0.00	4.33	5.44
14	7/05/2017	0.02	3.68	3.88	38	25/06/2017	0.20	4.55	5.65
15	9/05/2017	0.05	3.84	3.98	39	27/06/2017	0.11	5.52	5.91
16	11/05/2017	0.05	3.90	4.10	40	29/06/2017	0.00	5.52	5.91
17	13/05/2017	0.04	4.00	4.03	41	1/07/2017	0.20	4.43	5.14
18	15/05/2017	0.02	4.01	4.05	42	3/07/2017	0.00	4.89	5.12
19	17/05/2017	0.05	4.09	4.20	43	5/07/2017	0.10	4.80	4.98
20	19/05/2017	0.08	4.50	4.61	44	7/07/2017	0.00	5.01	5.29
21	21/05/2017	0.06	4.48	4.60	45	9/07/2017	0.20	5.00	5.15
22	23/05/2017	0.04	4.65	4.70	46	11/07/2017	0.20	4.99	5.14
23	25/05/2017	0.05	4.72	4.90	47	13/07/2017	0.20	5.10	5.24
24	27/05/2017	0.03	4.88	4.96	48	15/07/2017	0.18	4.82	6.10

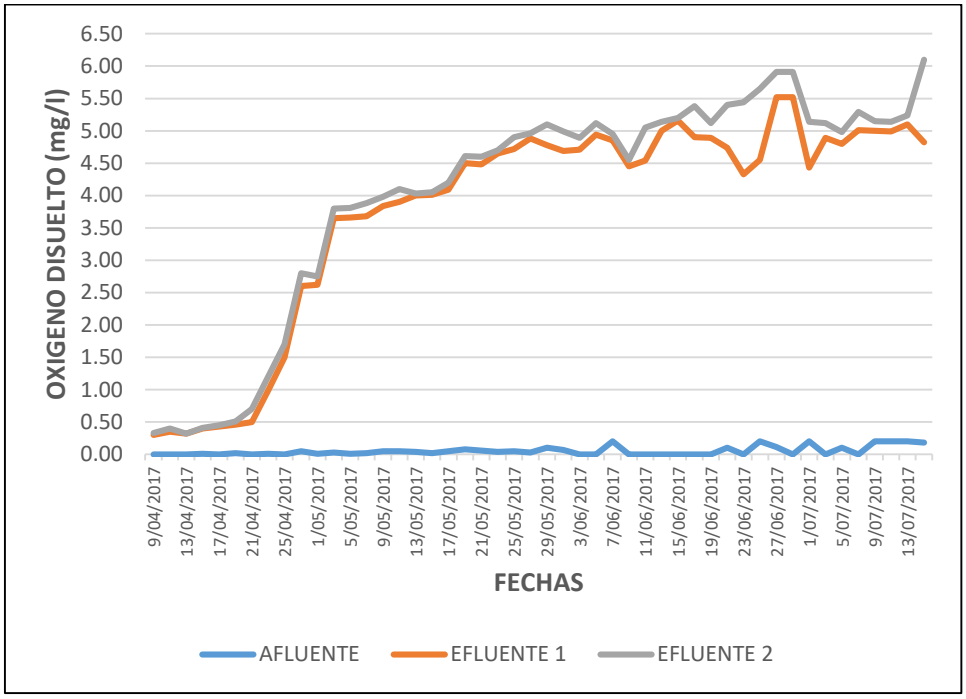
Fuente: Elaboración Propia

Donde el oxígeno disuelto fue un parámetro primordial puesto que era el principal indicador de que el desarrollo de la investigación sea la correcta, que como se puede observar en la Figura *13*, donde el comportamiento

del oxígeno es creciente y favorable para el desarrollo de los microorganismos y proceso de depuración de las aguas residuales.

Figura 13

Comportamiento del Oxígeno Disuelto



Fuente: Elaboración Propia

4.1.2. PARÁMETROS DE LABORATORIO

En los resultados de los 03 muestreos tiene la validación en el certificado de análisis que se realizaron por la empresa BHIOS LABORATORIOS S.R.L. que se encuentra acreditada por INACAL con registro N° LE-055 (2 corridas mayo y julio), así como se utilizó la misma metodología para los análisis realizados en el Laboratorio de Ciencias Básicas de la UNAM - Filial Ilo (2 corridas junio y julio).

a) Aceites y Grasas

Los valores de aceite y grasas realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 4.90 mg/l a 2.30 mg/l,

efluente 1 (SHAC) vario entre 4.60 mg/l a <1.3 mg/l y en el efluente 2 (SHAM) 1.00 mg/l a <1.3 mg/l como se muestra en la *Tabla 9*.

Tabla 9

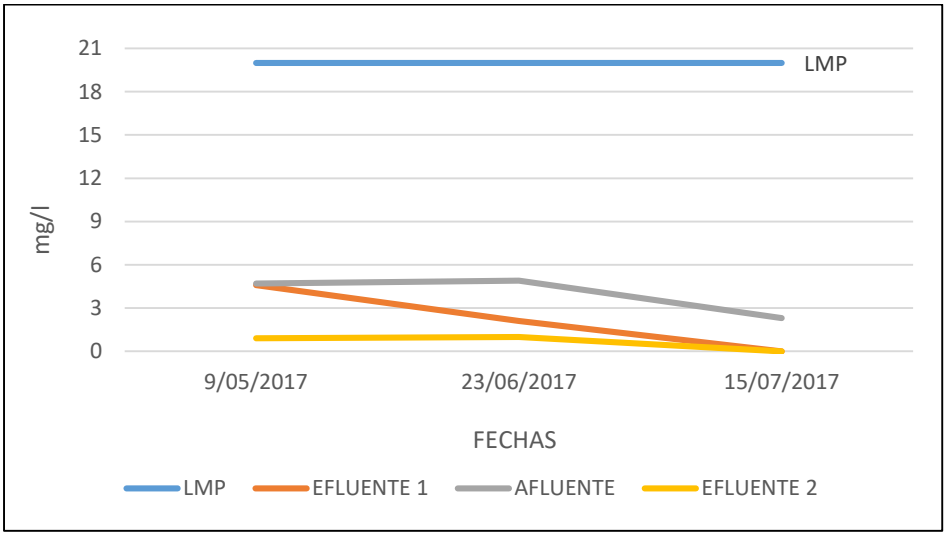
Concentración de Aceite y Grasas en los Humedales Artificiales

Aceites y Grasas	9/05/2017	23/06/2017	15/07/2017
AFLUENTE	4.7	4.9	2.3
EFLUENTE 1	4.6	2.1	< 1.3
EFLUENTE 2	0.9	1	< 1.3
LMP	20	20	20

Fuente: Elaboración Propia

Figura 14

Concentración de Aceite y Grasas en los Humedales Artificiales



Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, como se observa en la Figura *14*, los análisis del parámetro de Aceites y Grasas se encuentran por debajo de los valores de los límites máximos permisibles - LMP que se encuentra en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

b) Coliformes Termotolerantes

Los valores de aceite y grasas realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre $13x10^5$ NMP/100ml a $7x10^7$ NMP/100ml, efluente 1 (SHAC) vario entre $24x10^2$ NMP/100ml a $2x10^3$ NMP/100ml y en el efluente 2 (SHAM) $19x10^2$ NMP/100ml a $17x10^2$ NMP/100ml Tabla 10.

Tabla 10

Concentración de Coliformes Termotolerantes en los Humedales Artificiales

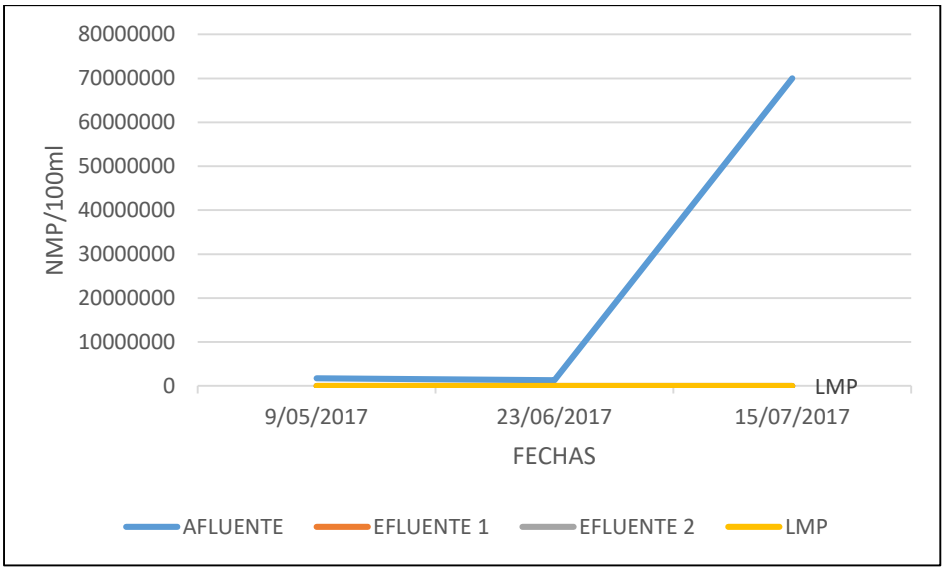
Coliformes Termotolerantes	9/05/2017	23/06/2017	15/07/2017
AFLUENTE	$17x10^5$	$13x10^5$	$7x10^7$
EFLUENTE 1	$24x10^2$	$2x10^3$	$22x10^2$
EFLUENTE 2	$17\ x10^2$	$19\ x10^2$	$17\ x10^2$
LMP	$1x10^4$	$1x10^4$	$1x10^4$

Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Figura *15*, los análisis del parámetro de Coliformes Termotolerantes se encuentran elevada y sobrepasan los valores de los límites máximos permisibles (LMP) que se encuentra en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM como es el caso del afluente (SLP), donde después de salir de los humedales reduce su carga a valores mucho menores que los LMP.

Figura 15

Concentración de Coliformes Termotolerantes en los Humedales Artificiales



Fuente: Elaboración Propia

c) Demanda Bioquímica de Oxigeno 5

Los valores de la Demanda Bioquímica de Oxigeno al 5to día realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 254 mg/l a 200 mg/l, efluente 1 (SHAC) vario entre 88 mg/l a 52 mg/l y el efluente 2 (SHAM) 75 mg/l a 39 mg/l Tabla *11*.

Tabla 11

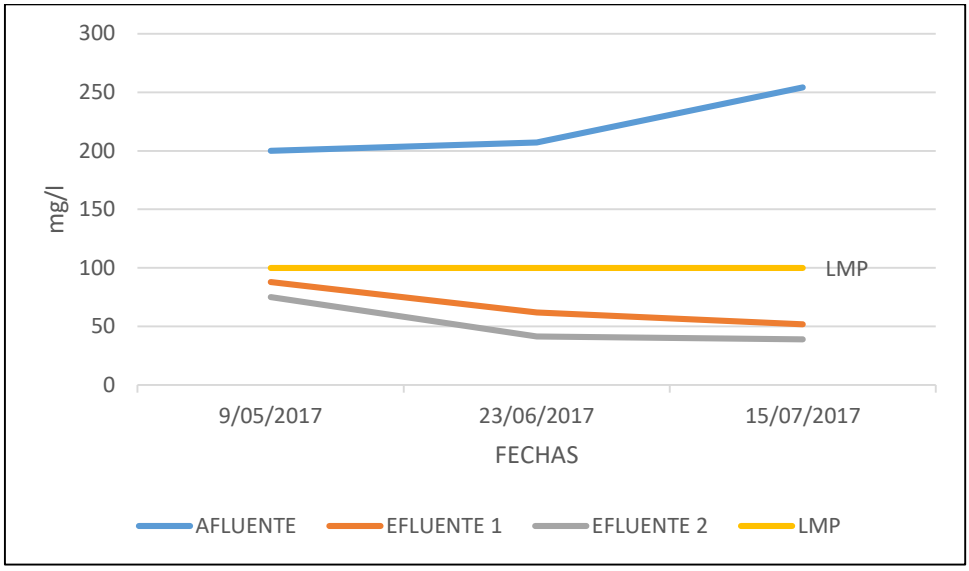
Concentración de Demanda Bioquímica de Oxigeno en los Humedales Artificiales

Demanda Bioquímica de Oxigeno	9/05/2017	23/06/2017	15/07/2017
AFLUENTE	200	207	254
EFLUENTE 1	88	62	52
EFLUENTE 2	75	41	39
LMP	100	100	100

Fuente: Elaboración Propia

Figura 16

Concentración de Demanda Bioquímica de Oxigeno en los Humedales Artificiales



Fuente: Elaboración Propia

Se observa en la Figura *16*, los análisis del parámetro de la Demanda Bioquímica de Oxigeno se encuentran elevada y sobrepasan los valores de los límites máximos permisibles - LMP que se encuentra en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM como es el caso del afluente (SLP), donde después de salir de los humedales reduce su carga a valores mucho menores que los LMP, demostrándose que es adecuado los diseños piloto de los humedales artificiales.

d) Demanda Química de Oxigeno

Los valores de la Demanda Química de Oxigeno realizados durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 461 mg/l a 309 mg/l, efluente 1 (SHAC) vario entre 176 mg/l a 99 mg/l y en el efluente 2 (SHAM) 141 mg/l a 72 mg/l Tabla *12*.

Tabla 12

Concentración de Demanda Química de Oxigeno en los Humedales Artificiales

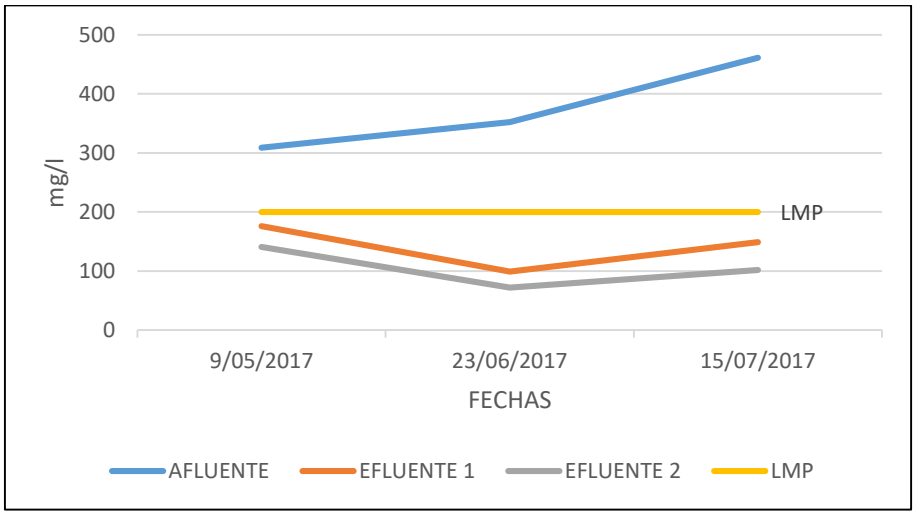
Demanda Química de Oxigeno	9/05/2017	23/06/2017	15/07/2017
AFLUENTE	309	352	461
EFLUENTE 1	176	99	149
EFLUENTE 2	141	72	102
LMP	200	200	200

Fuente: Elaboración Propia

La Figura *17*, muestra los análisis del parámetro de la Demanda Química de Oxigeno que se encuentran elevada y sobrepasan los valores de los límites máximos permisibles - LMP que se encuentra en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM como es el caso del afluente (SLP), donde después de salir de los humedales reduce su carga a valores mucho menores que los LMP.

Figura 17

Concentración de Demanda Química de Oxigeno en los Humedales Artificiales



Fuente: Elaboración Propia

e) Sólidos Totales en Suspensión

Los resultados de los Sólidos Totales en Suspensión durante el desarrollo de la investigación en el afluente (SLP) variaron entre 4.90 mg/l a 2.30 mg/l, efluente 1 (SHAC) vario entre 4.60 mg/l a <1.3 mg/l y en el efluente 2 (SHAM) 1.00 mg/l a <1.3 mg/l Tabla *13*.

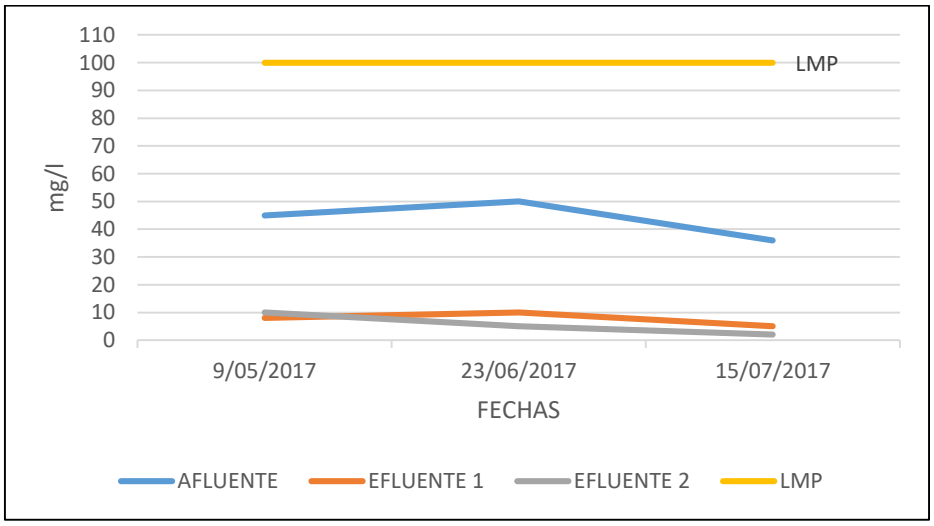
Tabla 13

Concentración de Sólidos Totales en Suspensión en los Humedales Artificiales

Sólidos Totales en Suspensión	9/05/2017	23/06/2017	15/07/2017
AFLUENTE	45	50	36
EFLUENTE 1	8	10	5
EFLUENTE 2	10	5	2
LMP	100	100	100

Figura 18

Concentración de Sólidos Totales en Suspensión en los Humedales Artificiales



Fuente: Elaboración Propia

Asimismo, como se observa en la Figura *18*, los análisis del parámetro de Solidos Totales en Suspensión se encuentran por debajo de los valores de los límites máximos permisibles - LMP que se encuentra en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, demostrándose que no se están

depositando en el fondo de los humedales por lo tanto no impiden la trasferencia de oxigeno durante el proceso.

4.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS SEGÚN OBJETIVOS

4.2.1. CONTRASTACIÓN DE LA DBO_5

Realizando un análisis descriptivo en la Tabla *14* se aprecia que el Afluente (SLP) que es el testigo tiene una concentración de DBO_5 promedio de 220.33 mg/l, el Efluente 1 (SHAC) con promedio de 67.33 mg/l y el Efluente 2 (SHAM) con promedio de 51.67 mg/l existiendo diferencia positiva en el tratamiento demostrando que el humedal convencional es adecuado para el tratamiento de aguas residuales de la laguna primaria, así como también se considera que el humedal mejorado tiene un mejor tratamiento.

Tabla 14

Análisis Descripción de la DBO_5

DBO5 (mg/l)	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Afluente	3	220,33	29,36551	16,95419	147,3854	293,2813	200,00	254,00
Efluente 1	3	67,33	18,58315	10,72898	21,1702	113,4964	52,00	88,00
Efluente 2	3	51,67	20,23199	11,68094	1,4076	101,9257	39,00	75,00
Total	9	113,11	83,16917	27,72306	49,1816	177,0406	39,00	254,00

Fuente: Elaboración Propia

En la prueba de comparación de múltiples de la DBO_5 existe una diferencia de medias significativas que es menor a 0.05, según la Prueba T de Duneett según la Tabla *15*.

Tabla 15

Comparación Múltiples de la DBO_5

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Efluente 1	Afluente	-153,00000*	18,95609	,000	-207,2666	-98,7334
Efluente 2	Afluente	-168,66667*	18,95609	,000	-222,9332	-114,4001

Variable dependiente: DBO_5 (mg/l)

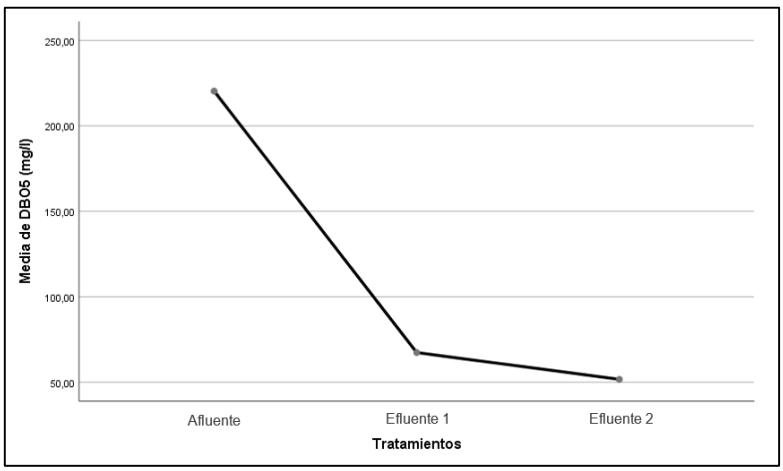
T de Dunnett (bilateral)[a]

Fuente: Elaboración Propia

En la Figura *19* se observa que la concentración de la DBO_5 disminuye existiendo una diferencia considerable, demostrando que los humedales artificiales ***cumplen el objetivo*** de reducir la DBO_5 en un 69% en el Efluente 1 (SHAC) y un 76% en el Efluente 2 (SHAM) siendo adecuado el tratamiento y se demuestran en la comprobación de hipótesis.

Figura 19

Análisis de DBO_5



Fuente: Elaboración Propia

4.2.2. CONTRASTACIÓN DE LA DQO

El análisis descriptivo en la Tabla *16* se observa que el Afluente (SLP) que es el testigo tiene una concentración de DQO promedio de 374.00 mg/l, el

Efluente 1 (SHAC) con promedio de 141.33 mg/l y el Efluente 2 (SHAM) con un promedio de 105.00 mg/l existiendo diferencia positiva en el tratamiento demostrando que el humedal convencional es adecuado para el tratamiento de aguas residuales de la laguna primaria, así como también se considera que el humedal mejorado tiene un mejor tratamiento.

Tabla 16

Análisis Descripción de la DQO

DQO (mg/l)	N	Media	Desv. Desviación	Desv. Error	95% del intervalo de confianza para la media		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Afluente	3	374,00	78,35177	45,23642	179,3634	568,6366	309,00	461,00
Efluente 1	3	141,33	39,06832	22,55610	44,2823	238,3844	99,00	176,00
Efluente 2	3	105,00	34,59769	19,97498	19,0546	190,9454	72,00	141,00
Total	9	206,78	134,87937	44,95979	103,1003	310,4552	72,00	461,00

Fuente: Elaboración Propia

En la prueba de comparación de múltiples de la DQO existe una diferencia de medias significativas que es menor a 0.05, según la Prueba T de Duneett según la Tabla *17*.

Tabla 17

Comparación Múltiples de la DQO

(I) Tratamientos	(J) Tratamientos	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Efluente 1	Afluente	-232,66667*	44,37801	,003	-359,7098	-105,6235
Efluente 2	Afluente	-269,00000*	44,37801	,002	-396,0432	-141,9568

Variable dependiente: DQO (mg/l
T de Dunnett (bilateral)[a]

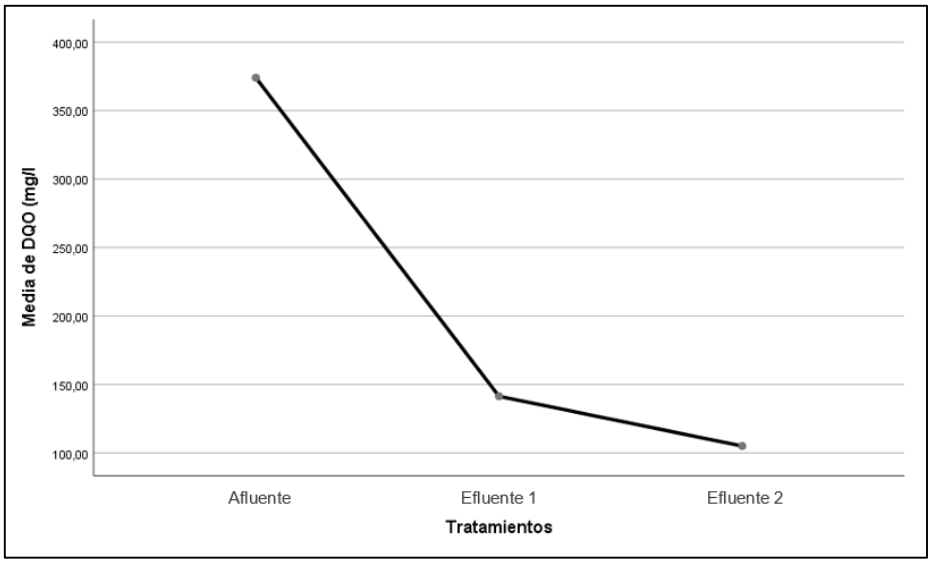
Fuente: Elaboración Propia

En la *Figura 20* se observa que la concentración de la DQO disminuye siendo esta considerable y demostrando que los humedales artificiales cumplen su objetivo, reduciendo la DQO en un 62% en el Efluente 1

(SHAC) y un 72% en el Efluente 2 (SHAM) siendo adecuado el tratamiento y se demuestran en la comprobación de hipótesis.

Figura 20

Análisis de DQO



Fuente: Elaboración Propia

4.3. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS CON LOS RESULTADOS

Para la contratación de Hipótesis con los resultados, se utilizó un procedimiento estadístico de Prueba de Hipótesis, con un nivel de significancia de 0.05 (5%), realizando una comprobación a través de un procedimiento estadístico de prueba de T de Dunett.

De acuerdo a los resultados obtenidos de los Análisis de Laboratorio y Análisis Estadístico existen diferencias sustanciales en los tratamientos a través del humedal convencional y con una mayor eficiencia el humedal mejorado (zeolita) considerando que el cálculo y dimensionamiento fueron los correctos.

Para la prueba de ANOVA, se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, cuyos resultados se muestran a continuación:

A. Prueba de Normalidad

De acuerdo a la *Tabla 18* se observa que el p-valor de DBO_5 para el Afluente es de 0.228, del Efluente 1 es 0.520 y del Efluente 2 es 0.094, siendo el valor de p-valor mayor al 0.05 (5%) de significancia, por tanto indica que existe normalidad en el residuo estandarizado para DBO_5.

Tabla 18

Prueba de Normalidad para DBO_5

	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
DBO_5 (mg/l)	Afluente	,845	3	,228
	Efluente 1	,938	3	,520
	Efluente 2	,792	3	,094

Fuente: Elaboración Propia

En la Tabla *19* se observa que el p-valor de DQO para el Afluente es de 0.531, del Efluente 1 es 0.674 y del Efluente 2 es 0.856, siendo el valor de p-valor mayor al 0.05 (5%) de significancia, por tanto indica que existe normalidad en el residuo estandarizado para DQO.

Tabla 19

Prueba de Normalidad para DQO

	Tratamientos	Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.
DQO (mg/l)	Afluente	,941	3	,531
	Efluente 1	,971	3	,674
	Efluente 2	,994	3	,856

Fuente: Elaboración Propia

B. Prueba de Homogeneidad de Varianzas

De acuerdo a la Tabla *20* donde se basa en la media podemos apreciar que para DBO_5 el p-valor es 0.461 y para DQO el p-valor es 0.251, siendo

ambos valores mayores a 0.05 (5%) de significancia, entonces se observa que se cumple la homogeneidad de varianzas.

Tabla 20

Prueba de Homogeneidad de Varianzas

		Estadístico de Levene	gl1	gl2	Sig.
DBO_5 (mg/l)	Se basa en la media	,883	2	6	,461
	Se basa en la mediana	,092	2	6	,914
DQO (mg/l	Se basa en la media	1,759	2	6	,251
	Se basa en la mediana	,517	2	6	,621

Fuente: Elaboración Propia

4.3.1. HIPÓTESIS GENERAL

a) Formulación de Hipótesis

H_0**:** Es posible que la implementación de un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua sea inadecuado para el tratamiento del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.

H_a**:** Es posible que la implementación de un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua es adecuado para el tratamiento del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.

b) Estadístico de Prueba

El estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor Tabla *21*, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 21

Análisis ANOVA de la Hipótesis General

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
DBO5 (mg/l)	**Entre grupos**	52102,889	2	26051,444	48,333	,000
	Dentro de grupos	3234,000	6	539,000		
	Total	55336,889	8			
DQO (mg/l	**Entre grupos**	127814,889	2	63907,444	21,633	,002
	Dentro de grupos	17724,667	6	2954,111		
	Total	145539,556	8			

Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de Decisión

Se observa que el p-valor es 0,000 para DBO_5 (mg/l) y para el DQO (mg/l) el p-valor es 0,002, siendo ambos valores menores a 0,05 (5%) de significancia; entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por lo cual, se concluye que la hipótesis general se ha demostrado siendo posible implementar un humedal artificial piloto de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua para el tratamiento adecuado del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo, contrastando esta con el resultado.

4.3.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

4.3.2.1. Hipótesis específica 1

a) Formulación de Hipótesis

H_{01}**:** El diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial no reducirá la concentración de DBO_5 de las aguas residuales.

H_{a1}**:** El diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial reducirá la concentración de DBO_5 de las aguas residuales.

b) Estadístico de Prueba

El estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor Tabla *22*, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 22

Análisis ANOVA de la Hipótesis Especifica 1

DBO5 (mg/l)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	52102,889	2	26051,444	48,333	,000
Dentro de grupos	3234,000	6	539,000		
Total	55336,889	8			

Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de Decisión

Se observa que el p-valor es 0,000 de la DQO_5 que es menor a 0,05 (5%) de significancia; por tanto se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, y se concluye que el diseño de los humedales artificiales de flujo subsuperficial redujeron la concentración de DBO_5 de las aguas residuales.

4.3.2.2. Hipótesis específica 2

a) Formulación de Hipótesis

H_{02}: El tratamiento del agua residual y dispersión de hedores de la laguna primaria no es adecuado con el medio de soporte del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

H_{a2}**:** El tratamiento del agua residual y dispersión de hedores de la laguna primaria es adecuado con el medio de soporte del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

b) Estadístico de Prueba

El estadístico de prueba utilizado es el Análisis de Varianza de un factor Tabla *23*, cuyos resultados se muestran a continuación:

Tabla 23

Análisis ANOVA de la Hipótesis Específica 2

DQO (mg/l)	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	127814,889	2	63907,444	21,633	,002
Dentro de grupos	17724,667	6	2954,111		
Total	145539,556	8			

Fuente: Elaboración Propia

c) Toma de Decisión

Se observa que el p-valor es 0,002 siendo menor a 0,05 (5%) de significancia; entonces se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, y se concluye que el tratamiento del agua residual y dispersión de hedores de la laguna primaria es adecuado con el medio de soporte del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN DE RESULTADOS

1. Los resultados obtenidos con la presente investigación tienen por objetivo el reducir la concentración de DBO_5 de las aguas residuales con el diseño piloto del humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal, realizando una comparación con investigaciones como se muestra en la Tabla *26*, teniendo una remoción del 80% en el humedal convencional y un 85% en el humedal mejorado. Asimismo se observa que el tiempo de retención, caudal de tratamiento y macrófitas utilizadas (Baca, 2012; Jamanca, 2016; Lovera et al., 2006; Miglio, 2009) son distintas por lo cual se concluye que estas variables en la presente investigación influyeron positivamente en el tratamiento adecuado de aguas residuales cumpliendo con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Tabla 25.

2. La utilización de vegetación (macrófitas) fue un punto muy importante puesto que cumplirían la función de transferir el oxígeno exterior a las raíces logrando también fijación de microorganismos dentro del humedal, es así que para esta investigación se utilizó una especie que se encuentra en las riberas del Rio Osmore como es el Carrizo (*Phragmites austrais* Caw), que es una especie oriunda y cuantiosa que generara un impacto positivo puesto que esta especie contribuiría a una mejora paisajística, generación de nuevos ecosistemas y un ingreso económico logrando así el aprovechamiento del mismo en toda su amplitud (Gerritsen et al., 2009). Según (CONAGUA, 2018; Espinosa, 2014) el número de individuos de macrófitas depende del área del humedal donde recomiendan que tengan una separación de 1 a 0.6 m, para el caso de esta investigación se utilizó una separación de 0.21 cm que fue acorde a las dimensiones obtenidas del cálculo del diseño basándonos que la distancia es un dato referencial

puesto a mayor cantidad de especies se acelerara el desarrollo de la vegetación y por ende del proceso de depuración de las aguas residuales.

3. Se contrasto resultados con los siguientes estudios similares Tabla *28*:

   i. Se consideró para ambos diseño de humedales artificiales la experiencia de Lacabamba ubicada en la región de Ancash que tiene una operación a tamaño real desde octubre a diciembre del 2005 que cuenta con un tratamiento preliminar (primario) y utilizó el carrizo (macrófitas) que opera con un tiempo de retención de 4.3 días para un caudal de 3 m^3/día reduciendo significativamente: la DBO5 del afluente de 57.5 mg/l a 19.9 mg/l el efluente de es decir 48% de remoción, coliformes fecales de $4.02x10^6$ NMP/100ml a $1.50x10^6$ NMP/100ml el efluente es decir se logró el 63% de remoción, los sólidos suspendidos de 58.5 mg/l a 4.19 mg/l el efluente de es decir 90.26% de remoción (Lovera et al., 2006). Donde se demuestra que el desarrollo de esta investigación en Ilo tuvo mejores resultados que esta experiencia desarrollada en Ancash.

   ii. El humedal de flujo horizontal a escala piloto realizado para el Centro Poblado Tuyu Ruri de la Provincia de Carhuaz que realizó el estudio de febrero a marzo 2017 que cuenta con un tratamiento preliminar y utilizo *Zantedeschia Aethiopica* (macrófitas) que opera con un tiempo de retención de 1.21 días para un caudal de 0.3 m^3/día reduciendo significativamente: la DBO_5 del afluente de 38.10 mg/l a 4 mg/l el efluente de es decir 90% de remoción, coliformes fecales de $40x10^4$ NMP/100ml a $10x10^2$ NMP/100ml el efluente es decir se logró el 99% de remoción, los sólidos suspendidos totales de 6 mg/l a 1 mg/l el efluente de es decir 83% de remoción (Jamanca, 2016). Donde se demuestra que el desarrollo de esta investigación en Ilo tuvo parámetros más bajos que los resultados que esta experiencia desarrollada en Nazca así como la utilización de otra especie de Carhuaz.

iii. El proyecto piloto de Colegio Toni Real Vinces de Trujillo que fue construido en el 2009 que cuenta con un tratamiento preliminar y utilizo la totora (Scirpus californica) y El paragüitas (Cyperus alternifolius) que opera con un tiempo de retención de 6.5 días para un caudal de 1 m^3/día reduciendo significativamente: la DBO5 en un 62% de remoción, coliformes fecales en un 99.999% de remoción después de una cloración, los sólidos suspendidos en un 19% de remoción (Miglio, 2009). Donde se demuestra que el desarrollo de esta investigación en Ilo tuvo resultados superiores que esta experiencia desarrollada en Trujillo así como la utilización de 02 especies de macrófitas.

iv. El diseño piloto realizado para el Distrito de San Juan de Marcona de la Provincia de Nazca que realizó un estudio a nivel escala de diciembre del 2008 a abril 2009 que cuenta con un tratamiento preliminar y utilizo el papiros (macrófitas) que opera con un tiempo de retención de 6.5 días para un caudal de 0.3 m^3/día reduciendo significativamente: la DBO5 del afluente de 140 mg/l a 13 mg/l el efluente de es decir 91% de remoción, coliformes fecales de $9.6x10^5$ NMP/100ml a 650 NMP/100ml el efluente es decir se logró el 99.99% de remoción, los sólidos suspendidos de 110 mg/l a 10 mg/l el efluente de es decir 90.90% de remoción (Baca, 2012). Donde se demuestra que el desarrollo de esta investigación en Ilo tuvo ligeros resultados superiores que esta experiencia desarrollada en Nazca.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES

1. Se implementó 02 humedales artificiales pilotos de flujo subsuperficial horizontal en la Universidad Nacional de Moquegua para el tratamiento adecuado del agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo: donde el *Humedal Artificial Convencional* tiene un área de 1.36 m^2, tiempo de retención hidráulica de 1.4 días, ancho de 0.56 m, largo de 2.42 m, 18 individuos de macrófitas y el *Humedal Artificial Mejorado* de un área superficial de 1.40 m^2, tiempo de retención hidráulica de 1.9 días, ancho de 0.59 m, largo de 2.36 m, 18 individuos de macrófitas.
2. Se logró reducir significativamente el DBO_5 en el *Humedal Artificial Convencional* de 254 mg/l a 52 mg/l que es el 80% de remoción encontrándose por debajo del LMP establecido y en el *Humedal Artificial Mejorado* de 254 mg/l a 39 mg/l que es el 85% de remoción, siendo óptimo el tratamiento en más de un 5% más a comparación del humedal artificial convencional; comprobando que el humedal artificial es adecuado para el tratamiento de agua residual de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo.
3. Se demostró que el medio de soporte fue una variable indispensable para el tratamiento adecuado y dispersión de hedores de las aguas residuales de la laguna primaria, donde el Humedal Artificial Convencional tuvo el medio de soporte de 03 tipos de grava con diferente diámetro y el Humedal Artificial Mejorado también con 03 tipos de grava con diferente diámetro y la zeolita. También se demuestra que la utilización de la zeolita es un material importante en la construcción del humedal puesto que al realizar la comparación de los dos humedales reflejan que tiene una mayor eficiencia el humedal artificial mejorado.

CAPÍTULO 7: RECOMENDACIONES

- Se recomienda considerar para futuros estudios o proyectos la utilización del sistema de tratamiento de humedales artificiales de tipo subsuperficial para la depuración de aguas residuales domésticas, principalmente para países en desarrollo como el nuestro, que tienen climas tropicales, subtropicales e incluso secos con escasez de agua, así como la utilización del Carrizo (*Phragmites austrais* Caw) como macrófitas, porque es un especie oriunda de la zona por lo que tendrá un mejor desarrollo siendo adecuado para la remoción de contaminantes como fue el indicador de la DBO_5 de esta investigación.
- Se considera tener en cuenta el medio de soporte (grava de diferente tamaño) donde la utilización de 3 tipos de gravas y la zeolita, demostraron que hubo un crecimiento de película microbiana en los rizomas de las macrófitas siendo este es el principal responsable de la biodegradación de contaminantes dentro del humedal.
- Se recomienda que la sostenibilidad en el tiempo de la investigación que antrópicamente se volvió natural se dará con la participación de los alumnos y docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental con el objetivo de ejecutar los conocimientos teóricos obtenidos en los cursos como Biología, Microbiología, Contaminación y Control de Aguas, Remediación y Restauración Ambiental, Ingeniería de Aguas Residuales, Tecnologías Limpias, etc., y de esta manera consolidar la formación de los alumnos e incentivar a la comunidad universitaria a la investigación de los diferentes campos.
- También la sostenibilidad económica de la investigación se dio con una inversión de 19,126.30 nuevos soles para tratar un volumen de 19.3 m3 teniendo un costo de 0.99 nuevos soles el litro de agua residual teniendo un resultado positivo puesto que la construcción de los humedales se proyectaron para un tiempo de vida de 5 años los cuales no tendrán un costo de mantenimiento recuperando la inversión

total, por lo que se recomienda el uso de los humedales artificiales de flujo subsuperficial para el adecuado tratamiento de las aguas residuales de la laguna primaria de la PTAR de la EPS Ilo considerando que se dé una sostenibilidad en el tiempo con el apoyo de la comunidad universitaria de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental.

- Para determinar la viabilidad de la investigación a una escala mayor se recomienda tener la disponibilidad de terrenos adecuado para la construcción asimismo considerarse que debe estar cerca de la PTAR (laguna primaria) para de esta manera tener accesibilidad para su tratamiento. Asimismo, se debe considerar realizar un monitoreo de 2 meses para poder consolidad los parámetros de caudal, temperatura, el DBO_5 del afluente, el DBO_5 del efluente, el tipo y calidad de material del medio de soporte, que son datos y parámetros esenciales para el diseño y realizar su escalamiento. Como propuesta técnica sobre el escalamiento se debe aplicar un sistema continuo que llevara a una reestructuración en el diseño que consistirá en la construcción de las celdas en forma paralelas considerándose la pendiente para que el caudal pueda ser tratado y cumplir los LMP.
- La implementación de humedales artificiales de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales es viable puesto que se requiere menor costo de inversión, bajo costo de operación y mantenimiento. (energía y suministros); asimismo generará un impacto ambiental positivo, creando una zona verde, cuyo mantenimiento sería una fuente de ingresos económicos para varias familias, que se dará con el aprovechamiento del carrizo que sería utilizado en la fabricación de estera, artesanías, etc.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ANA. (2011). Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad en Cuerpos Naturales de Agua Superficial (p. 42).
2. Autoridad Nacional del Agua. (2016). Estrategia nacional para el mejoramiento de la calidad de los recursos hídricos. Resolución Jefatural N° 042-2016-ANA. In Ana.gob.pe (pp. 3–31).
3. Baca, M. (2012). Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de Marcona. Universidad Nacional del Callao.
4. Bauer, J. L., Castro, J. C., & Chung, B. (2017). CAPÍTULO 4 Calidad del agua (p. 42).
5. Biopedia. (2012). BIOPEDIA: Biodiversidad, biomas y más. Enciclopedia ilustrada de la vida en la Tierra. 1–7.
6. Cárdenas, F., Olivera, M., Gamarra, A., Pastor, R., & Baldarrago, D. (2009). Evaluación de la Calidad de Agua Frente A Media Luna en la Bahía de Ilo (16 al 20 de diciembre 2008).
7. CONAGUA. (2018). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. In Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Humedales artificiales. (Volumen 30).
8. Cueva, E., & Rivadeneira, F. (2013). Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas mediante un Humedal Artificial de FLujo Subsuperficial con vegetacion herbácea. 1–22.
9. Delgadillo, O., Camacho Alan, Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales.
10. EPA. (2000). Manual Constructed Wetlands Treatment of Municipal Wastewaters. United States Environmental Protection Agency, EPA/625/R-, 166.

11. EPS ILO S.A. (2009). Plan Maestro Optimizado 2009 - 2039.
12. EPS ILO S.A. (2012). Infraestructura de la EPS Ilo S.A. en Alcantarillado.
13. Espinosa, C. (2014). Factibilidad del Diseño de un Humedal de Flujo Subsuperficial para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales (Vol. 4, Issue 1). Escuela Colombiana de Ingeniería.
14. Fernandez, L. (2017). Historia de los humedales artificiales para depuración de aguas.
15. Francisco, J., Ramos, P., & Aguirre, G. (2011). Aprovechamiento Agricola del Lodo Generado en la PTAR de Puente Piedra-Lima. Revista de La Sociedad Química Del Perú, 77(1), 66–74.
16. Frers, C. (2008). El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Observatorio Medioambiental, II, 301–305.
17. Gama Campillo, L. M., Adams Schroeder, R. H., Martinez Sánchez, J. L., & Rodríguez Quevedo, F. (2013). KUXULKAB´. Revista de Divulgación - Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, XIX, 5306–5306.
18. Garcia, J., & Corzo, A. (2008). Depuración con Humedales Construidos. Guía Práctica de Diseño, Construcción y Explotación de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial. Universidad Politecnica de Cataluña, 108.
19. Gerritsen, P., Ortiz, C., & González, R. (2009). Usos populares, tradición y aprovechamiento del carrizo: estudio de caso en la costa sur de Jalisco, México. Economía Sociedad y Territorio.
20. Gonzales, G. F., Gasco, M., Tapia, V., & Gonzales-Castañeda, C. (2009). High serum testosterone levels are associated with excessive erythrocytosis of chronic mountain sickness in men. American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism, 296(6).
21. Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. del P. (2010). Definición del alcance de la investigación a realizar: exploratoria, descriptiva, correlacional o explicativa. In Metodología de la investigación.

22. Jamanca, G. (2016). Eficiencia en la remoción de nutrientes (N, P) y sólidos suspendidos empleando la especie Zantedeschia Aethiopica (CARTUCHO) aplicado en el humedal de flujo horizontal piloto; en el Centro Poblado Tuyu Ruri. In Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
23. Lara, J. (1999). Depuración de Aguas Residuales Municipales con Humedales Artificiales. 122.
24. Lovera, D., Quipuzco, L., Laureano, G., Becerra, C., & Valencia, N. (2006). Adaptación de un sistema de tratamiento de aguas residuales en la comunidad urbana de Lacabamba, región Ancash - Perú. Revista Del Instituto de Investigación de La Facultad de Ingeniería Geológica, Minera, Metalurgica y Geográfica, 9(18), 32–43.
25. Mena, J., Rodriguez, L., Núñez, J., & Villaseñor, J. (2008). Depuración de aguas residuales con humedales artificiales: Ventajas de los sistemas híbridos. Conapa, 25.
26. Miglio, R. (2009). Proyecto piloto de humedales artificiales, para reuso de aguas residuales tratadas en una escuela peri-urbana.
27. MINAM. (2012). Glosario de términos para la gestión ambiental peruana. Ministerio Nacional Del Ambiente, Perú, 396.
28. Norma OS.090, Diario el Peruano 84 (2006).
29. Neyra, P., & Torres, L. (2018). Impacto del vertimiento de aguas residuales en las comunidades fitoplanctónicas de la zona marino costera de Ilo - Moquegua. Universidad Nacional de Moquegua.
30. OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental, 36.
31. ONU. (2015). Agua y saneamiento - Desarrollo Sostenible. Organización de Las Naciones Unidas.

32. Osnaya, M. (2012). Propuesta de diseño de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales en la Universidad de la Sierra Juárez. Universidad de la Sierra Juaréz.
33. Rabat, J. (2016). Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración. Universidad de Alicante, 1–112.
34. Romero-Aguilar, M., Colín-Cruz, A., Sánchez-Salinas, E., & Ortiz-Hernández, M. L. (2009). Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: Evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminacion Ambiental, 25(3), 157–167.
35. Rossi, M. (2010). Opciones Tecnologicas para el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú.
36. Salas, J., Pidre, J., & Sánchez, L. (2007). Manual de tecnologías no convencionales para la depuracion de aguas residuales.
37. Sousa, V., Driessnack, M., & Costa, I. (2007). Revisión de diseños de investigación resaltantes para enfermería. Parte1: Diseño de investigación cuantitativa. Revista Latinoamericana Enfermagem, 15(3), 6.
38. SUNASS. (2015). Benchmarking regulatorio de las EPS (Issue Datos).
39. Vela, I. (2018). Eficiencia de un Tanque Imhoff-HA a escala, para mejorar la calidad de las aguas servidas municipales del distrito de Habana, Moyobamba.
40. Villegas, M., & Vidal, E. (2009). Gestión De Los Procesos De Descontaminación De Aguas Residuales Domésticas De Tipo Rural En Colombia. 1983-2009 (Issue c, p. 73).
41. Zúñiga, J. (2004). Influencia del soporte y tipo de macrófita en la remoción de materia orgánica y nutrientes en humedales construidos de flujo Subsuperficial horizontal. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

ANEXOS

Cuadro 1

Cronograma de Trabajo

N°	Actividad	Meses	Nov	Dic	Enero				Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Nov	
		AÑO	2016		2017																												2020	
		Numero de Semanas	1 Semana	1 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	1 Semana	2 Semana	3 Semana	4 Semana	3 Semana	4 Semana
1	Selección del Tema	1																																
2	Revisión Bibliográfica	8																																
3	Elaboración y presentación del Proyecto	5																																
4	Levantamiento de Observaciones	3																																
5	Resolución de Aprobación del Proyecto	9																																
6	Permisos para el apoyo del área de trabajo	8																																
7	Elaboración de Presupuesto	3																																
8	Requerimiento de Materiales	6																																
9	Construcción y prueba de los humedales	4																																
10	Siembra de macrófitas y aclimatación de los humedales	1																																
11	Primer Monitoreo Estacional	1																																
12	Evaluación de Resultados	2																																
13	Segundo Monitoreo Estacional	1																																
14	Evaluación de Resultados	2																																
15	Tercer Monitoreo Estacional	1																																
16	Evaluación de Resultados	2																																
17	Procesamiento de datos	2																																
18	Presentación de Informe Final	4																																

Fuente: Elaboración Propia

Cuadro 2

Métodos de Ensayo

Parámetro	Método de Referencia
Alcalinidad	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2000, 2320 Alkalinity, 22nd Edition, 2012.M 2320 Alkalinity
Salinidad	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2000, 2520 Salinity, 22nd Edition, 2012.
Sólidos Disueltos Totales	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2000, 2540 C Total Dissolved Solids dried at 180ºC, 22nd Edition, 2012.
Sólidos Suspendidos Totales	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2000, 2540 D Total Suspended Solids dried at 103ºC - 105ºC, 22nd Edition, 2012.
Temperatura	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 2000, 2550 Temperature, 22nd Edition, 2012.
Oxígeno Disuelto	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 4000, 4500 - O G Membrane Electrode Method, 22nd Edition, 2012.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 5000, 5210 Biochemical Oxygen Demand (BOD), 22nd Edition, 2012.
Demanda Química de Oxígeno	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 5000, 5220 Chemical Oxygen Demand (COD), 22nd Edition, 2012.
Coliformes Totales y Termotolerantes	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 9000, 9221 Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, 22nd Edition, 2012.
pH	American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, Part 4000, 4500-H^+ pH, 22nd Edition, 2012.
Aceites y Grasas	United States Environmental Protection Agency, Methods for Chemical Analysis of Water and Wastes, Method 1664: n - Hexane Extractable Material (HEM: Oil and Grease) and Silica Gel Treated n - Hexane Extractable Material (SGT - HEM: Non - polar Material) by Extraction and Gravimetry, February 2010.

Fuente: (Neyra & Torres, 2018)

Tabla 24

Requisitos para la Toma de Muestras de Agua y Preservación

Determinación / Parámetro	Recipiente	Volumen Mínimo Requerido (mL)	Tipo de Muestra	Preservación y Conservación	Tiempo Máximo de Duración
Fisicoquímicos					
Oxígeno Disuelto			Análisis Inmediato en Campo		
Temperatura			Análisis Inmediato en Campo		
pH			Análisis Inmediato en Campo		
Conductividad	Plástico, Vidrio	500	Agua Superficial, Agua Residual	Refrigerar	28 días
Alcalinidad / HCO_3 / CO_3	Plástico, Vidrio	200	Agua Superficial	Refrigerar	14 días
Turbidez	Plástico, Vidrio	100	Agua Superficial, Agua Residual	Analizar el mismo día; para más de 24h guardad en obscuridad y refrigerar	48 horas
DBO_5	Plástico, Vidrio	1000	Agua Superficial	Refrigerar	48 horas
Aceites y Grasas	Vidrio	1000	Agua Superficial, Agua Residual	Agregar HCl hasta pH < 2	28 días
Sólidos Totales Suspendidos (TSS)	Plástico, Vidrio	500	Agua Superficial	Refrigerar	7 días
Microbiológico					
Coliformes Termotolerantes (NMP)	Plástico, Vidrio	250	Agua Superficial, Agua Residual	Refrigerar a 4ºC	24 horas

Fuente: (ANA, 2011)

Tabla 25

Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

Parámetro	Unidad	Límites Máximos Permisibles para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y Grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes (CF)	NMP/100mL	10 000
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	200
pH	Unidad de pH	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión (SST)	mg/L	150
Temperatura	ºC	<35

Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Tabla 26

Remoción de DBO_5 en otros Estudios

N°	Ubicación	Tratamiento Preliminar	DBO_5 (mg/l)		Remoción %	Tiempo de Retención (d)	Caudal de Tratamiento	Macrófitas
			Afluente	Efluente				
1	Lacabamba, Ancash	Sedimentación y decantación	57.9	19.9	48	4.3	3 m^3/día	Carrizo (Phragmites Australis)
2	Tuyu Ruri, Carhuaz	Biodigestor	38.1	4	90	1.21	0.3 m^3/día	Alcatraz (Zantedeschia Aethiopica)
3	Trujillo	Sedimentación y decantación	89	55	62	5.2	1 m^3/día	Totora (Scirpus californica) Paragüitas (Cyperus alternifolius)
4	Marcona, Nazca	Sedimentación y decantación	140	13	91	6.5	0.3 m^3/día	Papiro (Cyperus papyrus)
5	Ilo Moquegua	Laguna Primaria	254	52 39	80 85	1.5 1.9	0.2 m^3/día	Carrizo (Phragmites Australis)

Fuente: (Baca, 2012; Jamanca, 2016; Lovera et al., 2006; Miglio, 2009)

Tabla 27

Resultados de Análisis de Laboratorio

PARAMETROS	1er Muestreo *09-05-2017*			2do Muestreo *23-06-2017*			3er Muestreo *15-07-2017*			LMP
	Aflu	Eflu - 1	Eflu - 2	Aflu	Eflu - 1	Eflu - 2	Aflu	Eflu - 1	Eflu - 2	
Aceites y Grasas	4.7	4.6	0.9	4.9	2.1	1	2.3	< 1.3	< 1.3	20
Coliformes Termotolerantes	17 X 10^5	2400	1700	13 X 10^5	2000	1900	70 x 10^6	2200	1700	1 X 10^4
DBO_5	200	88	75	207	62	41	254	52	39	100
DQO	309	176	141	352	99	72	461	149	102	200
Solidos Totales en Suspensión	45	8	10	50	10	5	36	5	2	100
Ph	7.8	7.7	7.5	8.7	8.4	8.3	8.97	8.00	7.86	6.5 - 8.5
Temperatura	28.7	28.5	28.4	23.8	23.6	23.5	22.30	21.10	20.90	< 35

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28

Comparación de Parámetros con otras investigaciones

N°	Ubicación	Tratamiento Preliminar	DBO5 (mg/l)		Remoción %	COLIFORMES (NMP/100ML)		Remoción %	SST (mg/l)		Remoción %	Tiempo de Retención (d)	Caudal de Tratamiento	Macrófitas
			Afluente	Efluente		Afluente	Efluente		Afluente	Efluente				
1	Lacabamba, Ancash	Sedimentación y decantación	57.9	19.9	48	4.02x106	1.50x106	63	58.5	4.19	90.26	4.3	3 m^3/día	Carrizo (Phragmites Australis)
2	Tuyu Ruri, Carhuaz	Biodigestor	38.1	4	90	40x104	10x102	99	6	1	83	1.21	0.3 m^3/día	Alcatraz (Zantedeschia Aethiopica)
3	Trujillo	Sedimentación y decantación	89	55	62	50x102	4.9x102	99	50	40	19	5.2	1 m^3/día	Totora (Scirpus californica) Paragüitas (Cyperus alternifolius)
4	Marcona, Nazca	Sedimentación y decantación	140	13	91	9.6x105	650	99	110	10	90	6.5	0.3 m^3/día	Papiro (Cyperus papyrus)
5	Ilo	Laguna Primaria	254	52	80	70x106	20x102	99	50	10	80	1.5	0.2 m^3/día	Carrizo (Phragmites Australis)
	Moquegua			39	85		17x102	99		2	96	1.9		

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 29

Equipos e Insumos para desarrollo de la Investigación

N°	Equipos	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)	Apoyo de la UNAM
1	Multiparametro	Pz	1	0.00	0.00	
2	Oxímetro Digital Portátil	Pz	1	0.00	0.00	
3	Incubadora	Pz	1	0.00	0.00	X
4	Balanza Analítica	Pz	1	0.00	0.00	
5	Estufa	Pz	1	0.0	0.00	
6	Bomba de Vacío	Pz	1	150.00	150.00	
7	GPS	Pz	1	0.00	0.00	X
8	Bomba de Aire	Pz	1	100.00	100.00	
9	Cámara Fotográfica	Pz	1	600.0	600.00	
10	Termómetro Estándar	Pz	1	100.0	100.00	
11	Pizetas	Pz	2	20.0	40.00	
12	Bureta Automática / Manual	Pz	2	150.0	300.00	
13	Pipeta Gravimétrica	Pz	3	50.0	150.00	
14	Micropipeta	Pz	1	250.0	250.00	
15	Juego de Puntas 1ml y 0.5 ml	Pz	1	100.0	100.00	
16	Frascos winkler para dbo	Pz	10	17.0	170.00	
17	Vasos Precipitados 500 ml	Pz	5	20.0	100.00	
18	Vasos Precipitados 250 ml	Pz	5	15.0	75.00	
19	Vasos Precipitados 100 ml	Pz	5	10.0	50.00	
20	Placas Petri	Pz	10	5.0	50.00	
21	Solución de Sulfato de magnesio	ml	50			
22	Solución de Cloruro de calcio	ml	50			
23	Solución de Cloruro férrico	ml	50			
24	Solución de Ácido Sulfúrico al 1N	ml	50	150.0	150.00	
25	Solución de Hidróxido de sodio 1N	ml	50			
26	Solución de Sulfito de sodio	ml	50			
27	Solución de Ácido glutámico-glucosa	ml	50			
28	Trajes Tíbet	Pz	10	8.0	80.00	
29	Mascara de gases	Pz	2	50.0	100.00	
30	Guantes de nitrilo	Pz	3	7.0	21.00	
31	Guantes descartables	Caja	1	25.0	25.00	
32	Botes de jebe	Pz	2	20.0	40.00	
33	Lentes de seguridad	Pz	2	10.0	20.00	
34	Guantes de Cuero	Pz	4	5.0	20.00	
35	Casco	Pz	1	20.0	20.00	
36	Zapatos de seguridad	Pz	1	100.0	100.00	
37	Driza	Mt	10	0.5	5.00	

38	Botellas de vidrio	Pz	4	5.0	20.00	
39	Botellas de plástico	Pz	10	2.0	20.00	
40	Papel filtro 1.5um	Caja	1	150.0	150.00	
41	Balde 20 lt	Pz	2	5.0	10.00	
42	Laptop	Pz	1	0	0.00	*
43	Cooler 100 lt	Pz	1	500	500.00	
44	Impresora	Pz	1	500	500.00	
45	Análisis por Laboratorio Certificado	Serv	2	840.05	1680.10	
46	Transporte	Serv	48	80	3840.00	
	TOTAL				**9536.10**	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30

Presupuesto para Construcción de los Humedales

N°	Material	Unidad	Cantidad	Precio Unitario (S/.)	Precio Total (S/.)
1	Geomembrana	M2	11	10.70	117.70
2	Tuberías 1/2"	Pz	2	9.80	19.60
3	Cinta teflón	Pz	4	1.00	4.00
4	Llave 1/2	Pz	4	5.00	20.00
5	Pala	Pz	1	50.00	50.00
6	Rastrillo	Pz	1	80.00	80.00
7	Pico	Pz	1	50.00	50.00
8	Barreta	Pz	1	80.00	80.00
9	Grava Fina	M3	2	75.00	150.00
10	Grava Mediana	M3	1	80.00	80.00
11	Grava Grande	M3	1	120.00	120.00
12	Zeolita (bolsa de 25 kg)	Pz	2	115.00	230.00
13	Pegamento de tubería	Pz	2	10.00	20.00
14	Codos	Pz	8	0.80	6.40
15	T	Pz	16	1.00	16.00
16	Tapones	Pz	8	0.50	4.00
17	Juego de tuercas con niple	Pz	2	3.00	6.00
18	Gas Propano	Pz	1	37.00	37.00
19	Clavos de madera	Kg	1	10.00	10.00
20	Listones de madera	Pz	12	1.50	18.00
21	Cemento 40 kg	Pz	9	21.00	189.00
22	Arco sierra	Pz	1	11.00	11.00
23	Sacos vacíos aprox 50 kg	Pz	15	1.00	15.00
24	Transporte	Serv.	48	100.00	4800.00
25	Construcción de forma (3 personas)	Serv.	2	450.00	900.00
26	Taladro	Serv.	2	80.00	160.00
27	Fabricación de Accesorio	Serv.	1	150.00	150.00

28	Forma y sellado de geomembrana	Serv.	2	300.00	600.00
29	Malla 3/4"	Mt	1.5	6.00	9.00
30	Brocha 1"	Pz	1	1.50	1.50
31	Cruzeta 1/2"	Pz	2	2.00	4.00
32	Malla raschell 80%	Mt	2	10.00	20.00
33	Rafia	Mt	2	12.00	24.00
34	Bomba de Agua 1HP	Pz	1	200.00	200.00
35	Tablas	Pz	6	80.00	480.00
36	Cilindros de PVC 200 Lt	Pz	4	100.00	400.00
37	Carretilla	Pz	1	100.00	100.00
38	Instalación	Serv.	2	200.00	400.00
39	Tablero de Apuntes	Pz	1	8.00	8.00
	TOTAL				**9590.20**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 31

Datos de Diseño de los Humedales Artificiales

Humedal Artificial Convencional				**Humedal Artificial Mejorado**			
DBO e		300		**DBO e**		300	
DBO s		30		**DBO s**		30	
T		26.7		**T**		26.7	
Caudal (m3/dia)		0.2		**Caudal (m3/dia)**		0.2	
Constante Cinetica		1.104		**Constante Cinetica**		1.104	
Profundidad (m)		0.55		**Profundidad (m)**		0.56	
Pendiente (%)		0.01		**Pendiente (%)**		0.01	
Porosidad	arena graduada	35		**Porosidad**	zeolita	32	
	grava fina	38	38		arena graduada	35	36.3
	grava media	40			grava fina	38	
Conductividad	arena graduada	5000			grava media	40	
	grava fina	7500	7500	**Conductividad**	zeolita	1000	
	grava media	10000			arena graduada	5000	7500
Altura de Agua		0.54			grava fina	7500	
Distancia plantas (m)		0.21			grava maedia	10000	
K	1.63			**Altura de Agua**		0.55	
Ks	12600	12.64	159.21	**Distancia plantas (m)**		0.21	
AS	1.36			**K**	1.63		
w	0.56			**Ks**	12600	11.55	145.56
L	2.42			**AS**	1.4		
TRH	1.4			**w**	0.59		
Nv	18			**L**	2.36		
				TRH	1.9		
				Nv	18		

Fuente: Elaboración Propia

GALERIA DE FOTOS

Figura 21

Ubicación de la Investigación



Fuente: Elaboración Propia

Figura 22

Construcción de los Humedales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 23

Prueba de Vacío de los Humedales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 24

Colocación de la Grava en los Humedales



Fuente: Elaboración Propia

Figura 25

Ubicación de las Macrófitas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 26

Macrófitas (carrizo) con rizomas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 27

Humedales en Proceso de Depuración



Fuente: Elaboración Propia

Figura 28

Laguna Primaria - PTAR EPS Ilo



Fuente: Elaboración Propia

Figura 29

Extracción de Afluente de la Laguna Primaria



Fuente: Elaboración Propia

Figura 30

Temperatura del Afluente



Fuente: Elaboración Propia

Figura 31

Multiparámetro (Izquierda) - Oximetro (derecha)



Fuente: Elaboración Propia

Figura 32

Muestras para Análisis de Laboratorio



Fuente: Elaboración Propia

Figura 33

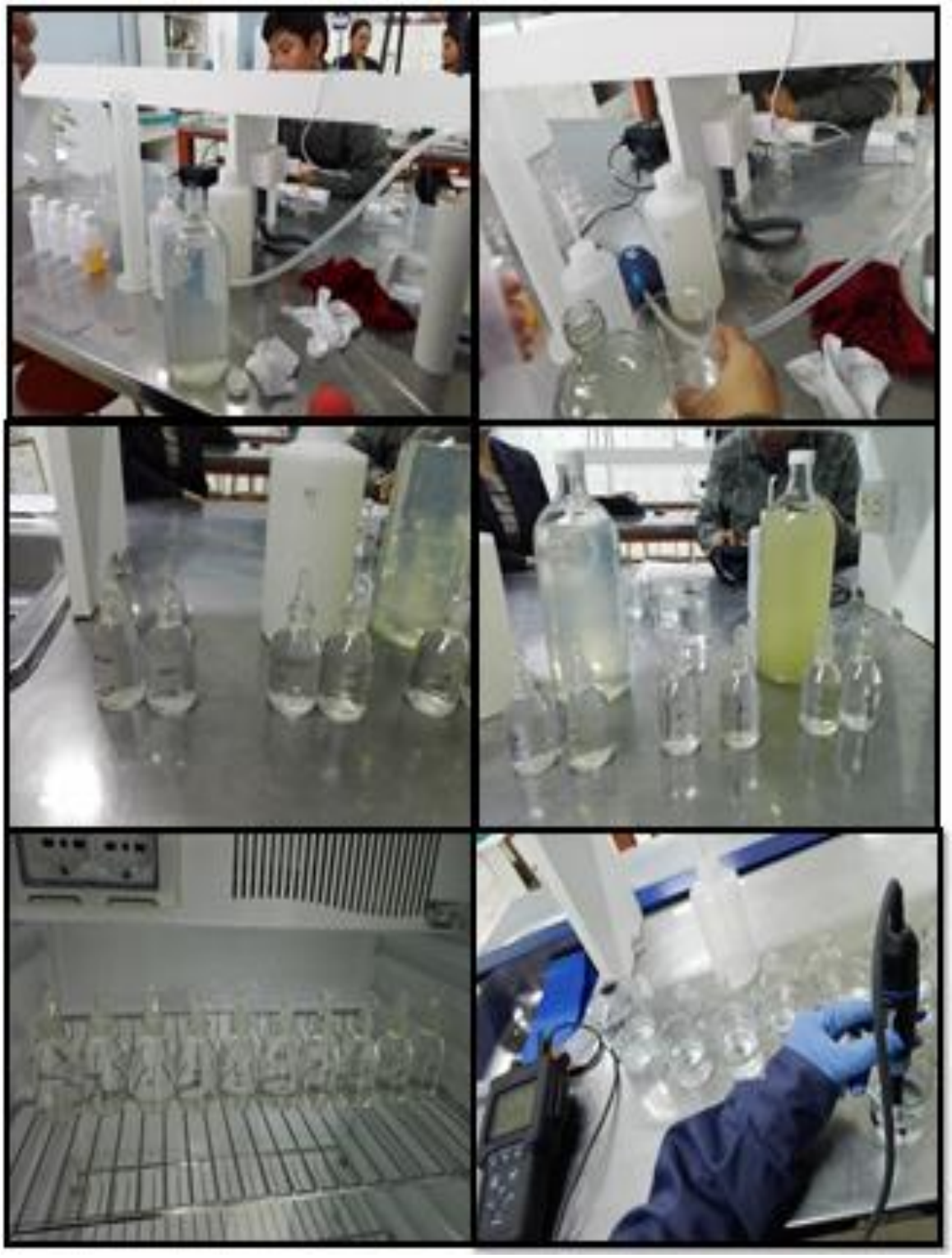
Diferencia visual del Afluente y los Efluentes



Fuente: Elaboración Propia

Figura 34

Análisis de DBO5 en el Laboratorio de Ciencias Básicas



Fuente: Elaboración Propia