

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y DE RECURSOS
NATURALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
DE RECURSOS NATURALES



“EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR JUAN VELASCO ALVARADO – UBICADA EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA”.

TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

AUTORES:

SERGIO IVAN BALDEON PANEBRA

LUCERO GABRIELA CHÁVEZ CASANOVA

ASESOR:

Dr. MÁXIMO FIDEL BACA NEGLIA

Callao, 2023

PERÚ

Three handwritten signatures are present on the right side of the page. The top signature is in blue ink and appears to be 'S. Baldeon'. The middle signature is also in blue ink and appears to be 'L. Chávez'. The bottom signature is in black ink and appears to be 'M. Baca'.



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL CALLAO

FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES



(Resolución N° 019-2021-CU del 20 de enero de 2021)

ANEXO 2

ACTA N° 004-2023-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES

LIBRO N° 02 FOLIO N° 08 ACTA 004-2023-JST-FIARN-UNAC DE SUSTENTACIÓN DE TESIS SIN CICLO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y DE RECURSOS NATURALES.

Al 31 día del mes de agosto del año 2023, siendo las 15:00 horas, se reunió en la sala Meet: <https://meet.google.com/vkp-zymd-wck>, MsC. María Teresa Valderrama Rojas, MsC. María Paulina Aliaga Martínez y Mtro. Abner Josué Vigo Roldan, el JURADO DE SUSTENTACIÓN DE TESIS, según la resolución N° 144-2022-D-FIARN, para la obtención del título profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales de la facultad de Ingeniería Ambiental y de Recursos Naturales conformado por los siguientes docentes ordinarios de la Universidad Nacional del Callao:

MsC. María Teresa Valderrama Rojas	Presidente
MsC. María Paulina Aliaga Martínez	Secretaria
Mtro. Abner Josué Vigo Roldan	Vocal
Dr. Máximo Fidel Baca Neglia	Asesor

Se dio inicio al acto de sustentación de la tesis de los Bachilleres Sergio Ivan Baldeon Panebra y Lucero Gabriela Chávez Casanova, quien habiendo cumplido con los requisitos para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y de Recursos Naturales, sustentan la tesis titulada: "EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR JUAN VELASCO ALVARADO - UBICADA EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA", cumpliendo con la sustentación en acto público, de manera no presencial a través de la Plataforma Virtual, en cumplimiento de la declaración de emergencia adoptada por el Poder Ejecutivo para afrontar la pandemia del Covid-19, a través del D.S. N° 044-2020-PCM y lo dispuesto en el DU N° 026-2020 y en concordancia con la Resolución del Consejo Directivo N°039-2020-SUNEDU-CD y la Resolución Viceministerial N° 085-2020-MINEDU, que aprueba las "Orientaciones para la continuidad del servicio educativo superior universitario".

Con el quórum reglamentario de ley, se dio inicio a la sustentación de conformidad con lo establecido por el Reglamento de Grados y Títulos vigente. Luego de la exposición, y la absolución de las preguntas formuladas por el Jurado y efectuadas las deliberaciones pertinentes, acordó: Dar por **APROBADO** con la escala de calificación cualitativa **MUY BUENO** y calificación cuantitativa **DIECISÉIS (16)**, la presente tesis, conforme a lo dispuesto en el Art. 24 del Reglamento de Grados y Títulos de la UNAC, aprobado por Resolución de Consejo Universitario N° 150-2023-CU del 15 de junio del 2023.

Se dio por cerrada la sesión a las 16:20 horas del día jueves 31 de agosto del año en curso.

MsC. María Teresa Valderrama Rojas
Presidente

MsC. María Paulina Aliaga Martínez
Secretaria

Mtro. Abner Josué Vigo Roldan
Vocal

Dr. Máximo Fidel Baca Neglia
Asesor

Document Information

Analyzed document	INFORME FINAL DE TESIS - BALDEON PANEBRA - CHAVEZ CASANOVA.pdf (D172860725)
Submitted	2023-08-16 10:44:00
Submitted by	
Submitter email	fiarn.investigacion@unac.edu.pe
Similarity	9%
Analysis address	unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.orkund.com

Sources included in the report

SA	Universidad Nacional del Callao / Bayona-Alvarado-Huayhua-TESIS-EVALUACION DE LOS COMPONENTES DE OPERACION DEL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA LIMA 2022.pdf Document Bayona-Alvarado-Huayhua-TESIS-EVALUACION DE LOS COMPONENTES DE OPERACION DEL HUMEDAL ARTIFICIAL SUBSUPERFICIAL PARA EL TRATAMIENTO DEL AGUA RESIDUAL DEL DISTRITO DE INDEPENDENCIA LIMA 2022.pdf (D141800089) Submitted by: fiarn.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.orkund.com	 9
SA	Tesis FIORELA SALAZAR.docx Document Tesis FIORELA SALAZAR.docx (D154714212)	 6
SA	Universidad Nacional del Callao / MENDEZ MARTINEZ-SEVERINO CORREA-REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES POR LA INFLUENCIA DEL AREA DEL BIOFILTRO SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL EN EL SERVICENTRO VERY WASH SAN JUAN DE LURIGANCHO 2020.pdf Document MENDEZ MARTINEZ-SEVERINO CORREA-REMOCION DE CONTAMINANTES DE AGUAS RESIDUALES POR LA INFLUENCIA DEL AREA DEL BIOFILTRO SUBSUPERFICIAL DE FLUJO VERTICAL EN EL SERVICENTRO VERY WASH SAN JUAN DE LURIGANCHO 2020.pdf (D152517844) Submitted by: fiarn.investigacion@unac.edu.pe Receiver: unidad.de.investigacion.fiarn.unac@analysis.orkund.com	 8
SA	2_Cristina y Alanis R.S.docx Document 2_Cristina y Alanis R.S.docx (D141246733)	 2
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/346100765_Fitorremediacion_mediante_las_especies_palu... Fetched: 2022-11-14 16:20:13	 3
SA	UNU_AMBIENTAL_2021_T_DANIEL-PAIMA_WILDER-GRATELLE_V1.pdf Document UNU_AMBIENTAL_2021_T_DANIEL-PAIMA_WILDER-GRATELLE_V1.pdf (D113410999)	 5
W	URL: https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/77833/Hernandez_CJG_Vargas_GDA-SD... Fetched: 2022-11-29 16:12:03	 4
SA	Torres_E_TESIS.docx Document Torres_E_TESIS.docx (D110441542)	 5
W	URL: https://www.researchgate.net/publication/326859044_Evaluacion_de_la_eficiencia_en_el_tratamien... Fetched: 2019-12-11 20:27:58	 9

DEDICATORIA

A Dios, mis padres y hermanos, por mostrarme su apoyo incondicional y motivarme a perseguir mis sueños.

Lucero Chávez

A Dios, mis padres, hermano, abuelas y mascotas por forjarme en la persona que soy en la actualidad y mostrarme su incondicional apoyo.

Sergio Baldeon

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional del Callao por los conocimientos brindados, a nuestro asesor, el profesor Máximo Fidel Baca Neglia, por todo su apoyo durante el desarrollo de la tesis y al personal de la Subgerencia de Limpieza Pública, Parques y Evaluación Ambiental de la Municipalidad Distrital de Villa El Salvador por habernos brindado las facilidades para la ejecución de este proyecto.

ÍNDICE

RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN.....	xix
I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.1. Descripción de la realidad problemática	21
1.2. Formulación del problema	23
1.3. Objetivos	24
1.4. Justificación	25
1.5. Limitantes de la investigación	26
II. MARCO TEÓRICO	28
2.1. Antecedentes	28
2.2. Bases teóricas	36
2.3. Conceptual	40
2.4. Definición de términos básicos	42
III. HIPÓTESIS Y VARIABLES.....	45
3.1. Hipótesis.....	45
3.2. Definición conceptual de las variables.....	46
3.3. Operacionalización de las variables	48
IV. DISEÑO METODOLÓGICO	50
4.1. Tipo de investigación	50
4.2. Diseño de investigación	50
4.3. Población y muestra.....	50
4.4. Lugar del estudio	51

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información documental _____	52
4.6. Método de investigación _____	52
4.7. Materiales e insumos _____	68
4.8. Técnicas e instrumentos para la recolección de información en campo. _____	69
4.9. Análisis y procesamiento de datos _____	73
V. RESULTADOS	74
5.1. Resultados Descriptivos _____	74
5.2. Resultados Inferenciales _____	88
VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	91
6.1. Contrastación de la hipótesis _____	91
6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares _____	103
6.3. Responsabilidad ética _____	105
VII. CONCLUSIONES.....	106
VIII. RECOMENDACIONES	108
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	110
X. ANEXOS	115

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Humedales artificiales de flujo superficial horizontal	37
Figura 2. Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal.....	37
Figura 3. Relación simbiótica entre plantas y bacterias	38
Figura 4. Morfología de la <i>Eichhornia crassipes</i>	41
Figura 5. Morfología de <i>Schoenoplectus americanus</i>	42
Figura 6. Operacionalización de las variables	46
Figura 7. Ubicación de la PTAR Juan Velasco Alvarado.....	51
Figura 8. Prototipo de humedal de flujo superficial	59
Figura 9. Prototipo de humedal de flujo subsuperficial.....	60
Figura 10. Trazado de terreno	60
Figura 11. Excavación en del terreno	61
Figura 12. Recubrimiento de pozas con plástico.....	61
Figura 13. Vaciado de grava.....	62
Figura 14. Vaciado de arena fina	62
Figura 15. Llenado de pozas con agua de la PTAR.....	63
Figura 16. Colocación de <i>Eichhornia crassipes</i> en las pozas.....	64
Figura 17. Albufera de Medio Mundo – Provincia de Huaura	64
Figura 18. Colocación de <i>Schoenoplectus americanus</i> en las pozas	65
Figura 19. Bombeo de agua	66
Figura 20. Pesaje de <i>Eichhornia crassipes</i>	66
Figura 21. Pesaje de <i>Schoenoplectus americanus</i>	67
Figura 22. Toma de muestras de agua	67
Figura 23. Traslado de muestras al laboratorio.....	68

Figura 24.Comparación de aceites y grasas en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	76
Figura 25.Comparación de coliformes fecales según el tratamiento	77
Figura 26.Comparación de DBO ₅ en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus	78
Figura 27.Comparación de DQO en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus	79
Figura 28.Comparación de Escherichia coli en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	80
Figura 29.Comparación de huevos de helmintos en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	80
Figura 30.Comparación de Sólidos Suspendidos Totales en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	81
Figura 31.Comparación de detergentes en el tratamiento con Eichhornia crassipes (Jacinto de agua) y Schoenoplectus americanus (junco)	82
Figura 32.Variación en peso (kg) del Eichhornia crassipes.....	83
Figura 33.Variación en unidades de plantas del Eichhornia crassipes	83
Figura 34.Variación en peso (kg) del Schoenoplectus americanus.	84
Figura 35.Variación en unidades de plantas del Schoenoplectus americanus.	84
Figura 36.Resultados de encuesta a la pregunta 1	85
Figura 37.Resultados de encuesta a la pregunta 2	85
Figura 38.Resultados de encuesta a la pregunta 3.....	86
Figura 39.Resultados de encuesta a la pregunta 4.....	86
Figura 40.Resultados de encuesta a la pregunta 5.....	87

Figura 41.Tubería de descarga del efluente final de la PTAR Juan Velasco Alvarado	126
Figura 42.Toma de muestras para análisis de Aceites y grasas	126
Figura 43.Toma de muestras para análisis de Sólidos Suspendidos totales.....	127
Figura 44.Toma de muestras para análisis de coliformes y E. coli.....	128
Figura 45.Excavación de hoyos, cubierta de plástico y colocación de base de grava	129
Figura 46.Pozas culminadas.....	130
Figura 47.Colocación de plantas de Schoenoplectus americanus	130
Figura 48.Colocación de plantas de Eichhornia crassipes	131
Figura 49.Muestras de agua etiquetadas.....	131
Figura 50.Ingreso de Albuféras de Medio Mundo	132
Figura 51.Recolección de Schoenoplectus americanus por pobladores	132
Figura 52.Schoenoplectus americanus recolectado y dejado al sol para secarse.....	133

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.Operacionalización de variables del proyecto	48
Tabla 2.Ubicación de punto de monitoreo.....	53
Tabla 3.Características del Efluente PTAR Juan Velasco Alvarado	54
Tabla 4.Valores de concentración y temperatura	58
Tabla 5.Dimensiones de los humedales subsuperficial y superficial	59
Tabla 6.Relación de materiales usados en el proyecto	68
Tabla 7.Técnica e instrumentos para la recolección de datos	69
Tabla 8.Cronograma de ensayos realizados para el sistema de HFS	71
Tabla 9.Cronograma de ensayos realizados para el sistema de HFSS ...	71
Tabla 10.Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (<i>Eichhornia crassipes</i>)	74
Tabla 11.Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (<i>Schoenoplectus americanus</i>)	75
Tabla 12.Peso (kg) y cantidades (unid) de especies usadas en cada ensayo	82
Tabla 13.Concentración de <i>E. coli</i> y coliformes fecales en el tratamiento	88
Tabla 14.Porcentaje de reducción de <i>E. coli</i> y coliformes fecales en el tratamiento.....	89
Tabla 15.Concentración de <i>E. coli</i> y coliformes fecales en el tratamiento	90
Tabla 16.Porcentaje de reducción de <i>E. coli</i> y coliformes fecales en el tratamiento.....	90
Tabla 17.Prueba de normalidad para las concentraciones con el tratamiento de agua de <i>E. coli</i> – <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i>	92

Tabla 18. Prueba de normalidad para las concentraciones con el tratamiento de agua de Coliformes fecales – Eichhornia crassipes y Coliformes fecales – Schoenoplectus americanus	93
Tabla 19. Estadísticas para las concentraciones de E. coli – Eichhornia crassipes y E. coli - Schoenoplectus americanus	94
Tabla 20. Prueba T para una muestra para las concentraciones de E. coli – Eichhornia crassipes y E. coli - Schoenoplectus americanus.....	95
Tabla 21. Estadísticas para las concentraciones de Coliformes fecales en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus	96
Tabla 22. Prueba T para muestras una muestra para las concentraciones de coliformes fecales en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	97
Tabla 23. Prueba de normalidad para los parámetros aceites y grasas, coliformes fecales, DBO ₅ , DQO, E. coli, SST, huevos de helmintos y detergentes para los tratamientos con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.....	99
Tabla 24. Correlación de Pearson para los parámetros aceites y grasas, coliformes, DBO ₅ , DQO, E. coli, SST, para el tratamiento con Eichhornia crassipes.	101
Tabla 25. Correlación de Pearson para los parámetros coliformes, DBO ₅ , DQO, E. coli, SST, para el tratamiento con Schoenoplectus americanus.....	103

ÍNDICE DE ANEXOS

1. Matriz de consistencia	115
2. Informes de Laboratorio	119
3. Diversas imágenes durante el desarrollo de la investigación.	126
4. Plano de diseño de humedal de flujo subsuperficial.....	134
5. Plano de diseño de humedal de flujo superficial	135
6. Requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales	136
7. Formato de Registro de características físico químicas y biológicas del efluente.....	142
8. Formato de encuesta de percepción de olores	143
9. Formato de registro de biomasa	144
10. Ficha de validación del instrumento 1	145
11. Ficha de validación del instrumento 2	146
12. Ficha de validación del instrumento 3	147

RESUMEN

En la presente investigación se evaluó la efectividad del tratamiento de aguas residuales municipales provenientes de la Planta de Tratamiento Juan Velasco Alvarado del distrito de Villa El Salvador – Lima, mediante el uso de humedales artificiales (HA) de flujo superficial (FS) y subsuperficial (S), usando las especies *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y *Schoenoplectus americanus* (junco), a través de tres ensayos con cada especie y con sistemas de humedales en serie, evaluándose parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, cuyos resultados se han comparado con los Estándares Nacionales de Calidad de Agua, Categoría 3, riego no restringido.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se obtuvieron porcentajes de eficiencia de 45% a 99% para la remoción de *E. coli*, y valores entre 80% a 100% para la remoción de Coliformes Fecales en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), como también se observó el aumento de la biomasa desde el inicio del tratamiento (de 5,1 kg a 11 kg), concluyéndose que esta es una especie de fácil adaptación y rápido crecimiento, resultando apropiada para el tratamiento realizado. Respecto al tratamiento con *Schoenoplectus americanus* (junco), si bien se observó la remoción de coliformes fecales con porcentajes de eficiencia entre 23% a 92%, hubo un incremento en la concentración de *E. coli* en el primer y segundo ensayo. Por otro lado, acuerdo a la disminución de biomasa desde el inicio del tratamiento se desprende que esta especie no se logró adaptar al medio de tratamiento implementado.

En base a los resultados obtenidos en el presente estudio, se demuestra la efectividad del tratamiento mediante humedales artificiales, a través del uso de la especie *Eichhornia crassipes*, la cual influye en gran manera en la remoción de contaminantes microbiológicos, de igual manera

se recomienda realizar más pruebas con la especie *Schoenoplectus americanus* a fin de obtener mejores resultados en el tratamiento de aguas residuales de tipo doméstico y/o municipal.

ABSTRACT

In the present investigation, the effectiveness of the treatment of municipal wastewater from the Juan Velasco Alvarado Treatment Plant in the district of Villa El Salvador - Lima was evaluated, through the use of artificial wetlands (HA) of superficial flow (FS) and subsurface (S), using the species *Eichhornia crassipes* (water hyacinth) and *Schoenoplectus americanus* (junco), through three trials with each species and with serial wetland systems, evaluating physicochemical and microbiological parameters, the results of which have been compared with the Standards National Water Quality, Category 3, unrestricted irrigation.

According to the results obtained, efficiency percentages of 45% to 99% were obtained for the removal of E. coli, and values between 80% and 100% for the removal of Fecal Coliforms in the treatment with *Eichhornia crassipes* (water hyacinth), as well as the increase in biomass from the beginning of the treatment (from 5.1 kg to 11 kg), concluding that this is a species of easy adaptation and rapid growth, being appropriate for the treatment carried out. Regarding the treatment with *Schoenoplectus americanus* (junco), although the removal of fecal coliforms was observed with efficiency percentages between 23% and 92%, there was an increase in the concentration of E. coli in the first and second trials. On the other hand, according to the decrease in biomass since the beginning of the treatment, it can be deduced that this species was not able to adapt to the treatment method implemented.

Based on the results obtained in the present study, the effectiveness of the treatment by artificial wetlands is demonstrated, through the use of the species *Eichhornia crassipes*, which greatly influences the removal of microbiological contaminants, in the same way it is recommended to

perform more tests with the species *Schoenoplectus americanus* in order to obtain better results in the treatment of domestic and/or municipal wastewater.

INTRODUCCIÓN

En el Perú el 68% de las aguas residuales generadas pasan por algún tipo de tratamiento, mientras que el porcentaje restante es dispuesto en los cuerpos de agua natural, alterando de esta forma la calidad de las mismas y afectando a los individuos que dependen de ellas. (Plan de Saneamiento 2017- 2021 - Decreto Supremo N°018-2017-VIVIENDA).

Actualmente no se está considerado la capacidad de reuso de las aguas residuales, las cuales posterior a su tratamiento pueden aprovecharse para el riego de parques y jardines. Una de las principales razones por las que existen pocas áreas verdes en Lima es la falta de agua para su riego; por ejemplo, el distrito de Villa El Salvador cuenta con menos de 2 m² de áreas verdes por habitante, no cumpliéndose las recomendaciones de la Organización Mundial de la Salud de contar con al menos 9 m² de áreas verdes por habitante.

Por esta razón existe una gran necesidad de implementar sistemas eficientes para el tratamiento de aguas residuales a fin de que se aproveche el efluente para su reuso en el riego de los parques y jardines de las ciudades.

Las tecnologías para el tratamiento de agua residual de origen doméstico son de por sí costosas, y muchas veces sobrepasa el presupuesto que tienen los gobiernos locales para su implementación; por ello es necesario que se propongan métodos de tratamiento alternativos, los cuales no influyan en costos altos de operación y mantenimiento, y sean de fácil aplicación para el personal que labora en las áreas operativas de las municipalidades.

Por esta razón, el presente proyecto de tesis tiene como objetivo proponer la aplicación de métodos alternativos para tratamiento de aguas residuales, definiéndose como un conjunto de procesos para mejorar la calidad de los efluentes líquidos generados por la urbe de las ciudades. Los humedales artificiales, que son tecnologías ampliamente usadas para tratar

aguas residuales, son económicos y no requieren de mano de obra especializada para su mantenimiento.

Gracias a la gran variedad de plantas que posee el Perú, muchas de estas se pueden usar en la fitorremediación de agua con altos niveles de contaminantes orgánicos, patógenos y fisicoquímicos, tal es el caso del *Eichhornia crassipes* y del *Schoenoplectus americanus*, habiéndose realizado diversas investigaciones sobre su uso en humedales artificiales y obteniéndose resultados positivos a través del uso de estas especies, por lo que se propone realizar el diseño de HA de flujo superficial con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y subsuperficial con *Schoenoplectus americanus* (junco), para la mejora de la calidad de las aguas residuales municipales destinadas al riego de áreas verdes, en el distrito Villa El Salvador.

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En el mundo la demanda de agua se ha venido incrementando a través del tiempo generando altos niveles de contaminación, debido a que la mayor parte de agua utilizada no pasa por un adecuado tratamiento después de su uso vertiéndose directamente al medio ambiente, afectando a los ecosistemas marinos y a la cadena trófica.

El vertido de aguas residuales no tratadas o parcialmente tratadas en el medio ambiente provoca la contaminación de las aguas superficiales, el suelo y las aguas subterráneas. Una vez vertidas en las masas de agua, las aguas residuales se diluyen y son transportadas aguas abajo, o se infiltran en los acuíferos, donde pueden afectar la calidad (y, por lo tanto, la disponibilidad) de los suministros de agua dulce. El destino final de las aguas residuales vertidas en ríos y lagos es, a menudo, el océano.

El vertido de aguas residuales sin tratar o con tratamiento inadecuado tendrá consecuencias que se clasifican en tres grupos, según tengan: efectos adversos para la salud humana por la reducción de la calidad del agua; efectos ambientales negativos debido a la degradación de las masas de agua y de los ecosistemas; y posibles efectos en las actividades económicas.

Según reportes de la ONU, el 80% de agua residual generada en el mundo, es descargada en los cuerpos de agua sin haber pasado por un tratamiento previo, siendo los países de ingresos altos aquellos que tratan la mayor cantidad de sus aguas residuales (cerca del 70%), debido a la importancia que le dedican al cuidado del medio ambiente y a la necesidad de contar con recursos alternativos ante la alta demanda de recursos hídricos para determinados fines (doméstico, riego, agrícola, etc).

En el caso del Perú, de la revisión del Plan de Saneamiento 2017-2021 (2016), se desprende que el 32% de las aguas residuales en el Perú no han pasado por tratamiento alguno; asimismo, según los reportes de la

Superintendencia Nacional de Servicios de Agua y Saneamiento (SUNASS, año 2015), de las 164 plantas de tratamiento de agua residual que existen en el Perú, solo 78 han reportado el reuso para riego de una parte o de todo el efluente generado.

Según datos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) en el 2014, en Lima Metropolitana se generan diariamente 1 202 286 m³ de aguas residuales, de las cuales solo se trata el 21,2%. Y para ese año en Lima Metropolitana existían 43 plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), 21 de ellas administradas por SEDAPAL, 8 por municipalidades distritales y el resto por otros, como universidades, colegios, clubes, etc. Este déficit de tratamiento se debe a que la infraestructura de las PTAR es insuficiente para los volúmenes diarios generados, causando la contaminación de los cuerpos de agua natural, ya sean superficiales o subterráneos, además de la formación de focos infecciosos y generación de malos olores.

El distrito de Villa El Salvador está ubicado en la zona sur de Lima, se caracteriza por ser el producto de una expansión urbana sin previa planificación, por lo que gran parte de las zonas residenciales del distrito provienen de las invasiones, donde actualmente un número significativo de viviendas no cuenta aún con los servicios de agua potable y sistema de alcantarillado, contando algunas con pozos sépticos liberando las aguas residuales domésticas al medio ambiente, sin ningún tratamiento previo, contaminando el suelo y siendo un foco de enfermedades para los pobladores de la zona.

Uno de los principales problemas que enfrenta el distrito de Villa de El Salvador es la falta de agua para fines de riego de áreas verdes. El distrito cuenta con 1 PTAR administrada por SEDAPAL (PTAR Huascar), y 2 PTAR administradas por el municipio, siendo las aguas tratadas de estas 2 últimas plantas de tratamiento, las que se utilizan para el riego de los 361 782,93 m² de áreas verdes habilitadas con los que cuenta Villa El Salvador, siendo insuficiente el volumen de agua tratada que se genera provocando

la muerte de plantas y especies arbóreas en los parques y alamedas del distrito por falta de riego.

Otro punto importante a mencionar, es la calidad del efluente generado posterior al tratamiento realizado en las PTAR con las que cuenta el distrito, ya que se generan malos olores dentro de las plantas de tratamiento, habiendo recibido en algunas ocasiones quejas y/o denuncias de parte de los vecinos del distrito, ya que estos sistemas se encuentran ubicados muy cerca a zonas residenciales. Por otro lado, las PTAR administradas por el municipio reciben poco mantenimiento debido a la falta de presupuesto destinado a los sistemas de tratamiento de agua, y a la falta de personal especializado en el manejo de dichos sistemas.

Es por ello que existe la necesidad de buscar técnicas de tratamiento de agua residual doméstica que se sean más económicas y eficaces, las cuales se enfoquen en la remoción de los niveles de carga orgánica y parámetros microbiológicos, como en el caso de coliformes y *Escherichia coli*, los cuales deben tenerse en cuenta cuando se trata de aguas destinadas a fines de riego de áreas verdes, como también en la disminución de olores, a fin de evitar cualquier tipo de molestia sobre la población que utiliza las áreas verdes del distrito para fines recreativos y sobre los que residen cerca de las plantas de tratamiento de agua residual.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cómo influye el uso humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial en la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas para el riego de áreas verdes, provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Juan Velasco Alvarado – Distrito de Villa El Salvador?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuáles son las características fisicoquímicas y microbiológicas del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, antes de los tratamientos con las especies *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*?
- ¿Qué características de diseño debe cumplir el humedal artificial de flujo superficial y subsuperficial a fin de que el efluente final del tratamiento cumpla con los estándares de calidad ambiental para riego de áreas verdes?
- ¿De qué manera mejora la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado aplicando el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua)?
- ¿De qué manera mejora la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado aplicando el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Schoenoplectus americanus* (junco)?
- ¿Cuál es la percepción de la población respecto a la generación de olores molestos provenientes de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento a través del uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con *Schoenoplectus americanus* y con *Eichhornia crassipes*?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la efectividad del tratamiento mediante humedales artificiales de flujo superficial con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y subsuperficial con *Schoenoplectus americanus* (junco), para la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes, en Villa El Salvador.

1.3.2. Objetivos específicos

- Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, antes de los tratamientos con las especies *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*.
- Diseñar humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyo efluente final cumpla con los estándares de calidad ambiental de agua para riego de áreas verdes.
- Aplicar el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) para la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.
- Aplicar el tratamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial con la especie *Schoenoplectus americanus* (junco), para la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.
- Determinar la percepción de la población respecto a la presencia de olores molestos provenientes del efluente generado en la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento a través del uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con *Schoenoplectus americanus* (junco) y con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua).

1.4. Justificación

1.4.1. Justificación social

La presencia de materia orgánica en las aguas residuales domésticas es un problema para la civilización; por lo tanto, requiere de un tratamiento secundario o terciario para mejorar la calidad de las aguas, con la finalidad de mejorar la calidad de vida de las personas. Es por ello que se propone implementar 2 humedales artificiales de flujo superficial y

subsuperficial cada uno, usando los géneros *Schoenoplectus americanus* (junco) y con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), con el propósito de averiguar si estos sistemas influyen en la mejora de la calidad de efluente y así convertirse en una alternativa de solución.

1.4.2. Justificación económica

El tratamiento de aguas residuales domésticas, utilizando los humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial, es de bajo costo y no requiere de un personal técnico altamente calificado para su mantenimiento, las plantas elegidas para esta investigación se suelen encontrar en grandes cantidades en el Área Natural Protegida de los Pantanos de Villa, ubicada en el distrito de Chorrillos, a 20 minutos de la ubicación de la PTAR Juan Velasco Alvarado.

1.4.3. Justificación ambiental

Las aguas residuales domésticas tienen alta concentración de carga orgánica lo cual resulta perjudicial para el ambiente; por ello, los tratamientos mediante el uso de humedales artificiales se utilizan para reducir esta carga orgánica. Este tratamiento ayudará a reducir los niveles de contaminación en cuerpos de agua donde se depositan estos contaminantes. Además, se puede utilizar el exceso de plantas producidas en los humedales artificiales como sustratos para abono orgánico.

1.5. Limitantes de la investigación

1.5.1. Limitante espacial

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, se encuentra ubicada dentro de la Subgerencia de Parques y Jardines de la Municipalidad de Villa El Salvador; cerca a esta se ubican las oficinas administrativas de la subgerencia, como también parte del vivero municipal, por lo que el espacio de trabajo para la instalación de los humedales es reducido; sin embargo para fines de la investigación se han solicitado los permisos correspondientes al personal de la municipalidad para poder ocupar el espacio necesario para la instalación de los humedales, por lo que los trabajos se deben hacer respetando los horarios

de trabajo del personal administrativo, sin generar ruidos molestos y sin afectar los trabajos que se vienen realizando dentro de la planta.

1.5.2. Limitante teórica

Una de las limitantes que encontramos es la falta de información técnica respecto al diseño de la PTAR ubicada en la Av. Juan Velasco Alvarado, ya que no se contaba en un inicio con el expediente técnico de la planta y nunca se ha realizado una evaluación de la calidad del efluente generado en la misma. Por otro lado, se observó que el personal que labora dentro de la planta no está debidamente capacitado para el manejo de la PTAR; por ende, no nos dieron muchos detalles sobre su funcionamiento, ello trae consigo la falta de mantenimiento adecuado que recibe esta PTAR.

1.5.3. Limitante temporal

La PTAR Juan Velasco Alvarado se encuentra ubicada en el distrito de Villa El Salvador, dentro del terreno de la Subgerencia de Parques y Jardines, el acceso a la planta depende de los horarios de trabajo del personal operativo y de los horarios de llenado de los camiones cisternas que riegan los parques del distrito, por lo que es necesario coordinar con anticipación los días de ingreso a la planta para no afectar el trabajo diario en la misma y poder realizar los trabajos de investigación con tranquilidad.

A su vez, durante la ejecución del proyecto se realizaron trabajos de mantenimiento dentro de la planta, por lo que se tuvo que suspender la ejecución de la investigación por un lapso de dos meses, teniendo que esperar durante dicho periodo el otorgamiento de los permisos y la reanudación de la investigación.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes Nacionales

(Baca Neglia, 2012), cuya investigación titulada “Tratamiento de los efluentes domésticos mediante humedales artificiales para el riego de áreas verdes en el distrito de San Juan de Marcona”, tuvo como objetivo probar la capacidad de remoción a través del uso de humedales artificiales de flujo subsuperficial, con la especie *Cyperus papyrus* (papiro) para el tratamiento de agua residual de tipo doméstico, generada en el distrito de San Juan de Marcona, la cual es una ciudad que presenta escasez de áreas verdes debido a la falta de agua destinada para riego, como también los efluentes domésticos crudos, son liberados al mar sin haber pasado por algún tipo de tratamiento previo generando contaminación en los mares de la ciudad. Para llevar a cabo este proyecto, se trabajó con un humedal piloto, el cual fue previamente validado para ser implementado en las instalaciones de la Universidad Nacional del Callao, a través del uso de afluentes provenientes de la ciudad universitaria, debido a que sus características son similares a los efluentes domésticos materia de estudio. Los resultados de la investigación muestran valores de remoción del 90,72% para DBO₅, 90.9% para SST, 50,06% para el caso de nitratos y 99,99% para el caso de coliformes fecales, cumpliendo así con la normativa aplicable para su reúso en riego de áreas verdes.

(Castro, Cruz, & Florez, 2017), en su investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante humedales subsuperficiales con macrófita *Alocasia macrorrhizos* (orejas de elefante) en la urbanización los tulipanes – Chosica, Lima”, evaluaron la eficiencia de la macrófita *Alocacia macrorrhizos* (orejas de elefante) en un humedal artificial subsuperficial de flujo horizontal para la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con la finalidad de usarlos en cultivos agrícolas. Se utilizó el método de aforo caudal, método de tubos múltiples y análisis físico químico junto con la prueba de T-Student. El

humedal empleó un tanque a escala de 16 litros y utilizó 8 macrofitas de alocasia para luego almacenar el agua a tratar durante un periodo de contención de 3 días durante un mes de monitoreo. Los resultados en la eficiencia del uso del humedal subsuperficial con la macrofita fue de 60,72% de remoción de parámetros microbiológicos (coliformes totales, coliformes termotolerantes y *E.coli*), fisicoquímicos (pH, temperatura, turbiedad, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto, solidos totales, DBO₅, DQO, fosfato) y organolépticos (olor, color, sabor) del agua tratada, por ello, se concluye que la eficiencia de las macrofitas en los tratamientos de aguas residuales es viable económica y ambientalmente”.

(Aguirre, 2017), en su investigación titulada “Remoción de coliformes totales, fecales y DBO₅ empleando el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo), a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará Chauca”, determinó si el humedal de flujo vertical con la especie *Equisetum bogotense* (cola de caballo) es eficiente para la depuración de coliformes totales, fecales y DBO₅ a escala piloto, en Tuyu Ruri – Marcará, se diseñó de acuerdo a modelos cinéticos con respecto a la concentración de la DBO₅ con un caudal de 0,3 m³/día el humedal de flujo vertical, se tomó en cuenta el diseño hidráulico para lograr un caudal uniforme y continuo, seguidamente se elaboró el piloto, se recolectó y se logró la pre adaptación de la especie *Equisetum bogotense*, finalmente se realizó la etapa de tratamiento, los parámetros analizados fueron DBO₅, coliformes totales y coliformes fecales, pH, temperatura y turbiedad. El resultado del diseño del humedal obtuvo un área de 2,2 m², el caudal medido en campo no varió mucho con respecto al caudal de diseño, el tiempo de retención hidráulico medido en campo fue 2,51 horas, el pH se conservó en un rango de 6,5 a 8, y la temperatura tubo un rango de 19,37°C a 20,25°C, los porcentajes de eficiencia de remoción fueron, la DBO₅ obtuvo un 71,58%, coliformes totales obtuvo un 23,63% y coliformes fecales un 19,93%. Se concluyó que la especie *Equisetum bogotense* se adaptó al humedal, obteniendo buenos resultados en la remoción de DBO₅

pero bajos resultados en cuanto a coliformes totales y fecales, bajo las condiciones dadas en la investigación”

(Núñez. 2016), realizó la investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales domésticas a nivel familiar, con Humedales Artificiales de flujo subsuperficial Horizontal, mediante la especie macrófita emergente *Cyperus papyrus* (Papiro)”, con el objetivo de determinar la eficiencia de remoción de las aguas residuales domésticas mediante Humedales Artificiales de Flujo Subsuperficial Horizontal. Las aguas residuales domésticas pasaron por tratamiento primario mediante un biodigestor, la investigación se basó en tres etapas: el diseño del humedal, construcción del humedal y análisis de datos mediante la prueba T-Student para muestras relacionadas, utilizando el programa Statistica. Las dimensiones del humedal fueron obtenidas a partir del caudal de ingreso ($0,03 \text{ m}^3/\text{día}$) con la DBO_5 ($285,10 \text{ gr/m}^3$), obteniéndose un largo de 1,20 m, un ancho de 0,60 m, una altura de 0,60 m y una pendiente del 1%. El análisis de los resultados demostró que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) de todos los parámetros físico (Turbidez, pH, conductividad eléctrica, OD, SDT y temperatura), químicos (DBO_5 , DQO, nitrógeno total y fósforo total) y microbiológicos (Coliformes totales y fecales) antes y después. Los cuales obtuvieron eficiencias del 96% de DBO_5 y DQO, 78% de nitrógeno total, 88% fósforo total, 55% de conductividad eléctrica y sólidos disueltos totales, 61% de oxígeno disuelto, 96% de turbidez, 68% de pH y 100% Coliformes totales y fecales. En conclusión, existe eficiencia de remoción de los parámetros físico-químicos y microbiológicos antes de pasar por el sistema de tratamiento mediante humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal, como también después de pasar por dicho sistema de tratamiento, demostrando que dicha agua se encuentra dentro de lo establecido por el Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM y la modificatoria el Decreto Supremo N° 005-2015-MINAM, indicando que el agua residual doméstica es apta para ser utilizada en el regadío de pastizales.

(Torres, Magno, Pineda & Cruz 2017), en su investigación titulada “Evaluación de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales para riego mediante humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis*, en Carapongo – Lurigancho”, determinaron la eficiencia de remoción de contaminantes con las especies *Cyperus papyrus* y *Phragmites australis* en el tratamiento de aguas residuales con Humedales Artificiales de flujo libre superficial (FLS) a escala piloto, en el agua destinada para riego de vegetales en Carapongo - Lurigancho. La investigación se basó en las siguientes etapas: elección de materiales, muestreo de las aguas residuales, dimensionamiento y montaje del sistema. Los cálculos necesarios como las dimensiones, tiempo de retención hidráulica y velocidad de flujo del sistema son una adaptación de Crites y Tchobanoglous, llamado Small Decentralized Wastewater Treatment Systems para humedales artificiales a escala laboratorio. Los parámetros del agua pretratada fueron: DBO₅ (270 mg/L); coliformes totales y coliformes termotolerantes (16×10^7 NMP/100ml), pH (7,8); Temperatura (21°C), Turbidez (130 UNT). Los resultados del tratamiento con humedales artificiales fueron: DBO₅ (43 mg/L), Coliformes totales y Coliformes Termotolerantes (176×10^5 NMP/100ml), pH (7,5), Temperatura (21°C), Turbidez (30 UNT). Se concluyó que la remoción de los parámetros microbiológicos y DBO₅ fue efectiva y eficiente reduciendo en un aproximado del 80 al 89% en todos los parámetros, pero estos resultados aún no llegan a cumplir los ECA para el uso de riego de vegetales.

(Rodríguez, 2019), en su investigación titulada “Eficiencia del Jacinto Acuático (*Eichhornia crassipes*) para la depuración del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Copallín, provincia de Bagua, Región Amazonas”, determinó la eficiencia del Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) para la depuración del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el distrito de Copallín, Amazonas. se calculó la remoción de contaminantes en aguas residuales y la producción

de biomasa del Jacinto acuático durante el tratamiento biológico. El tratamiento biológico estuvo conformado por 3 repeticiones con un tiempo de retención hidráulica de 28 días, realizándose las muestras cada 7 días para los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, Se aplicó pruebas estadísticas no paramétricas entre ellas la correlación de Spearman, Kruskal Wallis y U de Mann Whitney; al finalizar el tratamiento biológico se observó una variación promedio de biomasa de 0,8418 kg en 28 días. En los análisis de campo se midió la temperatura del agua y la temperatura del aire con un termómetro digital. Se determinaron los siguientes parámetros en los análisis de laboratorio: de coliformes fecales, conductividad eléctrica, DBO₅, DQO, *Escherichia coli* (*E. coli*), potencial de hidrógeno (pH), Sólidos Suspendidos Totales (SST) y Sólidos Disueltos Totales (SDT). Se determinó que se disminuyeron los siguientes parámetros: la conductividad eléctrica en 46,1653%, los SDT en 42,1003%, los SST en 57,4074%, la DBO₅ en 84,0503%, la DQO en 96,3347%, las coliformes fecales y *E. coli* en 99,9956% y 99,9956% respectivamente. Se concluye que la aplicación de *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales demostró ser significativamente eficiente para depurar el agua residual proveniente del efluente de la PTAR del distrito de Copallín.

2.1.2. Antecedentes Internacionales

(Castro, 2018), a través de su investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales municipales provenientes del área urbana de Marín, Nuevo León, por medio de un humedal artificial superficial”, se evaluó la capacidad de remoción de un humedal artificial, como sistema de tratamiento de aguas residuales, de diferentes contaminantes presentes en estos efluentes municipales. Se emplearon plantas del género *Typha*, para la evaluación de este sistema se recolectaron cerca del área de estudio las plantas más jóvenes y que estuvieran en buenas condiciones en su tallo como en su raíz. Para la evaluación de la eficiencia del ecosistema, se analizaron parámetros fisicoquímicos, como, ortofosfatos amonio, nitratos, DQO, y microbiológicos, como, coliformes totales, fecales y la presencia de

Salmonella spp. Los resultados mostraron porcentajes de remoción para amonio del 40 - 100%, nitratos mayores al 20%, ortofosfatos del 30 - 90% y DQO del 50 - 60%. En cuanto a parámetros microbiológicos el sistema redujo la concentración de las UFC/100 ml de los coliformes fecales y totales, no alcanzando los rangos establecidos por la Norma Oficial Mexicana (NOM-003-ECOL-1997). En relación a la detección de Salmonella, el resultado para la salida en la mayoría de los casos fue ausencia de este patógeno.

Se concluye que utilizar este tipo de tecnologías, para el tratamiento de aguas residuales, beneficia ambiental y económicamente a comunidades pequeñas con una población inferior a 6000 habitantes las cuales no cuentan con una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas.

(Chávez & Zhinín, 2015), en su investigación titulada “Estudio comparativo de la capacidad depuradora de *Phragmites australis* y *Cyperus papyrus* en humedales artificiales subsuperficiales de flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales en el cantón Santa Isabel”, realizó una comparación de la capacidad depuradora de contaminantes utilizando dos especies de plantas en humedales artificiales subsuperficiales con flujo vertical para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Las especies utilizadas son *Phragmites australis* (carrizo) y *Cyperus papyrus* (papiro). Se trabajó con los efluentes provenientes de la tercera laguna de la planta de tratamiento de aguas residuales El Guabo del cantón Santa Isabel, y se aplicó a dos unidades experimentales, uno para cada especie (carrizo y papiro) a escala piloto con flujo continuo. Para analizar el porcentaje de remoción a través de parámetros físicos, químicos y biológicos se tomó muestras en el ingreso y a la salida en cada una de las unidades experimentales. Los resultados obtenidos en los ensayos de experimentación con las dos especies, indican que el papiro presenta una mayor capacidad de remoción de contaminantes como demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO),

nitrógeno amoniacal, nitratos, fósforo y coliformes totales y fecales (*E. coli*); en el caso del carrizo retiene mayor cantidad de sólidos y presenta una menor remoción de DBO₅ y DQO. Por lo tanto, se recomienda la construcción del humedal con papiro debido a que alcanza rendimientos altos en el proceso de depuración de la mayoría de los contaminantes presentes en aguas residuales urbanas o domésticas.

(Solís, López, Bautista, Hernández & Romellón, 2016), en su investigación con el título “Evaluación de humedales artificiales de flujo libre y subsuperficial en la remoción de contaminantes de aguas residuales utilizando diferentes especies de vegetación macrófita”, cuyo objetivo fue comparar la eficiencia de tratamiento de los humedales artificiales (HA) de flujo libre con diferentes especies de vegetación macrofita. En el presente estudio se implementaron humedales artificiales de flujo libre operando con *Typha domingensis* (espadaño) y *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), y humedales de flujo subsuperficial empleando *Paspalum paniculatum* (camalote) y *Cyperus articulatus* L (chintul) para remover contaminantes del agua residual. Se implementaron también lagunas sin vegetación y lagunas con grava como controles. Se empleó un análisis no paramétrico de Kruskal-Wallis para evaluar diferencias significativas entre los cuatro tratamientos y los controles. El humedal que presentó la mayor eficiencia de remoción de contaminantes del agua residual fue el de flujo libre utilizando *T. domingensis* (eficiencias de remoción de turbiedad, color, DQO, DBO₅, NT, PT y SST de 97,1; 83,4; 97,8; 97,5; 97,2; 91,1 y 97,7% respectivamente), seguido por el humedal de flujo subsuperficial empleando *P. paniculatum* con remociones de 94,8; 71,5; 94,7; 94,8; 92,7; 52,2 y 93,0% respectivamente. Los humedales de flujo libre empleando *E. crassipes* y de flujo subsuperficial que utilizó *C. articulatus* L presentaron las menores eficiencias de remoción de contaminantes. Los tiempos de retención hidráulica fueron de 5,5 y 7,5 días. Por lo tanto, los resultados obtenidos comprueban que los humedales artificiales de flujo libre y flujo subsuperficial aquí evaluados con diferentes tipos de vegetación, son

tecnologías viables para la depuración de aguas residuales considerando las normas ambientales aplicables en México.

(Marín, Solís, López, Bautista & Romellón, 2016), en su investigación titulada “Tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales tropicales en Tabasco, México”, evaluaron la eficiencia de remoción de contaminantes básicos en humedales artificiales de flujo subsuperficial con vegetación macrófito de *Pontederia cordata* (Tule) y *Phragmites australes* (Carrizo). La eficiencia de remoción de contaminantes básicos (DBO₅, DQO, SST, NT, PT, Turbiedad y Color) fue evaluada bajo tres tratamientos: *Pontederia cordata* (HAFS-Tule), *Phragmites australis* (HAFS-Carrizo) y grava como prueba testigo (HAFS-Grava), Los datos experimentales fueron analizados estadísticamente por aproximaciones de Kruskal Wallis y ANOVA. Para el HAFS-Tule, se obtuvieron las más altas eficiencias de remoción entre 81,10% y 95,44%. Para el HAFS-Carrizo, se encontraron eficiencias de remoción en un rango de 53 a 89%; mientras que el HAFS-Grava presentó las eficiencias más bajas (34-72%). Los tratamientos mostraron diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0,001$). Se concluye que el mejor tratamiento fue obtenido por la vegetación macrofita de *Pontederia cordata* (Tule), con eficiencias en remoción de hasta 95%, cumpliendo con la NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los LMP de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales

(Carvajal, Carel, Ortiz, Vega & Angry, 2017), en su investigación titulada “Propuesta de tratamiento de aguas residuales domésticas implementando un humedal artificial de flujo subsuperficial empleando *Bambusa sp* en la finca el recreo ubicado en Tauramena, Casanare”, realizaron la propuesta para el diseño de un humedal de flujo subsuperficial empleando *Bambusa sp* en el tratamiento de aguas residuales domésticas, generadas por la finca El Recreo en Tauramena. La investigación se llevó a través de un alcance descriptivo y alcance cuantitativo, llevando en

primera instancia a la caracterización física, química y microbiológica del agua residual doméstica sin tratamiento mediante el análisis de 19 parámetros de calidad; luego de la determinación de la calidad del efluente se comenzó con el diseño y construcción de la prueba piloto con *Bambusa sp* como macrófita experimental y una segunda prueba con *Heliconia psittacorum* siendo esta la macrófita control. Al efluente proveniente de las dos pruebas piloto se les realizó las mismas pruebas de calidad que al agua del efluente sin ningún tratamiento, siendo los parámetros más relevantes DBO₅, DQO, grasas, aceites y fósforo. Los resultados de DQO para aguas residuales domésticas de 768 mg/L de O₂ mostraron una disminución en el parámetro en la prueba piloto utilizando *Bambusa sp* a 288 mg/L de O₂ e incluso más para *Heliconia psittacorum* de 44,8 mg/L de O₂. En el caso de la DBO₅ para las aguas residuales no tratadas fue de 446 mg/L de O₂, seguida de *Bambusa sp* correspondiente a 186 mg/L de O₂ y la planta de control de 24 mg/L de O₂; el total de sólidos en suspensión para aguas residuales domésticas fue de 1407,5 mg/L, la prueba piloto de *Bambusa sp* de 557,5 mg/L y la prueba piloto *Heliconia psittacorum* de 516,25 mg/L. Según los resultados obtenidos en los diferentes análisis se concluye que la eficacia de la *Bambusa sp* en el tratamiento de aguas residuales domésticas es de un 73% frente a un 79% de la *Heliconia psittacorum*, siendo esta última más eficiente.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Humedal artificial

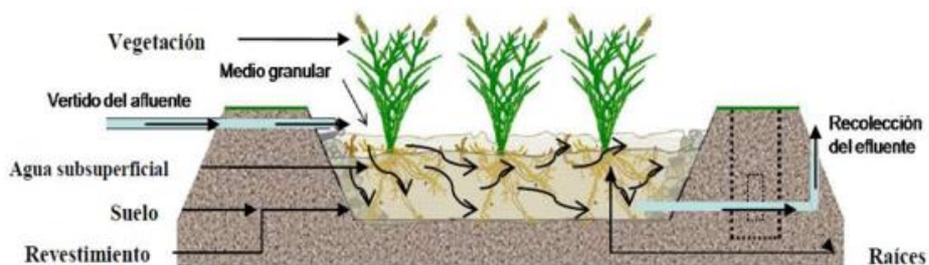
Los humedales artificiales (HA) son sistemas de depuración de aguas residuales industriales o domésticas utilizando diferentes especies de macrofitas. Esto se fundamenta en el desarrollo de un grupo de plantas arraigadas sobre una capa de grava. La operación de las macrofitas arraigadas hace viable un conjunto de interacciones físicas, químicas y biológicas donde el agua residual es purificada. (Delgadillo, Camacho, Pérez y Andrade 2010)

2.2.2. Tipos de humedales artificiales

a) **Humedales de flujo superficial (HFS).** Es aquel sistema donde el agua fluye desde la entrada del humedal hasta la salida por encima de la superficie del suelo y tiene contacto directo con la atmósfera, las aguas de este sistema tienen contacto con los tallos de las plantas, estos sistemas se igualan en un gran porcentaje a los humedales naturales (Rabat, 2016). Figura 1.

Figura 1.

Humedales artificiales de flujo superficial horizontal

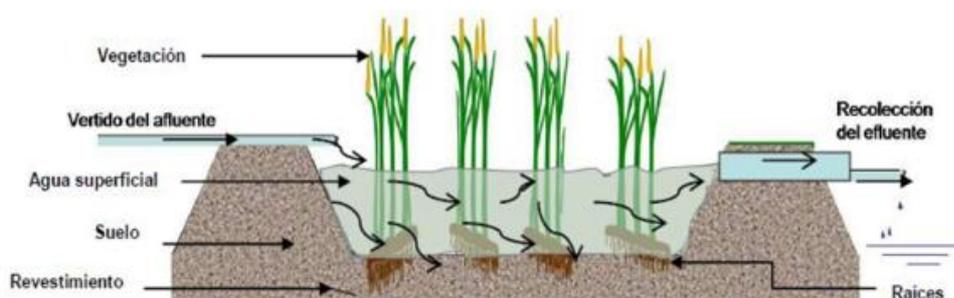


Nota. Vista de perfil de un humedal artificial de flujo superficial horizontal. Tomada de (Rabat, 2016)

b) **Humedales de flujo subsuperficial (HFSS).** Es aquel sistema donde los procesos químicos (aeróbicos) ocurren cerca de las raíces y tiene un mayor contacto con la comunidad bacteriana del suelo, cada uno de estos elementos intervienen en el tratamiento de las aguas residuales para su purificación (Rabat, 2016). Figura 2.

Figura 2.

Humedales artificiales de flujo subsuperficial horizontal



Nota. Vista de perfil de un humedal artificial de flujo subsuperficial horizontal. Tomada de (Rabat, 2016)

2.2.3. Funcionamiento de un humedal artificial

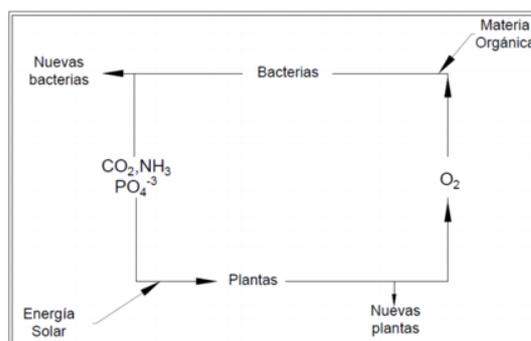
a) **Proceso de retención de nutrientes.** Las aguas residuales domésticas vienen cargadas de materia orgánica los cuales serán retenidos al pasar las aguas por las raíces de las plantas y por el medio soporte, esta materia orgánica servirá de sustratos para las bacterias que se utilizarán en el humedal artificial, pero irán disminuyendo al alejarse de la entrada de las aguas para el humedal (Salas, 2007).

b) **Proceso de remoción de contaminantes.** Al adherirse la carga orgánica a las raíces de las plantas y al medio soporte, se irán formando colonias de bacterias para alimentarse de los nutrientes reduciendo la concentración de los contaminantes en el agua, algunos contaminantes tales como (iones de nitrato, fosfato y amonio) servirán de nutrientes para la planta y se irán eliminando debido al proceso de fotosíntesis. (Arteaga, Quevedo, Del Valle, Castro, Bravo y Ramírez, 2020)

c) **Relación simbiótica entre plantas y bacterias.** El oxígeno que se necesita en los sistemas de humedales se obtiene por aireación natural de la superficie y las plantas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno emitido por las plantas debido a la fotosíntesis lo utilizan los microorganismos para la degradación aerobia de la materia orgánica. El resultado de esta degradación (amoníaco, fosfato, monóxido de carbono) son utilizados nuevamente por las plantas, esta relación entre plantas y microorganismos es de tipo simbiótica (Gómez, 2017). Figura 3.

Figura 3.

Relación simbiótica entre plantas y bacterias



Nota. Diagrama representando la relación simbiótica entre plantas y bacterias. Tomada de (Gómez, 2017).

d) Proceso de eliminación de microorganismos. Durante el día con presencia de luz solar, se produce la fotosíntesis y la emisión de oxígeno por parte de las plantas las cuales si son emitidas en gran medida provocara que los valores disueltos de oxígeno excedan a los de saturación. Durante la noche al no haber fotosíntesis el oxígeno disuelto disminuye debido a los procesos bioquímicos de las bacterias. Además, durante la noche la emisión de dióxido de carbono disminuye el pH del sistema. En el día el amoníaco producido de la degradación de los compuestos orgánicos asiste al aumento de pH. Por ende, las aguas residuales pueden ser acidas en la noche y básicos durante el día. Esta variación de pH puede llevar a condiciones adversas para las algas y microorganismos (Gómez, 2017).

2.2.4. Humedales artificiales en serie

Son humedales artificiales en donde se utiliza el efluente de un humedal como el afluente del humedal siguiente mediante un sistema de tuberías con el fin de aumentar la eficiencia de la depuración del contaminante. Los sistemas de tanques en serie suponen que el flujo o la circulación en el interior del reactor tiene una distribución de tiempos de residencia muy parecida, o explicable, a la de una serie de tanques de mezcla (N tanques) conectados unos con otros y de igual volumen.

2.2.5. Marco Legal

- Decreto Legislativo N°1280, Ley Marco de la Gestión y Prestación de los Servicios de Saneamiento.
- Ley N°26842, Ley General de Salud – a través de DIGESA; brinda la opinión técnica favorable del Sistema de Tratamiento y Disposición Sanitaria de Aguas Residuales Domésticas para Vertimiento y Reúso.

- Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, aprueba Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias.
- Decreto Supremo N°003-2010-MINAM, aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- Norma OS.090, Norma para el Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Protocolo de Monitoreo de la Calidad los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.
- Guías de la Organización Mundial de la Salud para el uso seguro de aguas residuales, excretas y aguas grises, Volúmenes 1-4, 3ra Edición. 2006.

2.3. Conceptual

2.3.1. Aguas residuales

Son aguas producto de los efluentes generado por diversas actividades antropogénicas (sea doméstica o industrial) las cuales son vertidas sin tratamiento ocasionando impactos negativos hacia el medio ambiente y la salud humana (Romero, 2010).

Se dividen en:

a) Aguas residuales domésticas. Son generadas por la población y tiene la característica de contener una gran cantidad de material orgánico proveniente de las heces de las personas y animales. (Ramalho, 1996)

b) Aguas residuales industriales. Son generadas por la acción industrial sea minera, agrícola, energética, etc. Las cuales alteraron su composición química (OEFA, 2014).

2.3.2. *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua)

Pertenece a la familia Pontederiaceae, es una macrofitas acuática flotante no enraizada, herbácea perenne de agua dulce. Puede vivir en aguas dulces tales como canales, presas, arroyos, ríos y pantanos. Se

originó en la Amazonía, pero en la actualidad se distribuye en todas las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Esta planta tiene un crecimiento rápido en el entorno de 20 a 30°C de temperaturas medias, pero se estancan en el intervalo de 8 a 15°C. Esta planta posee un sistema de raíces, que tienen microorganismos asociados a ella que favorece la acción depuradora de las plantas acuáticas, remueve algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, colorantes y pesticidas, y disminuye niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos (Coronel, 2016). Figura 4.

Figura 4.

Morfología de la Eichhornia crassipes



Nota. Dibujo de la *Eichhornia crassipes* señalando sus partes. Tomada de (Garay, 2017).

2.3.3. *Schoenoplectus americanus* (junco)

Pertenece a la familia Ciperaceas, es una macrofita emergente, que se encuentra en abundancia en pantanos y humedales, posee un rizoma con o sin escamas del cual se originan varios tallos verdes que pueden llegar hasta los 1,5 metros sobre el nivel del agua los cuales son erectos y lisos, sus vainas foliares pueden poseer una lámina de hasta 20 cm. Esta especie tolera el Zn y es una especie adecuada para la fitorremediación de humedales contaminados por Zn y carga orgánica, son utilizados regularmente para la fabricación de artesanías (Ampuero, 2018).

La presencia de las macrofitas en sistemas de depuración incrementa la remoción de microorganismos debido a que su sistema de

raíces constituye un hábitat favorable para los organismos depredadores y proporciona una gran cantidad de superficie de adsorción para las bacterias (Valderrama, 1996). Figura 5.

Figura 5.

Morfología de Schoenoplectus americanus



2.4. Definición de términos básicos

Coliformes termo-tolerantes o fecales

Es un grupo de coliformes totales que se encuentran presentes en las heces de las personas y animales, pueden desarrollarse hasta temperaturas de 45°C. Es un indicador común en las aguas domésticas residuales (Cárdenas 2019).

Coliformes totales

Es un grupo de bacterias pertenecientes a la familia *Enterobacteriaceae*, pueden fermentar la lactosa con la creación de ácidos y gases, se desarrollan entre los 30°C – 37°C de temperatura y están presentes en los intestinos de los animales como también en el medio ambiente (Tocto 2018).

DBO₅

Es el consumo de oxígeno que necesitan los microorganismos para degradar la materia orgánica en condiciones aeróbicas, su tiempo de análisis es de 5 días y los resultados se expresan en mg/L (Ramalho ,1993)

DQO

Es la cantidad de oxígeno que se necesita para la oxidación de masa orgánica que están concurrentes en las aguas residuales domésticas. Es una de la carga orgánica que puede ser degradado mediante proceso biológico. El DQO es la carga orgánica biodegradable como la no biodegradable, los resultados se miden en mg/L (Hidritec, 2016).

ECA

Conocidos como estándares de calidad ambiental (ECA) son valores máximos de contaminantes permitidos en el ambiente (agua, aire y suelo). Sirve para fijar metas que caracterizan cuantitativamente a partir desde qué nivel se puede verse afectado la salud humana y al ambiente (MINAM, 2020)

Fitoremediación

Es un conglomerado de tecnologías que disminuyen in situ o ex situ la cantidad de microorganismos o compuestos químicos mediante reacciones bioquímicas desarrollada por plantas u otros microorganismos (Delgadillo, Gonzales, Prieto, Villagomez y Acebedo 2011).

LMP

Conocidos como límites máximo permisible (LMP) Es la medida de la concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (MINAM, 2020).

Lodos

Son producidos durante los procesos de tratamiento primario de las aguas residuales. Esto ocurre después de las pantallas y desarenado y consiste en productos no disueltos de las aguas residuales. El lodo en el fondo de tanque primario de sedimentación se llama también lodo primario, este contiene generalmente una gran cantidad de material orgánica (Degremont 1991).

Oxígeno Disuelto

Es un parámetro necesario que a concentraciones adecuadas permite desarrollar los microorganismos aeróbicos y especies tales como lombrices y algas. La ausencia de oxígeno en nuestro medio dará lugar a procesos anaeróbicos causando una menor degradación de la materia orgánica, por el contrario, al existir suficiente cantidad de oxígeno, se genera oxidación aerobia, mejorando así la calidad del efluente final (Reyna, 2016).

pH

Es un valor numérico que precisa si una sustancia es ácida, neutra o básica, utilizando la cantidad de iones hidrógeno presentes en el medio. El rango de medición comienza desde 0 y termina en 14, si el valor de este está por debajo de 7 indicará que es una sustancia ácida, si es 7 será una sustancia neutra y si está por encima de 7 será básica (Murphy, 2007).

Remoción

Es el proceso físico, químico, biológico en el cual tiene por objetivo disminuir o eliminar la concentración de una sustancia mediante el uso de tecnologías (Pérez, 2005).

Sedimentación

Es un proceso natural por el cual las partículas más pesadas que el agua, que se encuentran en su seno en suspensión, son removidas por la acción de la gravedad (Pérez, 2005).

Turbidez

Es un parámetro físico que se genera por la presencia de partículas en suspensión como consecuencia de ello el agua pierde su transparencia, su unidad de medida es el NTU (Marcó, Azario, Metzler y Garcia, 2004).

III. HIPÓTESIS Y VARIABLES

3.1. Hipótesis

3.1.1. *Hipótesis General*

El tratamiento de aguas mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial será un método efectivo para la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes, en la PTAR Juan Velasco Alvarado de Villa el Salvador.

3.1.2. *Hipótesis Específica*

H₁: Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado cumplen con lo establecido en los Estándares Nacionales de Calidad de Agua para riego de áreas verdes.

H₂: Los sistemas de tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial cumplirán con las características de diseño para la generación de un efluente final cuya concentración de parámetros esté acorde con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) de agua, para riego de áreas verdes.

H₃: El tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) influirá en la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.

H₄: El tratamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial con la especie *Schoenoplectus americanus* (junco), influirá en la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.

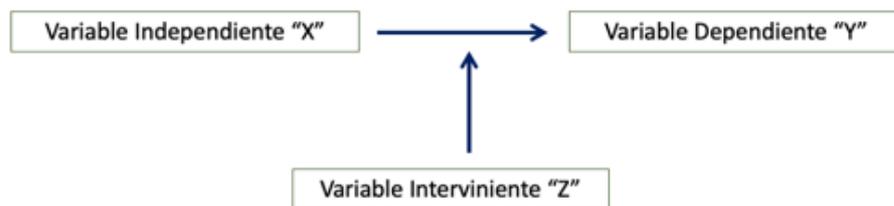
H₅: El uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con las especies *Schoenoplectus americanus* (junco) y con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) influirá en la disminución de la percepción de malos olores provenientes de las aguas residuales domésticas de la PTAR Juan Velasco Alvarado, Villa El Salvador.

3.2. Definición conceptual de las variables

Para demostrar y comprobar la hipótesis formulada, se determinó las siguientes variables, donde la variable dependiente (y) está en función de la variable independiente (x), observándose la siguiente figura. Figura 6.

Figura 6.

Operacionalización de las variables



3.2.1. Variable independiente (X). Tratamiento mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial.

El uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con las especies *Schoenoplectus americanus* (junco) y con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) tendrá un efecto sobre la calidad del agua residual tratada de la PTAR Juan Velasco Alvarado de Villa El Salvador, ya que se ha demostrado la capacidad de remoción que tienen los humedales artificiales sobre contaminantes de carácter orgánico, permitiendo obtener un agua de calidad para el riego de áreas verdes.

3.2.2. Variable dependiente (Y). Aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes.

El agua destinada al riego de áreas verdes debe tener bajos niveles de parámetros microbiológicos, es por ello la importancia de disminuir los niveles de carga orgánica presente en las aguas residuales domésticas, las cuales poseen altos niveles de parámetros como *Escherichia Coli* y Coliformes Totales, no cumpliendo con la normativa aplicable para aguas destinadas al riego de áreas verdes.

3.2.3. Variable interviniente (Z). Biomasa y cantidad de especies vegetales distribuidas en los humedales.

La concentración del efluente final del tratamiento con humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial se verá influenciado por la cantidad de especies vegetales que se coloquen en los humedales y el desarrollo de la biomasa de dichas especies nos indicará el nivel de adaptación que han tenido estas al tratamiento realizado.

3.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1.

Operacionalización de variables del proyecto

	Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumento de recolección de datos	Técnica	Método
Independiente (X)	Tratamiento mediante humedales artificiales	Diseño tratamiento con humedal de flujo superficial con <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) y Tratamiento con humedal de flujo subsuperficial con <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco)	X ₁ Caudal,	---	Observación	hipotético-deductivo
			X ₂ Sección Transversal	---		
			X ₃ Altura	---		
			X ₄ Tiempo de Retención Hidráulica	---		
Dependiente (Y)	Aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes.	Características físicas (olores), químicas y biológicas del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes del tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i> .	Y ₁ Aceites y grasas	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method	Registro de características físico, químicas y biológicas del efluente.	hipotético-deductivo
			Y ₂ SST	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C		
			Y ₃ DBO ₅	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test		
			Y ₄ DQO	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method		
			Y ₅ Coliformes Fecales	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
			Y ₆ E. Coli	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
			Y ₇ Huevos de Helmintos	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua.		
			Y ₁ Aceites y grasas	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method		
Y ₂ SST	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C					
Y ₃ DBO ₅	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test					
Y ₄ DQO	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method					

		Velasco Alvarado usando el tratamiento <i>Schoenoplectus americanus</i> .	Y ₅ Coliformes Fecales	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
			Y ₆ E. Coli	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique.		
			Y ₇ Huevos de Helmintos	Cuantificación e Identificación de Huevos de Helmintos en Agua.		
		Percepción de la población respecto a la presencia de olores molestos provenientes del efluente generado en la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento.	Y Percepción de olores	Desarrollo de Encuestas	Encuesta de percepción de olores	Ficha de recolección de datos
Interviniente (Z)	Biomasa y cantidad especies vegetales distribuidas en los humedales.	Biomasa y distribución de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) en el humedal de flujo superficial.	Z ₁ : Número de especies distribuidas en el humedal. Z ₂ : Diferencia de la biomasa de las especies durante el periodo de tratamiento.	Desarrollo de Fichas de biomasa	Registro de biomasa	hipotético-deductivo
		Biomasa y distribución de la especie <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco) en el humedal de flujo subsuperficial.	Z ₃ : Número de especies distribuidas en el humedal. Z ₄ : Diferencia de la biomasa de las especies durante el periodo de tratamiento.	Desarrollo de Fichas de biomasa	Registro de biomasa	hipotético-deductivo

IV. DISEÑO METODOLÓGICO

4.1. Tipo de investigación

Para definir el tipo de la investigación se consultó el libro “Metodología de la Investigación” de Fernández Collado y Baptista Lucio (Fernández & Baptista, 2014).

La tipología de la presente investigación es de carácter aplicada, porque pretende solucionar un problema existente en la población, en este caso, en el distrito de Villa El Salvador, Lima.

4.2. Diseño de investigación

El diseño de la investigación es experimental, ya que pretende establecer el posible efecto de su intervención mediante la manipulación de las condiciones de investigación, controlando una o más variables (Behar Rivero, 2008).

Se representa de la siguiente manera: $X \Rightarrow Y$, donde:

X: Es la variable independiente.

Y: Es la variable dependiente.

Z: Es la variable interviniente.

\Rightarrow : Es la relación de implicancia.

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población está comprendida por las aguas tratadas en la PTAR Juan Velasco Alvarado, distrito de Villa El Salvador – Lima.

4.3.2. Muestra

La muestra está conformada por el volumen de agua extraído proveniente del efluente final posterior al tratamiento con los dos tipos de humedales con el fin de realizar los ensayos de laboratorio, tomando en cuenta una muestra de línea base para realizar las comparaciones cuando pase por el tratamiento con *Schoenoplectus americanus* y con *Eichhornia crassipes*.

Considerándose un total de 2 tipos de tratamiento y realizándose 3 ensayos por cada tratamiento, se tomaron un total de 6 muestras de agua con los dos tratamientos realizados, trabajándose con un caudal de 0,5 m³/día.

El tamaño de muestra se definió en base a lo establecido en el documento “Requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales – Agua, del laboratorio Analytical Laboratory E.I.R.L.”, con el cual se ha trabajado para realizar los análisis de las muestras de agua. (Ver Anexo 10.6), analizándose un total de 29,1 litros de agua tratada.

4.4. Lugar del estudio

El proyecto tiene lugar en la PTAR Juan Velasco Alvarado, ubicada en la avenida Juan Velasco Alvarado del Distrito de Villa el Salvador, cerca de la avenida Mariano Pastor Sevilla, en la región Lima Metropolitana. Figura 7.

Figura 7.

Ubicación de la PTAR Juan Velasco Alvarado



Nota. Vista superior de la PTAR Juan Velasco Alvarado. Imagen tomada de (Google Earth, 2019)

4.5. Técnicas e instrumentos para la recolección de información documental

Para el proceso de recolección de información en gabinete se hicieron uso de las técnicas de análisis documental, a través de la revisión de información de libros, artículos de investigación, revistas, entre otros, almacenados en una nube informática y cuyo contenido fue recopilado en una ficha de registro de datos. De la misma manera, también se aplicó la técnica de recopilación de datos del tipo no experimental, mediante la visita técnica a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, a fin de conocer las condiciones de la misma.

A continuación, se describe las actividades realizadas durante el proceso de recolección de información documental:

a) Revisión de informes, expedientes, quejas y/o denuncias dentro de la base de datos de la Municipalidad de Villa El Salvador relacionadas a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado.

b) Revisión de investigaciones realizadas respecto a la calidad del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado.

c) Revisión de investigaciones relacionadas al tema del presente proyecto.

d) Revisión de la base de datos meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú.

4.6. Método de investigación

4.6.1. Caracterización del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes del tratamiento por humedales artificiales

Se realizó la caracterización del efluente generado en la PTAR Juan Velasco Alvarado fin de conocer los niveles de concentración de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y determinar si cumplen con los Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (Decreto

Supremo N°003-2010-MINAM), y si dicho efluente es apto para el reuso en riego de parques públicos, de acuerdo a la comparación de resultados con los Estándares de Calidad Ambiental para agua. (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM, Categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales – Parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido).

a) Parámetros evaluados.

- DBO₅
- DQO
- SST
- Parámetros microbiológicos (coliformes fecales, *E. coli*, huevos de helmintos).
- Aceites y grasas

b) Proceso de toma de muestras. Para realizar la toma de muestras se siguió la metodología establecida en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales de Ministerio de Vivienda.

La toma de muestras se llevó a cabo el día 17 de diciembre del año 2020 alrededor de las 12:00 pm y se determinó como punto de monitoreo la zona donde se ubica la tubería de descarga del efluente final de la PTAR Juan Velasco Alvarado, ver tabla 2.

Tabla 2.

Ubicación de punto de monitoreo

<i>Punto</i>	<i>Coordenadas UTM WGS84 – 18L</i>	
	<i>Este</i>	<i>Norte</i>
P-01	288 078 m	8 649 128 m

Se tomó una muestra por cada uno de los parámetros evaluados respetando el tipo de envase y volumen de muestra de acuerdo a lo

establecido en Protocolo de Monitoreo de la Calidad los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales.

Las muestras fueron guardadas en un cooler con refrigerantes a fin de preservar el estado de las mismas hasta su llegada al laboratorio. Finalmente se llenó la cadena custodia registrando la información de las muestras tomadas y se realizó una toma de fotografías como evidencia del proceso de muestreo.

c) Análisis de muestras. El análisis de las muestras tomadas en la PTAR Juan Velasco Alvarado, Distrito de Villa El Salvador, estuvo a cargo del laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L (ALAB).

d) Evaluación de resultados. En base a los resultados obtenidos en el Informe de Ensayo N°IE-20-8354, se realizó el análisis comparativo con los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Decreto Supremo N°003-2010-MINAM), como también con los estándares de calidad ambiental para agua. (Decreto Supremo N°004-2017-MINAM), categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales – parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido), a fin de determinar si el efluente es apto para el reúso en riego de parques públicos.

Tabla 3.

Tabla 3.

Características del Efluente PTAR Juan Velasco Alvarado

Tipo de ensayo	Unidad	L.D.M	L.C.M.	Resultados	LMP PTAR	ECA agua Cat 3
Aceites y grasas	mg/L	0,48	1,20	1,60	20	-
Coliformes fecales (termotolerantes)	NMP/100mL	NA	1,8	170 000,0	10 000	1 000

Demanda bioquímica de oxígeno	mg /L	0,4	2,0	29,9	100	15*
Demanda química de oxígeno	mg/L	2	5	60	200	40*
<i>E. coli</i> (NMP)	NMP/100mL	NA	1,8	22 000,0	-	1 000
Huevos de helmintos	Huevo/L	NA	1,0	2,0	-	1
Solidos suspendidos totales	mg /L	2	5	6	150	-

De acuerdo a la comparación de resultados, se observa que los parámetros que se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento para aguas residuales son: aceites y grasas, DBO₅, DQO y solidos suspendidos totales.

Sin embargo, en el caso de los parámetros microbiológicos, la concentración de coliformes fecales excede a los LMP, siendo su valor de 170 000 NMP/100mL. Por lo que se concluye que el efluente no cumple con los límites máximos permisibles para plantas de tratamiento para aguas residuales en todos sus parámetros.

En caso de la evaluación del efluente para su reúso en riego de parques públicos, se observa que los parámetros de DBO₅ y DQO están dentro de los estándares de calidad ambiental para agua, categoría 3: riego de vegetales y bebida de animales del tipo de riego no restringido.

Sin embargo, en el caso de los parámetros microbiológicos los valores en las concentraciones de coliformes fecales, *Escherichia coli* y huevos de helmintos superan en su totalidad a lo establecido en los ECA agua, por lo que se desprende de que esta agua no es apta para el reúso en riego de parques públicos.

4.6.2. Proceso de diseño de los sistemas de humedales artificiales

Se ha propuesto el diseño de 02 sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en serie (2 humedales en total, de acuerdo a los cálculos), estos sistemas se usaron para realizar el tratamiento mediante humedales de flujo superficial y flujo subsuperficial.

Se construyeron los diseños a escala piloto dentro de las instalaciones de la Subgerencia de Parques y Jardines de la Municipalidad Distrital de Villa El Salvador, implementándose 2 humedales en serie, dentro de los cuales se inició con el tratamiento usando la especie *Eichhornia crassipes* (humedal de flujo superficial) y una vez culminados los ensayos con esta especie se adecuó el sistema para realizar el tratamiento con la especie *Schoenoplectus americanus* (humedal de flujo subsuperficial).

a) Ecuaciones utilizadas. Para calcular las dimensiones del humedal y el tiempo de retención de agua dentro del mismo se debe tener en cuenta el porcentaje de remoción de contaminantes que se quiere obtener, para ello es necesario conocer la calidad del agua de la PTAR Juan Velasco Alvarado, a fin de determinar los niveles de concentración de contaminantes existentes, para lo cual se usaron los resultados del análisis realizado en el mes de diciembre del 2020 y se procedió a realizar los cálculos de diseño, utilizándose las siguientes ecuaciones:

El Modelo de remoción de coliformes fecales se utiliza la ecuación 1 (Rabat Blásquez, 2016).

$$\frac{C_f}{C_i} = \frac{1}{(1+t+K_p)^N} \dots\dots\dots \text{ecuación 1}$$

Donde:

C_f = Concentración de coliformes fecales en el efluente, NMP/100ml

C_i = Concentración de coliformes fecales en el afluente, NMP/100ml

t = tiempo de retención hidráulica en el humedal

K_p = Constante de velocidad de remoción específica de coliformes fecales, $K_p = 2,6(1,19)^{T-20}$

T = temperatura (°C)

N = Número de humedales en serie

Para el tiempo de retención hidráulica en el humedal (Rabat Blásquez, 2016) puede ser calculado por medio de la siguiente expresión:

$$t = \frac{LWyn}{Q} \dots\dots\dots \text{ecuación 2}$$

Donde:

L = Largo de la celda del humedal, m.

W = Ancho de la celda del humedal, m.

y = Profundidad de la celda del humedal, m.

n = Porosidad, o espacio disponible para el flujo del agua a través del humedal, porcentaje expresado como decimal.

Q = Caudal medio a través del humedal, m³/día.

El Caudal medio se calcula a través del humedal (Rabat Blásquez, 2016)

$$Q = \frac{Q_i + Q_f}{2} \dots\dots\dots \text{ecuación 03}$$

Donde:

Q_f = Caudal de salida, m³/día.

Q_i = Caudal de ingreso, m³/día.

b) Cálculo de las dimensiones del humedal. Para el cálculo de las dimensiones de los humedales se han estimado los datos de caudal promedio, la concentración de coliformes fecales inicial en el afluente se determinó en un monitoreo realizado el día 17/12/20. Se usó como referencia los valores de temperatura promedio del agua en el distrito de Villa El Salvador para los meses de enero a marzo de acuerdo a las tablas de SENAMHI.

Para este caso se ha tomado como principal indicador el parámetro de coliformes fecales, ya que es el que tiene los valores de concentración más altos según la caracterización realizada del efluente. A fin de lograr que el agua tratada sea destinada para el reúso en riego de parques y jardines, se debe obtener un valor por debajo de los ECA Agua categoría 3: Riego de vegetales y bebida de animales del tipo de riego no restringido, determinándose para este estudio que se debe lograr obtener una concentración de 900 NMP/100mL de coliformes fecales, debiéndose alcanzar un porcentaje de remoción del 99%.

Finalmente, en base a las estimaciones realizadas se vio conveniente el uso de 2 humedales en serie (N), a fin de conseguir un menor tiempo de retención hidráulica en el sistema.

Tabla 4.

Valores de concentración y temperatura

Parámetro	Unidad	Valor
Q	m ³ /día	0,5
Ci	NMP/100ml	170 000
Cf	NMP/100ml	900
T	°C	21,5
Kp	día ⁻¹	6,81

En base a los valores mostrados en la tabla 4, y despejando la Ecuación N°1 (Modelo de remoción de coliformes fecales) se obtendrá un tiempo de retención hidráulica de $t = 1,87$ días por cada sección de cada humedal, por ende, el tiempo de retención hidráulica entre los 2 sistemas fue de 3,74 días, redondeando a 4 días.

El valor de la porosidad, está basado en la porosidad máxima de la grava media, el cual será el material a usar como parte del sustrato y la profundidad recomendada para el diseño de humedales artificiales es de 0,80 m (Rabat Blásquez, 2016).

En base a los cálculos obtenidos con la Ecuación N°2 (Tiempo de retención hidráulico en el humedal) se debe contar con un área promedio de 3 m² para el funcionamiento del sistema por cada humedal, por lo que pasó a estimarse los valores de largo y ancho a fin de obtener el área deseada, los que se observan en siguiente tabla. Tabla 5.

Tabla 5.

Dimensiones de los humedales subsuperficial y superficial

Dimensión	Unidad	Valor
Largo (L)	m	2
Ancho (W)	m	1,5
Altura (Y)	m	0,8
Porosidad (n)	%	0,4
Caudal (Q)	m ³ /día	0,5

Entre los humedales se encuentra una bomba periférica o sumergible para poder trasladar el agua del primer humedal al segundo humedal mediante una manguera. Figuras 8 y figura 9.

Figura 8.

Prototipo de humedal de flujo superficial

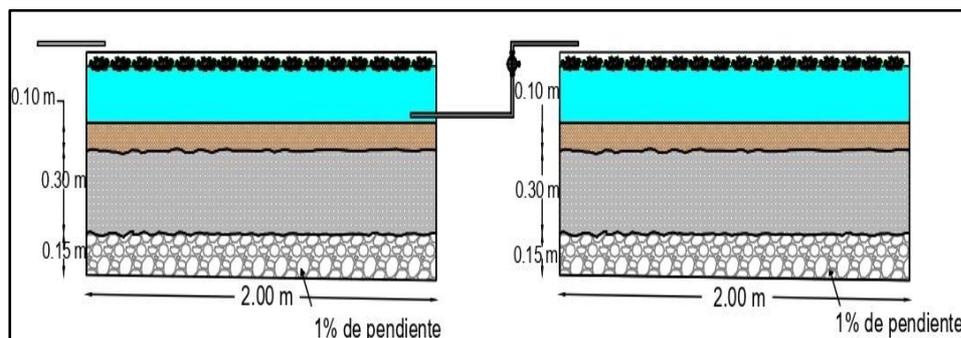
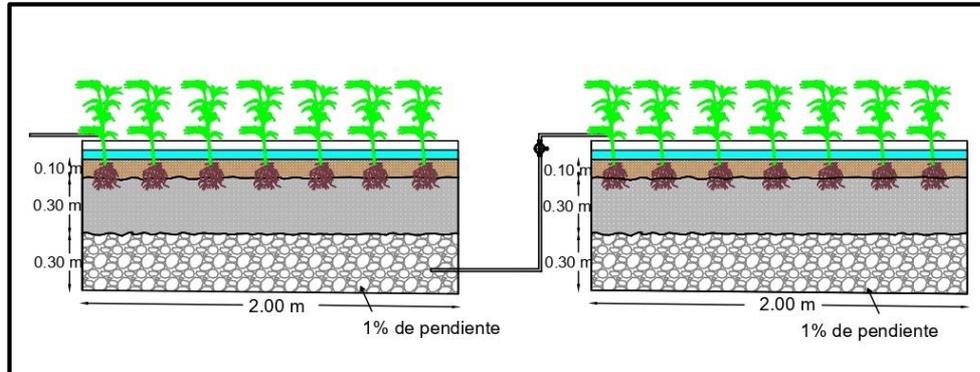


Figura 9.

Prototipo de humedal de flujo subsuperficial



4.6.3. Implementación del sistema de humedales artificiales en las instalaciones de la PTAR Juan Velasco Alvarado

Una vez, definido el diseño de los humedales artificiales se procedió a realizar su instalación dentro de la PTAR Juan Velasco Alvarado – Villa El Salvador.

Se llevaron a cabo las siguientes actividades:

a) **Delimitación y trazado del terreno.** Se procedió a realizar el trazado del terreno con cal en base a las medidas obtenidas en el diseño de los humedales. Figura 10.

Figura 10.

Trazado de terreno



b) Excavación en del terreno. Se realizaron 2 excavaciones en serie de 1 metro de profundidad, 2 metros de largo y 1,5 metros de ancho. Figura 11.

Figura 11.

Excavación en del terreno



c) Colocación de plástico. Se recubrieron las excavaciones con plástico grueso, a fin de evitar la infiltración de agua en el suelo. Figura 12.

Figura 12.

Recubrimiento de pozas con plástico



d) **Vaciado de grava.** Se colocaron 3 tamaños distintos de grava, entre arena gruesa, confitillo y arena fina en cada humedal. Figura 13 y figura 14.

Figura 13.

Vaciado de grava



Figura 14.

Vaciado de arena fina



e) **Llenado de pozas.** Se procedió a llenar las pozas con agua proveniente de la PTAR a fin de preparar el sistema para la colocación de plantas. Para el llenado de pozas se usó una manguera de 1 pulgada de diámetro con agua proveniente de la poza de almacenamiento de agua tratada. Figura 15.

Figura 15.

Llenado de pozas con agua de la PTAR



f) **Colocación de plantas.** *Eichhornia crassipes*, una vez llenados los sistemas de humedales con agua proveniente de la PTAR se procedió a colocar las especies de *Eichhornia crassipes* en la primera poza, aumentando la cantidad de especies en cada ensayo. Figura 16.

Figura 16.

Colocación de Eichhornia crassipes en las pozas



Por otro lado, para conseguir la planta de *Schoenoplectus americanus* se realizó la visita al Área de Conservación Regional Albufera de Medio Mundo, ubicada en la provincia de Huaura, solicitando el apoyo de los pobladores de la zona que se dedican a la extracción de *Schoenoplectus americanus* y totora para la elaboración de artesanías.

Figura 17.

Figura 17.

Albufera de Medio Mundo – Provincia de Huaura



Una vez culminados los ensayos con el *Eichhornia crassipes* se procedió a vaciar el agua de las pozas, estando vacías se colocaron las

especies de *Schoenoplectus americanus* en cada poza, enraizadas en la arena fina, siendo la misma cantidad de especies usada durante los 03 ensayos realizados. Figura 18.

Figura 18.

Colocación de Schoenoplectus americanus en las pozas



g) Bombeo de agua de un humedal a otro. Después de dos días de tratamiento en el humedal 1 y a través del uso de una bomba de agua, se trasladó al humedal 2, a fin de continuar con el tratamiento por dos días más de acuerdo al tiempo de retención hidráulica calculado. Figura 19.

Figura 19.

Bombeo de agua



h) **Conteo y pesaje de plantas.** A fin de evaluar el nivel de adaptación de las especies usadas para el tratamiento de agua, se procedió a realizar el conteo y pesaje de plantas antes y después de cada ensayo. Figura 20 y figura 21.

Figura 20.

Pesaje de *Eichhornia crassipes*



Figura 21.

Pesaje de Schoenoplectus americanus



Para el caso del *Schoenoplectus americanus*, solo se realizó el conteo y pesaje al inicio y final de todo el tratamiento.

i) **Toma de muestras de agua.** Una vez culminado cada ensayo se realizó el proceso de toma de muestras, para cada uno de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos considerados en el estudio. Figura 22.

Figura 22.

Toma de muestras de agua



j) **Traslado de muestras al laboratorio.** Culminada la toma de muestras y preservadas en un cooler con refrigerante, estas fueron llevadas al laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. para su respectivo análisis. Figura 23.

Figura 23.

Traslado de muestras al laboratorio



4.7. Materiales e insumos

Para el proceso de implementación del SHA se requirieron los siguientes materiales e insumos:

Tabla 6.

Relación de materiales usados en el proyecto

Item	Unidad	Cantidad
Cal para demarcación de terreno	kg	1
Electro-bomba sumergible 12V	unid	1
Plástico grueso doble capa	mt	15
Arena gruesa	sacos	4
Piedra chancada	sacos	16
Manguera 1"	mt	9
Cable mellizo	mt	10
Tomacorriente	unid	1
Pegamento de tubos	unid	1

Manguera delgada	mt	2
Abrazaderas	unid	2
Reductor tubo	unid	1
Planta <i>Eichhornia crassipes</i>	unid	32
Confitillo	sacos	13
Codos	unid	2
Cinta de seguridad	mt	15
Botas de jebe	unid	2
Planta <i>Schoenoplectus americanus</i>	unid	60

4.8. Técnicas e instrumentos para la recolección de información en campo.

4.8.1. Técnica

La técnica utilizada en la presente investigación fue la de observación experimental, para ello se utilizaron las Fichas 1, 2 y 3 para la recolección de datos (Anexo 7, 8, 9), los cuales deben ser validados por un experto según las fichas de validación de los instrumentos (Anexo 10, 11, 12). Tabla 7.

Tabla 7.

Técnica e instrumentos para la recolección de datos

Técnica	Instrumento de recolección de datos
Observación Experimental	Ficha 1: Registro de características físico, químicas y biológicas del efluente. Ficha 2: Registro de biomasa Ficha 3: Encuesta de percepción de olores

4.8.2. Instrumentos para la recolección de información de campo.

Se realizó la recolección de muestras de agua para su posterior análisis en el laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. para cada tipo de humedal tomando en consideración los Requisitos mínimos para ensayos de muestra de agua presentados por el laboratorio (Anexo 6).

Para verificar la adaptabilidad de las plantas se realizó el análisis de biomasa donde la información fue anotada en una ficha de datos para su posterior digitalización en una hoja de cálculos. De la misma manera, se realizó la encuesta a los trabajadores de la subgerencia antes y durante el tratamiento para verificar si existió una disminución en la percepción de malos olores proveniente de las aguas de la PTAR.

Toda esta información fue analizada mediante hojas de cálculos y programas estadísticos con el fin de verificar y determinar la efectividad de los tratamientos.

4.8.3. Ensayos realizados por cada tratamiento

Una vez instalados los sistemas de humedales se procedió a realizar una serie de ensayos por cada tipo de humedal estudiado a fin de tener una relación de datos que nos puedan ayudar en el desarrollo de los análisis estadísticos.

Para este caso, se determinó llevar a cabo 3 ensayos por cada tipo de humedal (tres ensayos para el sistema de HFS y tres ensayos para el sistema de HFSS), realizándose la toma de muestras del efluente posterior al tratamiento realizado en cada ensayo. Tabla 8 y tabla 9.

Donde:

E1H1: Primer ensayo en el humedal 1

E1H2: Primer ensayo en el humedal 2

E2H1: Segundo ensayo en el humedal 1

E2H2: Segundo ensayo en el humedal 2

E3H1: Tercer ensayo en el humedal 1

E3H2: Tercer ensayo en el humedal 2

CA: Traslado de agua del humedal 1 al humedal 2

TM E1: Toma de Muestra para el ensayo 1

TM E2: Toma de Muestra para el ensayo 2

TM E3: Toma de Muestra para el ensayo 3

Tabla 8.

Cronograma de ensayos realizados para el sistema de HFS

	Fecha	E1	E2	E3
Número de ensayos para los Sistemas de HFS (<i>Eichhornia crassipes</i>)	13-Abr	E1H1		
	14-Abr	E1H1		
	15-Abr	CA/E1H2		
	16-Abr	E1H2		
	17-Abr	TM E1		
	6-Jul		E2H1	
	7-Jul		E2H1	
	8-Jul		CA/E2H2	
	9-Jul		E2H2	
	10-Jul		TM E2	E3H1
	11-Jul			E3H1
	12-Jul			CA/E3H2
	13-Jul			E3H2
	14-Jul			TM E3

Tabla 9.

Cronograma de ensayos realizados para el sistema de HFSS

	Fecha	E1	E2	E3
Número de ensayos para los Sistemas de HFSS (<i>Schoenoplectus americanus</i>)	12-Jul	E1H1		
	13-Jul	E1H1		
	14-Jul	CA/E1H2	E2H1	
	15-Jul	E1H2	E2H1	
	16-Jul	TM E1	CA/E2H2	E3H1
	17-Jul		E2H2	E3H1
	18-Jul		E2H2	E3H2
	19-Jul		TM E2	CA/E3H2
	20-Jul			E3H2
	21-Jul			TM E3

4.8.4. Análisis de muestras en laboratorio y evaluación de resultados

Todas las muestras tomadas durante el desarrollo del presente proyecto fueron llevadas al laboratorio ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L. para su respectivo análisis y emisión de informe de ensayo, para el registro de los datos se utilizó la ficha 1 registro de características físico, químicas y biológicas del efluente.

4.8.5. Análisis de biomasa

A fin de evaluar la adaptación de las especies de plantas usadas en el tratamiento con HA, se realizó el seguimiento al control de peso y número de especies existentes durante cada ensayo realizado, para lo cual se contó con la ficha 2 registro de biomasa, la cual se llenó al inicio y final de cada ensayo realizado.

4.8.6. Elaboración de encuestas de percepción de olores

De acuerdo a la bibliografía revisada existen diversas metodologías para la evaluación de olores en campo, dentro de los cuales se consideran los métodos analíticos y sensoriales, este último trabaja a través de la percepción de la nariz humana y el desarrollo de encuestas en el área de influencia de la fuente generadora de olores (Veloza y Misnaza, 2019).

A fin de evaluar la percepción de las personas ante la generación de olores provenientes de la Planta de tratamiento existente, como también del sistema de HA instalado, se utilizó la ficha 3 encuesta de percepción de olores a los trabajadores de la planta, antes y durante la instalación del sistema de humedales, realizándose un total de 10 encuestas. El número de encuestas se basó en la cantidad de trabajadores que ingresan al recinto durante el horario laboral turno mañana y tarde. Las encuestas realizadas durante el funcionamiento de los humedales se realizaron aprovechando que la PTAR dejó de realizar actividades durante tres semanas debido a trabajos de mantenimiento de la planta.

4.9. Análisis y procesamiento de datos

El procedimiento de recolección de datos se llevó a cabo en las instalaciones de la PTAR Juan Velasco Alvarado y en laboratorios autorizados para tal fin.

Se evaluaron los parámetros como DBO₅, DQO, AyG, SST y patógenos fueron al final de cada ensayo acuático (4 días, en base al tiempo de retención hidráulica calculado) así como la adaptación de las plantas al medio.

Por otro lado, los datos obtenidos de los análisis en laboratorio han sido trasladados a tablas en Excel y procesados mediante el programa estadístico SPSS Statistics, a fin realizar un análisis comparativo y determinar cuál es el tratamiento más efectivo para la remoción de contaminantes en muestras de agua residual tratada destinadas al riego de áreas verdes, se realizaron las siguientes pruebas:

4.9.1. Prueba de normalidad

Una vez obtenido los resultados se realizará una prueba de normalidad Shapiro-Wilk debido a que los resultados obtenidos serán menores a 30 datos por variable con el objetivo de analizar la diferencia entre la distribución de los datos observados y si procediesen de una distribución normal.

4.9.2. Prueba T para una muestra

Luego de haber demostrado que los resultados presentan una distribución normal se realizará la prueba T para una muestra con el objetivo de analizar si la media de los *E. coli* y coliformes fecales difiere de una constante específica (condiciones iniciales de la PTAR Juan Velasco Alvarado).

4.9.3. Correlación de Pearson

Se realizará la prueba de correlación de Pearson luego de haber demostrado que los resultados presenten una distribución normal con la finalidad de observar si se presenta alguna relación entre las variables y medir su grado de relación.

V. RESULTADOS

5.1. Resultados Descriptivos

5.1.1. Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos

Apreciamos los resultados analíticos para el tratamiento en el HFS (*Eichhornia crassipes*) y el de HFSS (*Schoenoplectus americanus*) respectivamente. Tabla 10 y tabla 11.

Tabla 10.

Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos (*Eichhornia crassipes*)

Tipo de ensayo	Unidad	Antes del tratamiento con humedales	LMP PTAR	ECA agua Cat 3	<i>Eichhornia crassipes</i>		
					Ensayo 1 17/04/2021	Ensayo 2 10/07/2021	Ensayo 3 14/07/2021
Aceites y grasas	mg/L	1,6	20	5	3,7	0,48	1,8
Coliformes fecales (termotolerantes)	NMP/100mL	170 000,0	10000	1000	13000	33000	1,8
DBO ₅	mg/L	29,9	100	15	34,1	21,4	31,3
QDO	mg/L	60	200	40	71	78,5	95
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	NMP/100mL	22 000,0	-	1000	12000	7900	1,8
Huevos de helmintos	Huevo/L	2,0	-	1	<1	<1	<1
SST	mg /L	6	150	-	45	76	17
Detergentes	mg MBAS/L	-	-	0,2	0,033	<0,025	<0,025

Tabla 11.

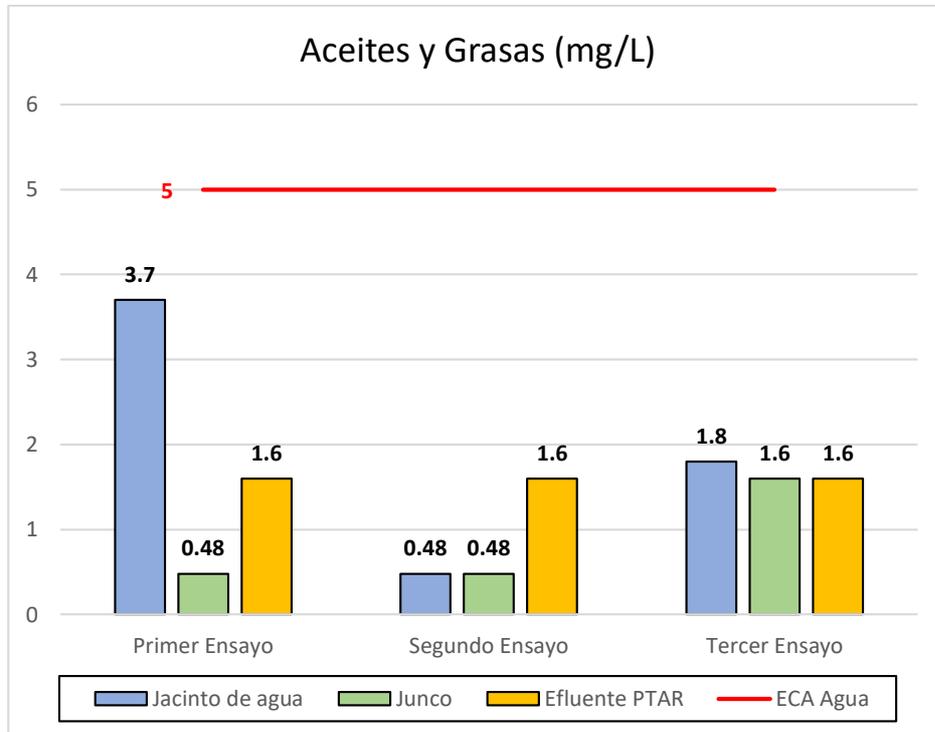
**Resultados de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos
(*Schoenoplectus americanus*)**

Tipo de ensayo	Unidad	Antes del tratamiento con humedales	LMP PTAR	ECA agua cat 3	<i>Schoenoplectus americanus</i>		
					Ensayo 1 16/07/2021	Ensayo 2 19/07/2021	Ensayo 3 21/07/2021
Aceites y grasas	mg/L	1,6	20	5	0,48	0,48	1,6
Coliformes Fecales (Termotolerantes)	NMP/100mL	170 000,0	10000	1000	130000	14000	49000
DBO ₅	mg/L	29,9	100	15	33,2	42,3	16,8
DQO	mg/L	60	200	40	101,6	77,8	74,4
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	NMP/100mL	22 000,0	-	1000	23000	2800	49000
Huevos de helminfos	Huevo/L	2,0	-	1	<1	<1	<1
SST	mg /L	6	150	-	52	16	18
Detergentes	mg MBAS/L	-	-	0,2	<0,025	<0,025	<0,025

a) Aceites y grasas. En el caso de los aceites y grasas se obtuvo una concentración inicial del efluente PTAR de 1,6 mg/L, para el caso del *Eichhornia crassipes* las concentraciones variaron superando a 3,7 mg/L para el primer ensayo para luego disminuir a 0,48 mg/L en el segundo ensayo y finalizar con 1,8 mg/L para el tercer ensayo mientras que con el *Schoenoplectus americanus* las concentraciones de este parámetro son menores o iguales a la concentración base siendo en el caso del primer ensayo de 0,48 mg/L, para el segundo ensayo de 0,48 mg/L y para el tercer ensayo de 1,6 mg/L. En ambos tratamientos la concentración se mantuvo por debajo de 5 mg/L (ECA agua categoría 3). Figura 24.

Figura 24.

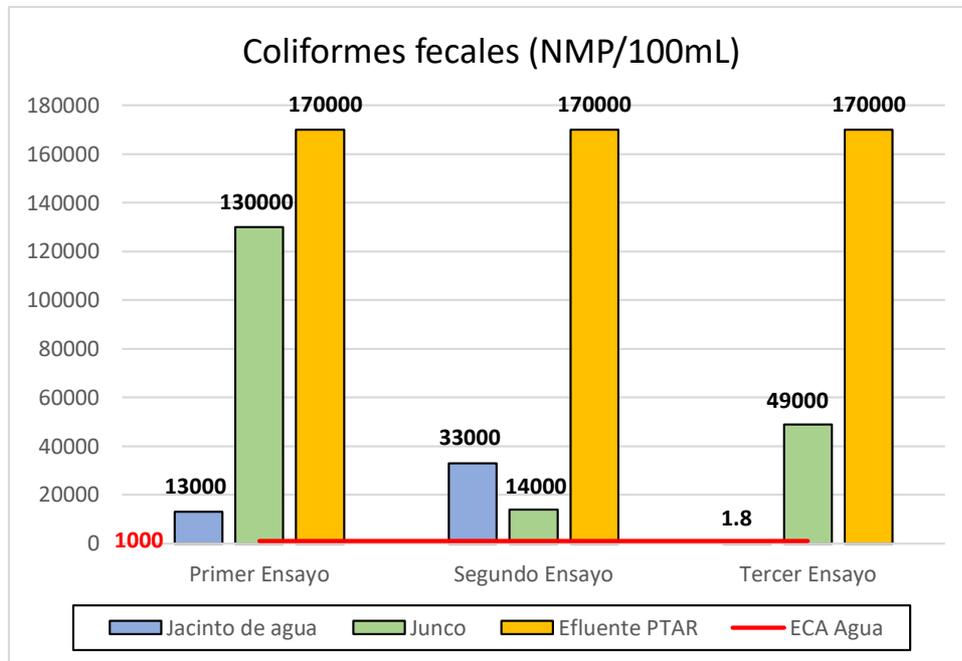
Comparación de aceites y grasas en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*



b) Coliformes fecales. La concentración inicial del efluente PTAR de coliformes fecales fue de 170 000 NMP/100mL los cuales se redujeron a medida que avanzaba el tratamiento, para el caso del *Eichhornia crassipes* observamos que en el primer ensayo se redujo a 13 000 NMP/100mL seguido por un incremento de este llegando a 33 000 NMP/100mL para finalmente reducirse a 1,8 NMP/100mL mientras que en el tratamiento con el *Schoenoplectus americanus* notamos que en el primer ensayo se redujo a 130 000 NMP/100mL, en el segundo ensayo notamos una disminución moderada llegando a 14 000 NMP/100mL para finalizar con el tercer ensayo con un aumento a 49 000 NMP/100mL. En ambos casos se supera la categoría 3 del ECA agua categoría 3. Figura 25.

Figura 25.

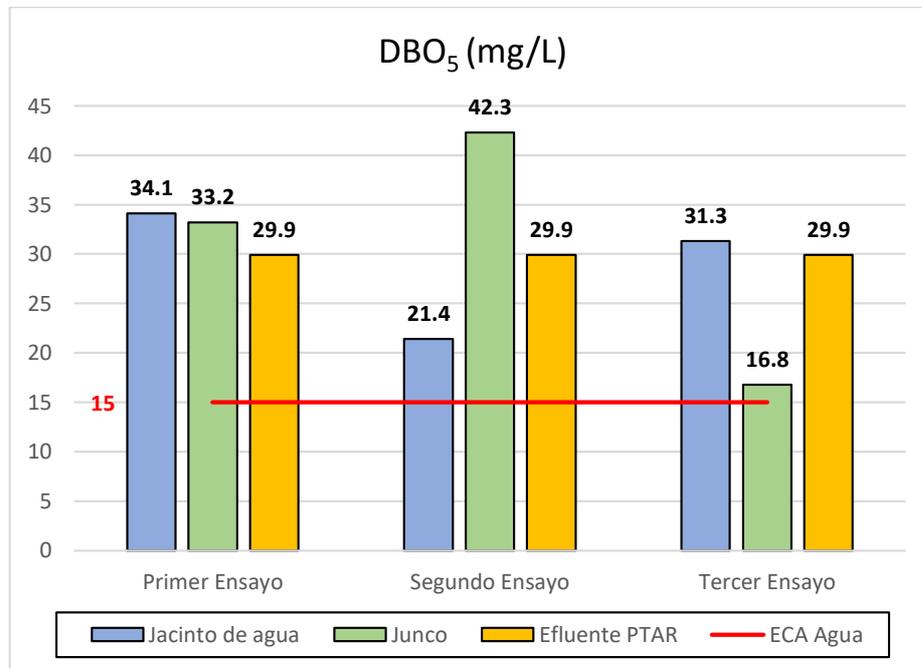
Comparación de coliformes fecales según el tratamiento



c) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). En el caso del DBO₅ la concentración inicial del efluente PTAR fue de 29,9 mg/L, en el caso del *Eichhornia crassipes* las concentraciones en los tratamientos no variaron en gran cantidad respecto a la concentración base teniéndose un leve aumento a 34,1 mg/L en el primer ensayo, seguido por una disminución a 21,4 mg/L para finalizar con 31,3 mg/L en el tercer ensayo mientras que en el caso del *Schoenoplectus americanus* la concentración de este parámetro varió en los tratamientos siendo de 33,2 mg/L en el primer ensayo, 42,3 mg/L para el segundo ensayo y 16,8 mg/L para el tercer ensayo. En ambos tratamientos se supera el límite de DBO₅ de 15 mgDBO₅/L del ECA Agua categoría 3. Figura 26.

Figura 26.

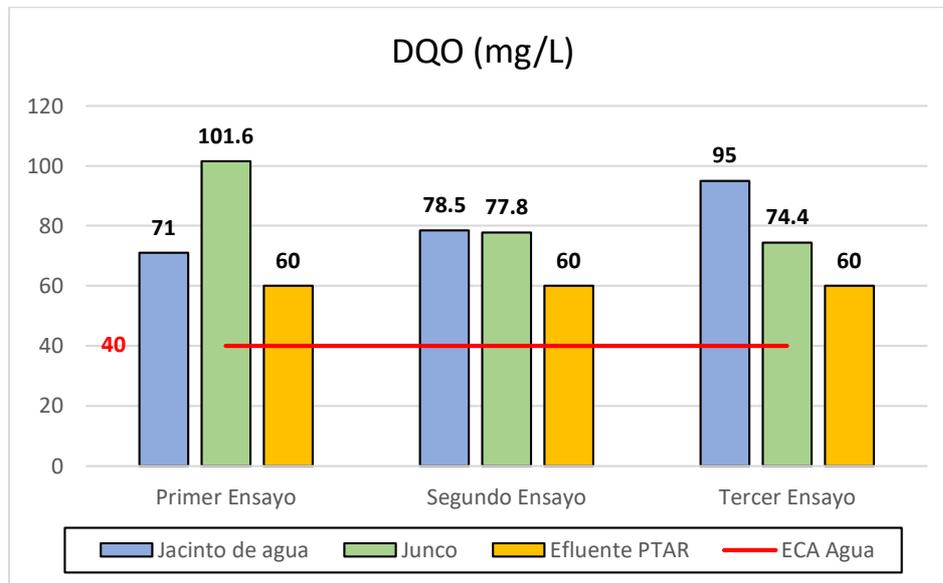
Comparación de DBO₅ en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*



d) **Demanda química de oxígeno (DQO).** Para el caso del DQO la concentración inicial del efluente PTAR fue de 60 mg/L, en el caso del *Eichhornia crassipes* hubo un incremento de este en los tres ensayos que van de 71 mg/L para el primer ensayo, seguido de 78,5 mg/L para el segundo ensayo y finalizar con 95 mg/L en el tercer ensayo por otro lado en los tratamientos con *Schoenoplectus americanus* notamos que la concentración del DQO fue de 101,6 mg/L en el primer ensayo, 77,8 mg/L para el segundo ensayo y finalizando con 74,4 mg/L para el tercer ensayo en ambos casos las concentraciones de DQO fueron mayores que la concentración del efluente inicial y superan los 40 mg/L del ECA Agua categoría 3. Figura 27.

Figura 27.

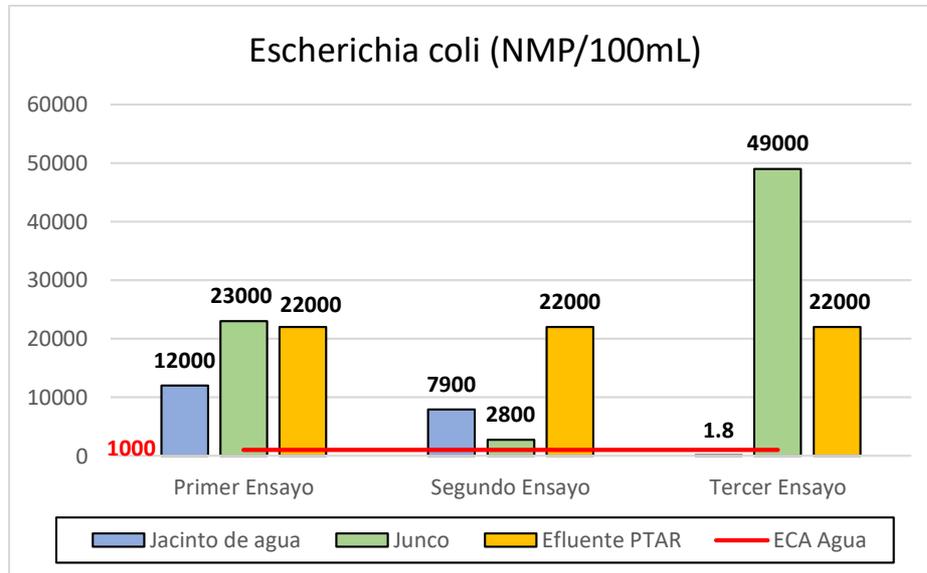
Comparación de DQO en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*



e) **Escherichia coli.** En el caso de la *Escherichia coli* la concentración inicial fue de 22 000 NMP/100mL, en el caso del *Eichhornia crassipes* hubo una disminución progresiva notamos que en el primer ensayo la concentración fue de 12 000 NMP/100mL, para el segundo ensayo la concentración fue de 7 900 NMP/100mL, finalizando con 1,8 NMP/100mL para el tercer ensayo, mientras que en el tratamiento con el *Schoenoplectus americanus* la concentración del primer ensayo ascendió a 23 000 NMP/100mL, para el segundo disminuyó a 2 800 NMP/100mL y para el tercer ensayo supero sustancialmente a la concentración inicial llegando a 49 000 NMP/100mL. En todos los casos excepto en el tercer ensayo con *Eichhornia crassipes* se supera la concentración del ECA Agua categoría 3 que es de 1 000 NMP/100mL. Figura 28.

Figura 28.

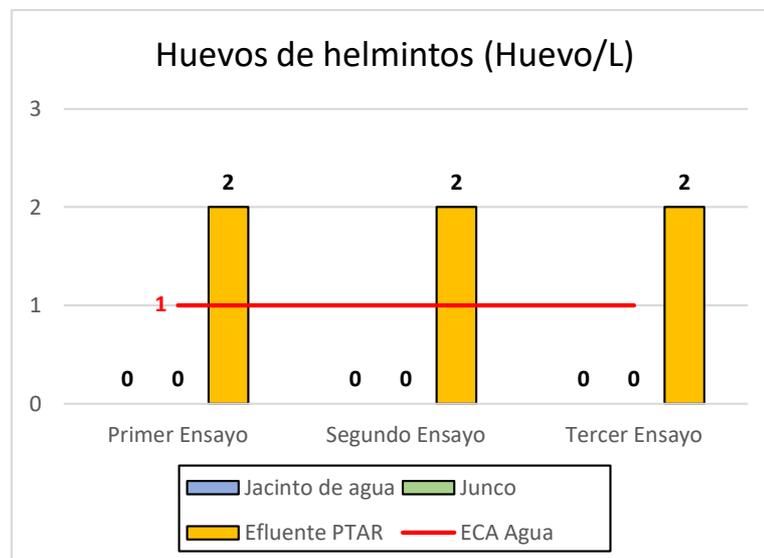
Comparación de *Escherichia coli* en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*



f) **Huevos de helmintos.** Para el caso de los huevos de helmintos la concentración inicial del efluente PTAR fue de 2 Huevo/L pero observamos que en los ensayos con los dos tipos de tratamiento no se encontró algún huevo de helminto. Figura 29.

Figura 29.

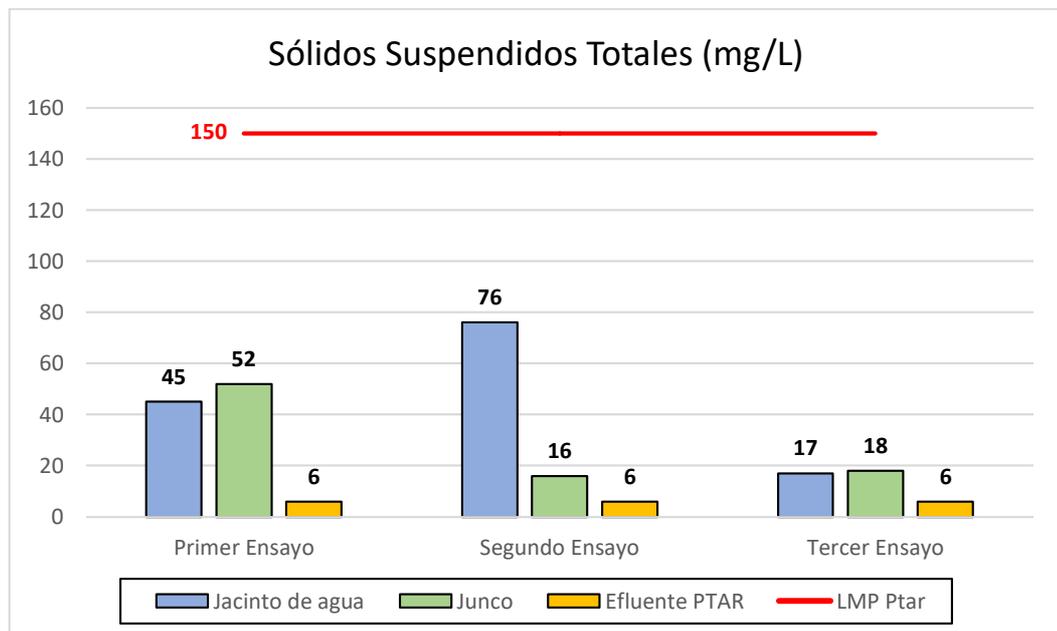
Comparación de huevos de helmintos en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*



g) Sólidos Suspendidos Totales. En los sólidos suspendidos totales la concentración inicial del efluente PTAR fue de 6 mg/L, para el caso de *Eichhornia crassipes* este aumento notoriamente en los 3 ensayos siguientes variando desde 45 para el primero, 76 mg/L para el segundo y terminar con 17 mg/L para el tercer ensayo, para el caso del *Schoenoplectus americanus* las concentraciones fueron de 52 mg/L para el primer ensayo, prosiguiendo a 16 mg/L para el segundo ensayo y terminando con 18 mg/L para el tercer ensayo. En ambos tratamientos se mantuvo por debajo del 150 mg/L que corresponde al LMP PTAR. Figura 30

Figura 30.

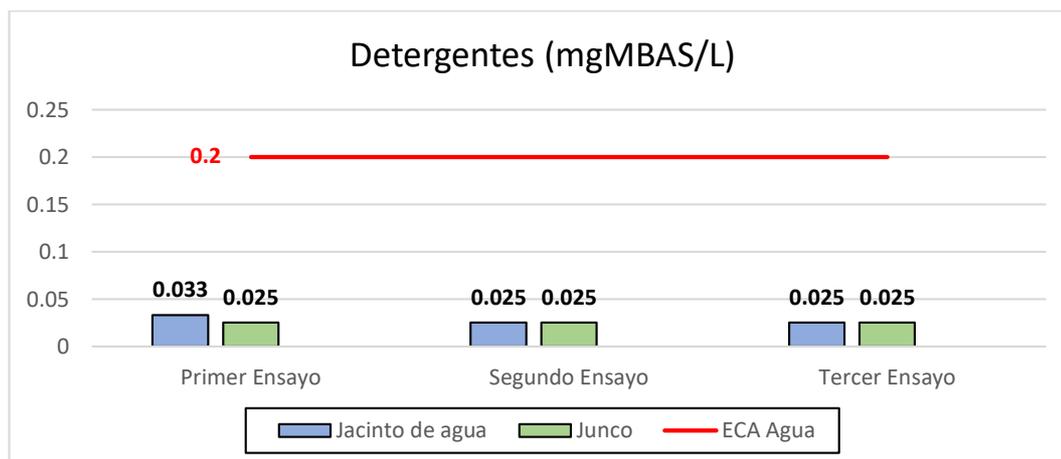
Comparación de Sólidos Suspendidos Totales en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus



h) **Detergentes.** Para el caso de los detergentes en ambos tratamientos. Figura 31.

Figura 31.

Comparación de detergentes en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) y *Schoenoplectus americanus* (junco)



En los 3 ensayos respecto a cada uno, no superan la concentración de 0,2 mg MBAS/L del ECA agua categoría 3, en todos los ensayos excepto el primer ensayo de *Eichhornia crassipes* que fue de 0,033 mg MBAS/L son de 0,025 mg MBAS/L.

5.1.2. Análisis de biomasa

Se muestran los resultados de los análisis, de cada una de las tres pruebas realizadas para cada tipo de plantas. Tabla 12.

Tabla 12.

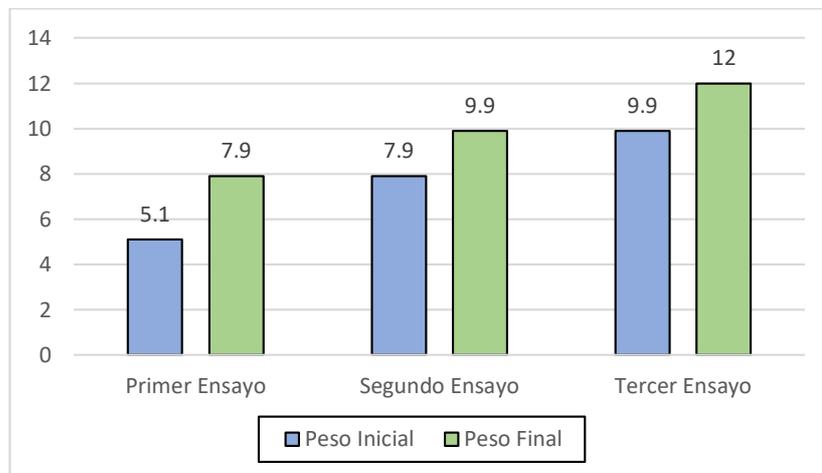
Peso (kg) y cantidades (unid) de especies usadas en cada ensayo

N° Ensayo	Especie							
	<i>Eichhornia crassipes</i>				<i>Schoenoplectus americanus</i>			
	Inicio		Final		Inicio		Final	
	Peso (kg)	Cantida d (Unid)	Peso (kg)	Cantida d (Unid)	Peso (kg)	Cantida d (Unid)	Peso (kg)	Cantida d (Unid)
E1	5,1	30	7,9	50	9,5	300	-	300
E2	7,9	50	9,9	75	-	300	-	280
E3	9,9	75	12	110	-	280	8,9	220

a) **Variación en peso del *Eichhornia crassipes*.** Observamos que el peso del *Eichhornia crassipes* aumenta según van avanzando los tratamientos comenzando con 5,1 Kg al inicio del tratamiento y finalizando con 12 Kg al finalizar el tratamiento siendo de 6,9 Kg el aumento en peso. Figura 32.

Figura 32.

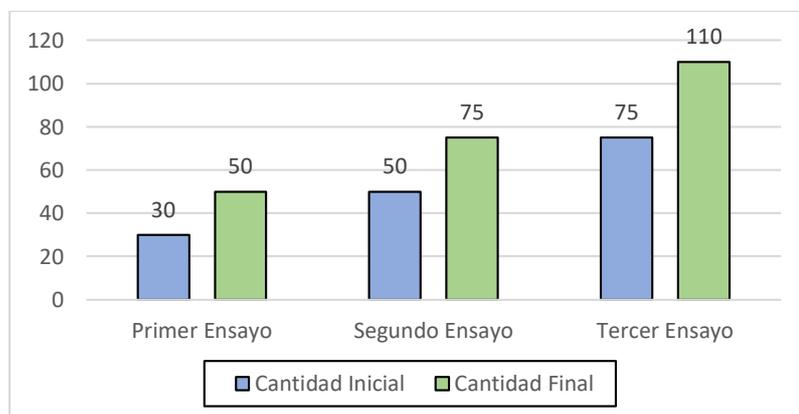
Variación en peso (kg) del *Eichhornia crassipes*



b) **Variación del número de plantas de *Eichhornia crassipes*.** Notamos que la cantidad de *Eichhornia crassipes* aumenta mientras más tratamientos realizamos, comenzando con 30 plantas al inicio del tratamiento y finalizando con 110 al finalizar el tratamiento siendo de 80 el aumento en cantidad de plantas. Figura 33.

Figura 33.

Variación en unidades de plantas del *Eichhornia crassipes*

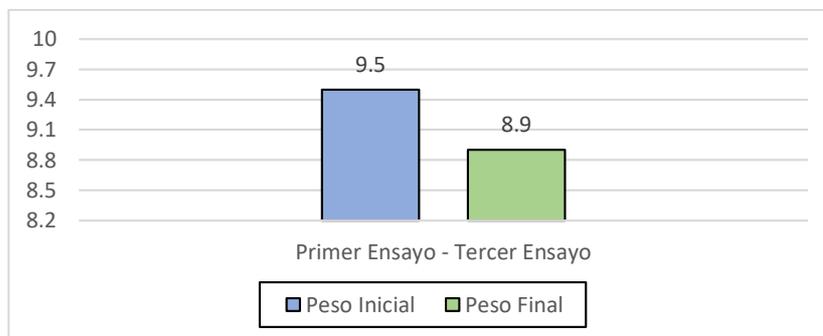


c) Variación en peso del *Schoenoplectus americanus*.

Observamos que el peso del *Schoenoplectus americanus* disminuye según van avanzando los tratamientos comenzando con 9,5 Kg al inicio del tratamiento y finalizando con 8,9 Kg al finalizar el tratamiento siendo de 0,6 Kg la disminución en peso. Figura 34.

Figura 34.

Variación en peso (kg) del *Schoenoplectus americanus*.

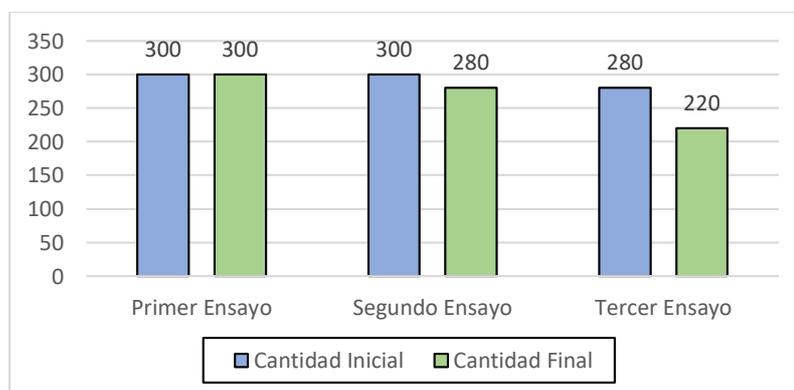


d) Variación en cantidad de plantas del *Schoenoplectus americanus*.

Notamos que la cantidad de *Schoenoplectus americanus* disminuye mientras más tratamientos realizamos, comenzando con 300 plantas al inicio del tratamiento y finalizando con 220 al finalizar el tratamiento siendo de 80 la disminución en cantidad de plantas. Figura 35.

Figura 35.

Variación en unidades de plantas del *Schoenoplectus americanus*.



5.1.3. Encuestas

a) **Resultados de encuesta a la pregunta 1.** ¿Cuánto tiempo tiene laborando en este lugar (meses)? Figura 36.

Figura 36.

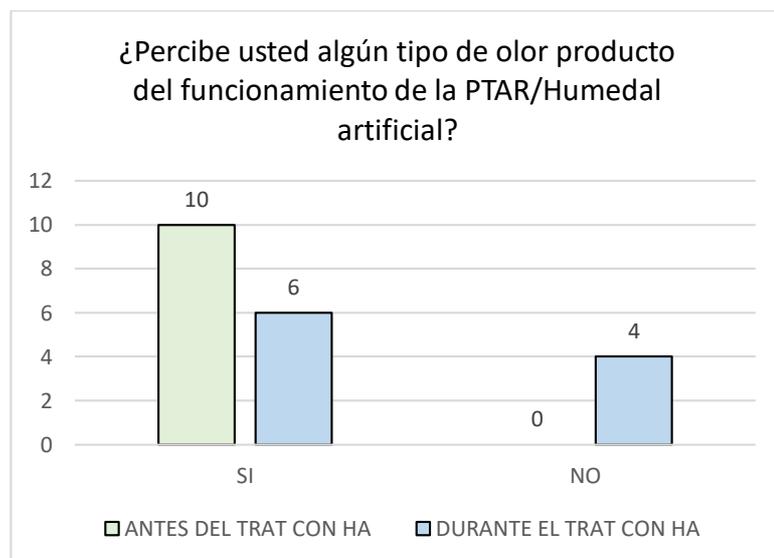
Resultados de encuesta a la pregunta 1



b) **Resultados de encuesta a la pregunta 2.** ¿Percibe usted algún tipo de olor producto del funcionamiento de la PTAR/Humedal artificial? Figura 37.

Figura 37.

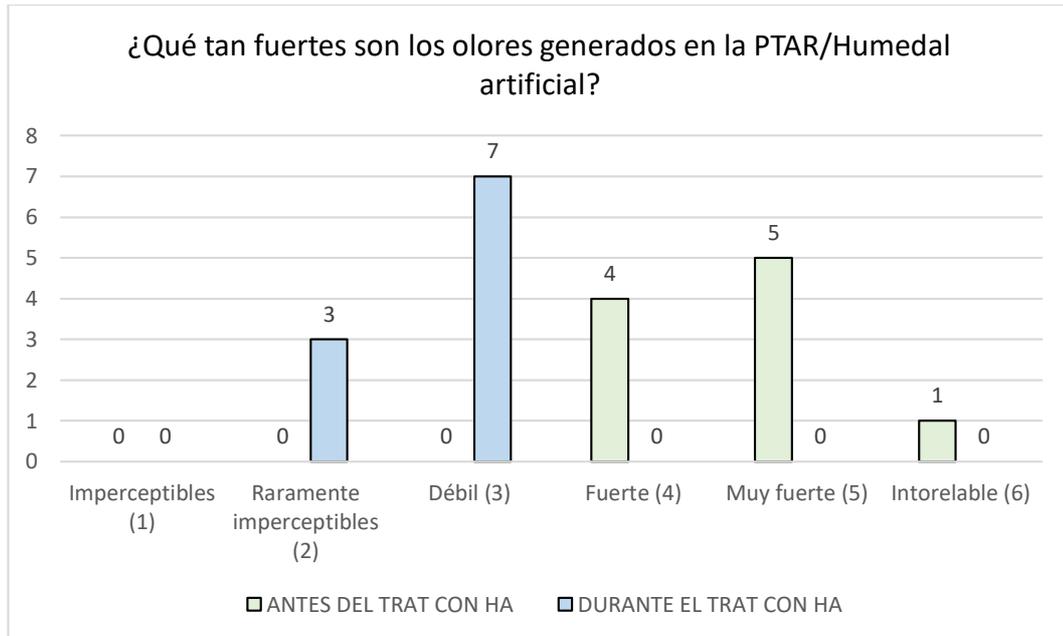
Resultados de encuesta a la pregunta 2



c) **Resultados de encuesta a la pregunta 3.** ¿Qué tan fuertes son los olores generados en la PTAR/Humedal artificial? Figura 38.

Figura 38.

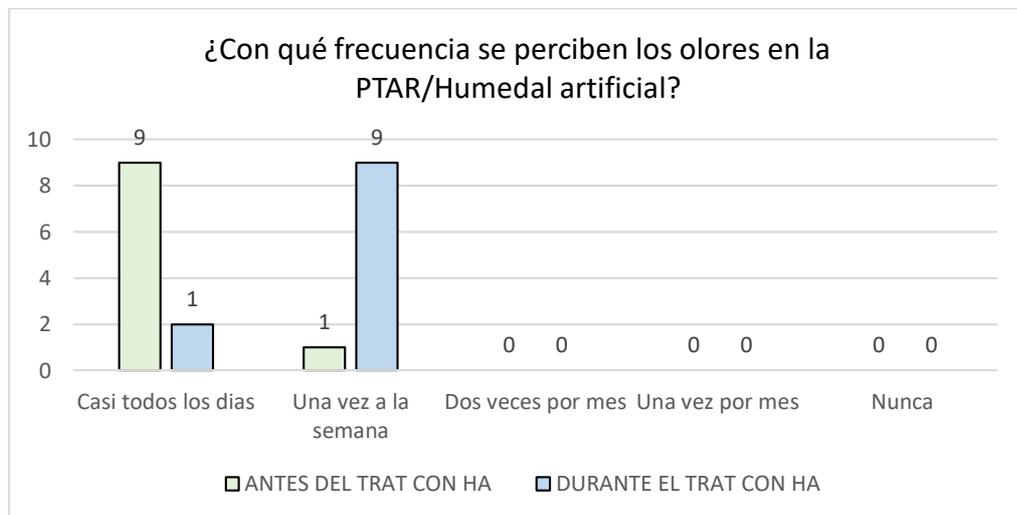
Resultados de encuesta a la pregunta 3



d) **Resultados de encuesta a la pregunta 4.** ¿Con qué frecuencia se perciben los olores en la PTAR/Humedal artificial? Figura 39.

Figura 39.

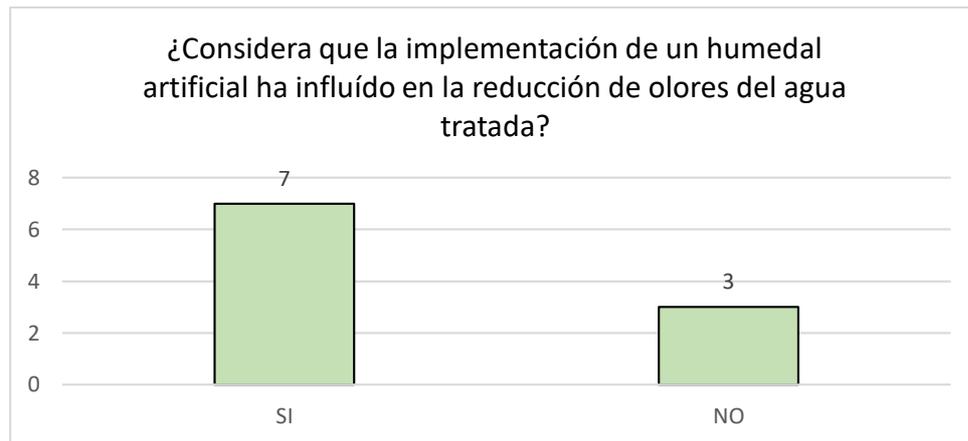
Resultados de encuesta a la pregunta 4



e) **Resultados de encuesta a la pregunta 5.** ¿Considera que la implementación de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales ha influido en la disminución de olores del efluente? Figura 40.

Figura 40.

Resultados de encuesta a la pregunta 5



- De acuerdo a los resultados de la encuesta realizada a los trabajadores de la PTAR Juan Velasco Alvarado, se observa que antes del tratamiento con humedales artificiales el 100% de encuestados percibieron algún tipo de olor producto del tratamiento en la planta, sin embargo, durante el tratamiento con humedales artificiales, el porcentaje de percepción de olores de los encuestados se redujo en un 40%. También se observó que los niveles de percepción de olores de los encuestados antes del tratamiento con humedales se distribuían en rangos desde intolerables (10%), muy fuertes (50%) y fuertes (40%). Mientras que después del tratamiento con humedales artificiales los niveles de percepción de olores de los encuestados se distribuían desde débil (70%) y raramente imperceptible (30%). Finalmente, se observa que el 70% de encuestados indicó que la implementación de humedales artificiales ha influido en la reducción de olores del agua tratada, por lo que se observa que este tratamiento ha demostrado tener un nivel significativo de efectividad para la minimización de malos olores de aguas residuales.

5.2. Resultados Inferenciales

5.2.1. Eficiencia de la fitoremediación por *Eichhornia crassipes* de las aguas residuales con *E. coli* y coliformes fecales

Para obtener la eficiencia en el proceso de fitoremediación con *Eichhornia crassipes* de las aguas residuales provenientes de la PTAR Juan Velasco Alvarado se calculó con el porcentaje de la reducción de la concentración de *E. coli* y coliformes fecales entre la concentración del efluente PTAR y la concentración final en el tratamiento. Tabla 13 y tabla 14.

$$\text{Eficiencia en el tratamiento con } Eichhornia \text{ crassipes} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Dónde:

Ci: concentración del inicial efluente PTAR de *E. coli* o coliformes fecales.

Cf: concentración final del tratamiento de *E. coli* o coliformes fecales.

Tabla 13.

Concentración de *E. coli* y coliformes fecales en el tratamiento

Parámetro	Concentración del efluente PTAR	1er Ensayo (17/04/2021)	2do Ensayo (14/07/2021)	3er Ensayo (10/07/2021)
<i>E. coli</i> (NMP/100ML)	22 000	12 000	7 900	2
Coliformes fecales (NMP/100ML)	170 000	13 000	33 000	2

Tabla 14.

Porcentaje de reducción de *E. coli* y coliformes fecales en el tratamiento

Parámetro	1er Ensayo (17/04/2021)	2do Ensayo (14/07/2021)	3er Ensayo (10/07/2021)
<i>E. coli</i> (NMP/100ML)	45,45%	64,09%	99,99%
Coliformes fecales (NMP/100ML)	92,35%	80,59%	100,00%

5.2.2. Eficiencia de la fitoremediación por *Schoenoplectus americanus* de las aguas residuales con *E. coli* y coliformes fecales

Para obtener la eficiencia en el proceso de fitoremediación con *Schoenoplectus americanus* de las aguas residuales provenientes de la PTAR Juan Velasco Alvarado se calculó con el porcentaje de la reducción de la concentración de *E. coli* y coliformes fecales entre la concentración del efluente PTAR y la concentración final en el tratamiento. Tabla 15 y tabla 16.

$$\text{Eficiencia en el tratamiento con } \textit{Schoenoplectus americanus} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100\%$$

Dónde:

Ci: concentración del inicial efluente PTAR de *E. coli* o coliformes fecales.

Cf: concentración final del tratamiento de *E. coli* o coliformes fecales.

Tabla 15.**Concentración de *E. coli* y coliformes fecales en el tratamiento**

Parámetro	Concentración del efluente PTAR	1er Ensayo (16/07/2021)	2do Ensayo (19/07/2021)	3er Ensayo (21/07/2021)
<i>E. coli</i> (NMP/100ML)	22 000	23 000	2 800	49 000
Coliformes fecales (NMP/100ML)	170 000	130 000	14 000	49 000

Tabla 16.**Porcentaje de reducción de *E. coli* y coliformes fecales en el tratamiento**

	1er Ensayo (16/07/2021)	2do Ensayo (19/07/2021)	3er Ensayo (21/07/2021)
<i>E. coli</i> (NMP/100ML)	-4,55%	87,27%	-122,73%
Coliformes fecales (NMP/100ML)	23,53%	91,76%	71,18%

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Contrastación de la hipótesis

6.1.1. Prueba de normalidad para los parámetros de *E. coli* y Coliformes fecales en las especies de *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*

Empleamos la prueba de normalidad para notar si los datos de concentración de los tratamientos de *E. coli* y coliformes fecales con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* están normalmente distribuidos, para esto se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza de 95% debido a que cantidades de los datos son menores a 50 muestras.

- **Hipótesis**

Ho₁: Las concentraciones de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus* presenta distribución normal.

Hi₁: Las concentraciones de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus* no presenta distribución normal.

Ho₂: Las concentraciones de coliformes fecales – *Eichhornia crassipes* y coliformes fecales - *Schoenoplectus americanus* presenta distribución normal.

Hi₂: Las concentraciones de coliformes fecales – *Eichhornia crassipes* y coliformes fecales - *Schoenoplectus americanus* no presenta distribución normal.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. \leq 0,05 se rechaza la hipótesis nula Ho y se acepta la hipótesis alternativa Hi.

Si: Sig. $>$ 0,05 se acepta la hipótesis nula Ho.

a) Estadística de prueba de normalidad para el tratamiento de *E. coli* con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*. Los resultados de la prueba de normalidad Shapiro Wilk se obtuvieron mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics 21, mostrando los siguientes resultados. Tabla 17.

Tabla 17.

Prueba de normalidad para las concentraciones con el tratamiento de agua de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus*

	Prueba de Normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
<i>E. coli</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,249	3	.	0,968	3	0,655
<i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,200	3	.	0,995	3	0,862

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Fuente: elaboración propia.

- **Criterio de validación de Hipótesis.** Los valores de significancia (Sig.) son mayores del 5% para los tratamientos *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus*, por lo tanto, se acepta la hipótesis Nula (H_0) rechazando la hipótesis alternativa (H_1), concluyendo que las concentraciones de *E. coli* para el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* tienen una distribución normal, por lo que se deberá trabajar con el valor promedio, para contrastar la eficiencia del tratamiento aplicado.

b) Estadística de prueba de normalidad para el tratamiento de coliformes fecales con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*. Los resultados de la prueba de normalidad Shapiro Wilk se obtuvieron mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics 21, mostrando los siguientes resultados. Tabla 18.

Tabla 18.

Prueba de normalidad para las concentraciones con el tratamiento de agua de Coliformes fecales – *Eichhornia crassipes* y Coliformes fecales – *Schoenoplectus americanus*

	Pruebas de normalidad					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Coliformes fecales - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,222	3	.	0,985	3	0,767
Coliformes fecales - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,268	3	.	0,950	3	0,570

a. Corrección de la significación de Lilliefors

- **Criterio de validación de Hipótesis.** Los valores de significancia (Sig.) son mayores del 5% para los tratamientos coliformes fecales – *Eichhornia crassipes* y coliformes fecales - *Schoenoplectus americanus*, por lo tanto, se acepta la hipótesis Nula (H_0) rechazando la hipótesis alternativa (H_1), concluyendo que las concentraciones de coliformes fecales para el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* tienen una distribución normal, por lo que se deberá trabajar con el valor promedio, para contrastar la eficiencia del tratamiento aplicado.

c) Resumen de Prueba de Normalidad. La prueba de normalidad o Shapiro Wilk ha permitido identificar los valores promedios de las concentraciones de *E. coli* y coliformes fecales de los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*.

6.1.2. Prueba T para una muestra para los parámetros de *E. coli* y Coliformes fecales en las especies de *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*

a) **Estadística de Prueba T para el tratamiento de *E. coli* en las especies de *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*.** Para observar las medias de las concentraciones de *E. coli* del tratamiento

con el *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* se hallaron primero los datos estadísticos para una muestra. Para verificar si las medias tienen una diferencia significativa se aplicó la prueba de prueba T para una muestra con un nivel de confianza de 95%. Tabla 19 y tabla 20.

- **Hipótesis**

Ho₁: La media de las concentraciones de *E. coli* del tratamiento con el *Eichhornia crassipes* no presenta diferencia significativa con el valor de 22 000 NMP/100mL.

Hi₁: La media de las concentraciones de *E. coli* del tratamiento con el *Eichhornia crassipes* presenta diferencia significativa con el valor de 22 000 NMP/100mL.

Ho₂: La media de las concentraciones de *E. coli* del tratamiento con *Schoenoplectus americanus* no presenta diferencia significativa con el valor de 22 000 NMP/100mL.

Hi₂: La media de las concentraciones de *E. coli* del tratamiento con *Schoenoplectus americanus* presenta diferencia significativa con el valor de 22 000 NMP/100mL.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. \leq 0,05 se rechaza la hipótesis Ho y se acepta la hipótesis alternativa Hi.

Si: Sig. $>$ 0,05, entonces se acepta la hipótesis Ho.

Tabla 19.

Estadísticas para las concentraciones de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus*

Estadísticos para una muestra				
	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
<i>E. coli</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	3	6 634	6 098,36601	3 520,89326
<i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i>	3	24 933,3333	23 160,59873	13 371,77791

Tabla 20.

Prueba T para una muestra para las concentraciones de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* y *E. coli* - *Schoenoplectus americanus*

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 22000						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
				Inferior	Superior	
<i>E. coli</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	-4,364	2	0,049	-15 366	-30 515,1810	-216,8190
<i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,219	2	0,847	2 933,33333	-54 600,7834	60 467,4501

Fuente: Elaboración propia.

- **Criterio de validación de Hipótesis.** Los valores de significancia son menores del 5% para el tratamiento de *E. coli* – *Eichhornia crassipes* por lo que se rechaza la H_{01} y se acepta la H_{i1} concluyendo que la media de las concentraciones de coliformes fecales y el valor de 22 000 NMP/100mL presentan diferencia significativa mientras que para el tratamiento de *E. coli* – *Schoenoplectus americanus* los valores de significancia son menores del 5% por lo que se acepta la H_{02} y se rechaza la H_{i2} concluyendo que la media de las concentraciones de coliformes fecales y el valor de 22 000 NMP/100mL no presentan diferencia significativa.

b) Prueba T para una muestra en el tratamiento de coliformes fecales en las especies de *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*. Para observar si las medias de las concentraciones de coliformes fecales del tratamiento con el *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* se hallaron primero los datos estadísticos para una muestra. Para verificar si las medias tienen una diferencia significativa se aplicó la prueba de prueba T para una muestra con un nivel de confianza de 95%. Tabla 21 y tabla 22.

- **Hipótesis**

Ho₁: La media de las concentraciones de coliformes fecales del tratamiento con el *Eichhornia crassipes* no presenta diferencia significativa con el valor de 170 000 NMP/100mL.

Hi₁: La media de las concentraciones de coliformes fecales del tratamiento con el *Eichhornia crassipes* presenta diferencia significativa con el valor de 170 000 NMP/100mL.

Ho₂: La media de las concentraciones de coliformes fecales del tratamiento con *Schoenoplectus americanus* no presenta diferencia significativa con el valor de 170 000 NMP/100mL.

Hi₂: La media de las concentraciones de coliformes fecales del tratamiento con *Schoenoplectus americanus* presenta diferencia significativa con el valor de 170 000 NMP/100mL.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. \leq 0,05 se rechaza la Hipótesis Ho y se acepta la hipótesis alternativa Hi.

Si: Sig. $>$ 0,05, entonces se acepta la Hipótesis Ho.

Tabla 21.

Estadísticas para las concentraciones de Coliformes fecales en el tratamiento con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus

Estadísticos para una muestra				
	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
Coliformes fecales - <i>Eichhornia crassipes</i>	3	15 334	16 622,35447	9 596,92083
Coliformes fecales - <i>Schoenoplectus americanus</i>	3	64 333,3333	59 500,70028	34 352,74532

Tabla 22.

Prueba T para muestras una muestra para las concentraciones de coliformes fecales en el tratamiento con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*

Prueba para una muestra						
Valor de prueba = 170 000						
t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	95% Intervalo de confianza para la diferencia		
				Inferior	Superior	
Coliformes fecales - <i>Eichhornia crassipes</i>	-16,116	2	0,004	-154 666	-195 958,218	-113 373,782
Coliformes fecales - <i>Schoenoplectus americanus</i>	-3,076	2	0,091	-105 666,66667	-25 3474,600	42 141,2668

- **Criterio de validación de Hipótesis.** Los valores de significancia son menores del 5% para el tratamiento de coliformes fecales – *Eichhornia crassipes* por lo que se rechaza la H_{01} y se acepta la H_{i1} concluyendo que la media de las concentraciones de coliformes fecales y el valor de 170 000 NMP/100mL presentan diferencia significativa mientras que para el tratamiento de coliformes fecales – *Schoenoplectus americanus* los valores de significancia son menores del 5% por lo que se acepta la H_{02} y se rechaza la H_{i2} concluyendo que la media de las concentraciones de coliformes fecales y el valor de 170 000 NMP/100mL no presentan diferencia significativa.

6.1.3. Correlación de Pearson para todos parámetros evaluados con las especies de *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*

a) **Prueba de Normalidad.** Empleamos la prueba de normalidad para notar si los datos de concentración de los parámetros con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus* están normalmente distribuidos, para esto se aplicó la prueba de Shapiro Wilk con un nivel de confianza de 95% debido a que cantidades de los datos son menores a 50 muestras.

- **Hipótesis**

Ho: Las concentraciones del parámetro presenta distribución normal.

Hi: Las concentraciones del parámetro no presenta distribución normal.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. \leq 0,05 se rechaza la hipótesis nula Ho y se acepta la hipótesis alternativa Hi.

Si: Sig. $>$ 0,05 se acepta la hipótesis nula Ho.

- **Estadística de prueba de normalidad para los parámetros en los tratamientos con *Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus***

Los resultados de la prueba de normalidad Shapiro Wilk se obtuvieron mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics 21, mostrando los siguientes resultados. Tabla 23.

Tabla 23.

Prueba de normalidad para los parámetros aceites y grasas, coliformes fecales, DBO₅, DQO, E. coli, SST, huevos de helmintos y detergentes para los tratamientos con Eichhornia crassipes y Schoenoplectus americanus.

	Pruebas de normalidad ^{b,c,d}					
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Aceites y grasas - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,214	3	.	0,989	3	0,802
Aceites y grasas - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,385	3	.	0,750	3	0,000
Coliformes fecales - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,222	3	.	0,985	3	0,767
Coliformes fecales - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,268	3	.	0,950	3	0,570
DBO ₅ - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,305	3	.	0,906	3	0,404
DBO ₅ - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,241	3	.	0,973	3	0,687
DQO - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,263	3	.	0,955	3	0,593
DQO - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,176	3	.	0,842	3	0,220
<i>E. coli</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,249	3	.	0,968	3	0,655
<i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,200	3	.	0,995	3	0,862
SST - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,180	3	.	0,999	3	0,944
SST - <i>Schoenoplectus americanus</i>	0,368	3	.	0,792	3	0,094
Detergentes - <i>Eichhornia crassipes</i>	0,385	3	.	0,750	3	0,000

a. Corrección de la significación de Lilliefors

b. Huevos de helmintos - *Eichhornia crassipes* es una constante y se ha desestimado.

c. Huevos de helmintos - *Schoenoplectus americanus* es una constante y se ha desestimado.

d. Detergentes - *Schoenoplectus americanus* es una constante y se ha desestimado.

- **Criterio de validación de Hipótesis.** Los valores de significancia (Sig.) son mayores del 5% para los tratamientos Aceites y grasas (*Eichhornia crassipes*), coliformes fecales (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*), DBO₅ (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*), DQO (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*), *E. coli* (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*) y SST (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*) aceptando la hipótesis nula Ho, en el caso de los parámetros Aceites y grasas (*Schoenoplectus americanus*), detergentes (*Eichhornia crassipes*) los valores de significancia son menores del 5% rechazando la hipótesis nula Ho, para el caso de los huevos de helmintos (*Eichhornia crassipes* y *Schoenoplectus americanus*) y detergentes (*Schoenoplectus americanus*) no entra en el análisis de prueba de normalidad debido a que estos parámetros se comportan como una constante. Por lo tanto, la correlación de Pearson se trabajará con aquellos parámetros que cumplan con una distribución normal (que cumplan con la hipótesis nula Ho).

b) Correlación de Pearson para el tratamiento con *Eichhornia crassipes*. Se realizó una correlación de Pearson para los parámetros aceites y grasas, coliformes fecales, DBO₅, DQO, *E. coli* y SST debido a que presentan una distribución normal, la evaluación de la significancia (Sig.) será de 95%. Tabla 24.

- **Hipótesis**

Ho: No existe correlación significativa (95%) entre las dos variables.

Hi: Existe correlación significativa (95%) entre las dos variables.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. \leq 0,05 se rechaza la hipótesis nula Ho y se acepta la hipótesis alternativa Hi.

Si: Sig. $>$ 0,05 se acepta la hipótesis nula Ho.

Tabla 24.

Correlación de Pearson para los parámetros aceites y grasas, coliformes, DBO₅, DQO, E. coli, SST, para el tratamiento con *Eichhornia crassipes*.

		Correlaciones					
		Aceites y grasas - <i>Eichhornia crassipes</i>	Coliformes fecales - <i>Eichhornia crassipes</i>	DBO ₅ - <i>Eichhornia crassipes</i>	DQO - <i>Eichhornia crassipes</i>	<i>E. coli</i> - <i>Eichhornia crassipes</i>	SST - <i>Eichhornia crassipes</i>
Aceites y grasas	Correlación de Pearson	1	-0,516	0,915	-0,402	0,432	-0,434
	Sig. (bilateral)		0,655	0,265	0,736	0,716	0,714
	N	3	3	3	3	3	3
Coliformes fecales	Correlación de Pearson	-0,516	1	-0,818	-0,577	0,550	0,996
	Sig. (bilateral)	0,655		0,390	0,609	0,629	0,059
	N	3	3	3	3	3	3
DBO ₅	Correlación de Pearson	0,915	-0,818	1	0,002	0,031	-0,761
	Sig. (bilateral)	0,265	0,390		0,999	0,981	0,449
	N	3	3	3	3	3	3
DQO	Correlación de Pearson	-0,402	-0,577	0,002	1	-0,999*	-0,650
	Sig. (bilateral)	0,736	0,609	0,999		0,021	0,550
	N	3	3	3	3	3	3
<i>E. coli</i>	Correlación de Pearson	0,432	0,550	0,031	-0,999*	1	0,625
	Sig. (bilateral)	0,716	0,629	0,981	0,021		0,570
	N	3	3	3	3	3	3
SST	Correlación de Pearson	-0,434	0,996	-0,761	-0,650	0,625	1
	Sig. (bilateral)	0,714	0,059	0,449	0,550	0,570	
	N	3	3	3	3	3	3

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

- **Criterio de validación de Hipótesis** Los valores de significancia (Sig.) son mayores del 5% para todos los parámetros del tratamiento con *Eichhornia crassipes* aceptando la hipótesis nula (H_0) quedando claro que no existe interrelación entre todos los parámetros desde el punto de vista estadístico.

c) **Correlación de Pearson para el tratamiento con *Schoenoplectus americanus*.** Se realizó una correlación de Pearson para los parámetros coliformes fecales, DBO_5 , DQO, *E. coli* y SST debido a que presentan una distribución normal, la evaluación de la significancia (Sig.) será de 95%. Tabla 25.

- **Hipótesis**

H_0 : No existe correlación significativa (95%) entre las dos variables.

H_1 : Existe correlación significativa (95%) entre las dos variables.

- **Rangos de validación de Hipótesis**

Si: Sig. $\leq 0,05$ se rechaza la hipótesis nula H_0 y se acepta la hipótesis alternativa H_1 .

Si: Sig. $> 0,05$ se acepta la hipótesis nula H_0 .

Tabla 25.

Correlación de Pearson para los parámetros coliformes, DBO₅, DQO, E. coli, SST, para el tratamiento con *Schoenoplectus americanus*.

		Correlaciones				
		Coliformes fecales - <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	DBO ₅ - <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	DQO - <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	<i>E. coli</i> - <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>	SST - <i>Schoenoplectus</i> <i>americanus</i>
Coliformes fecales	Correlación de Pearson	1	-0,134	0,916	0,224	0,969
	Sig. (bilateral)		0,914	0,263	0,856	0,159
	N	3	3	3	3	3
DBO ₅	Correlación de Pearson	-0,134	1	0,275	-0,996	0,114
	Sig. (bilateral)	0,914		0,823	0,058	0,927
	N	3	3	3	3	3
DQO	Correlación de Pearson	0,916	0,275	1	-0,186	0,987
	Sig. (bilateral)	0,263	0,823		0,881	0,105
	N	3	3	3	3	3
<i>E. coli</i>	Correlación de Pearson	0,224	-0,996	-0,186	1	-0,023
	Sig. (bilateral)	0,856	0,058	0,881		0,985
	N	3	3	3	3	3
SST	Correlación de Pearson	0,969	0,114	0,987	-0,023	1
	Sig. (bilateral)	0,159	0,927	0,105	0,985	
	N	3	3	3	3	3

*. La correlación es significativa al nivel 0,05 (bilateral).

- ***Criterio de validación de Hipótesis***

Los valores de significancia (Sig.) son mayores del 5% para todos los parámetros del tratamiento con *Schoenoplectus americanus* aceptando la hipótesis nula (H₀) quedando claro que no existe interrelación entre todos los parámetros desde el punto de vista estadístico.

6.2. Contrastación de los resultados con estudios similares

Se ha contrastado los resultados obtenidos en el presente estudio con la investigación sobre “Eficiencia del Jacinto Acuático (*Eichhornia*

crassipes) para la depuración del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Copallin, provincia de Bagua, Región Amazonas, Rodríguez (2019)".

En dicho estudio se trabajó con un tiempo de retención hidráulica de 28 días en un humedal artificial, haciendo uso de la especie *Eichhornia crassipes* y tomándose muestras de agua cada 7 días de tratamiento a fin de evaluar parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En el estudio en mención se observó un aumento de la biomasa en un promedio de 0,8418 kg durante los 28 días de tratamiento, lo cual demuestra que la especie *Eichhornia crassipes* es una especie muy versátil y de rápido crecimiento. Respecto a los resultados de los análisis de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos, el tratamiento de aguas residuales con *Eichhornia crassipes* resultó ser muy efectivo ya que se observó disminución en las concentraciones de SST (57%), DBO₅ (84%) y DQO (86%), como también se observó la remoción de Coliformes Fecales y *Escherichia coli* en valores que bordean al 100% de remoción de dichos contaminantes.

De esta manera se puede observar que la efectividad del tratamiento con la especie *Eichhornia crassipes* ha sido mayor a la obtenida en algunos de los ensayos realizados en la presente tesis, en lo que refiere a la remoción de Coliformes Totales y *Escherichia coli* cuyo porcentaje de eficiencia se encuentra entre de 45% (1er Ensayo) a 99% (3er Ensayo). Cabe mencionar que en el caso de la presente investigación se ha trabajado con un tiempo de retención hidráulica de 4 días, para un tratamiento con humedales en serie, por lo que se desprende que el tiempo de retención hidráulica es un factor fundamental en el tratamiento de aguas residuales. Sin embargo, sí se observa una relación de resultados en ambos estudios a pesar de haberse trabajado con distintas metodologías entre ambas investigaciones.

Por otro lado, en ambos estudios se evidencia que la *Eichhornia crassipes* es una especie que se adapta fácilmente y es muy eficiente en la

remoción de contaminantes de efluentes pretratados, observándose en ambos estudios un aumento significativo de la biomasa durante el tiempo de tratamiento.

6.3. Responsabilidad ética

Durante el desarrollo de la presente investigación tanto en su fase de gabinete como experimental se cumplieron de forma correcta los protocolos y procedimientos de ingeniería necesarios para la ejecución del proyecto, así como también se respetó el cumplimiento de la normativa nacional vigente relacionada al proyecto en mención.

Finalmente, se deja constancia que no se ha incurrido en algún tipo de plagio ni total o parcial en lo que refiere al contenido de esta investigación.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en la presente investigación se concluye lo siguiente:

- El tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales de flujo superficial con *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua) y subsuperficial con *Schoenoplectus americanus* (junco), ha demostrado ser efectivo para la depuración de las aguas residuales provenientes del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado del distrito de Villa El Salvador, principalmente en la remoción de parámetros microbiológicos, observándose porcentajes de remoción de hasta 99,99% para *Escherichia coli* y hasta 100% para coliformes fecales para el caso del tratamiento con *Eichhornia crassipes*, como también porcentajes de remoción de hasta 87,27% para *Escherichia coli* y hasta 91,76% para coliformes fecales en el tratamiento con *Schoenoplectus americanus*.

- De acuerdo a los análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos realizados al efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado – distrito de Villa El Salvador, se obtuvo los siguientes resultados: Aceites y Grasas (1,6 mg/L), Coliformes fecales (170 000 NMP/100 mL), DBO₅ (29,9 mg/L), DQO (60 mg/L), *Escherichia coli* (22 000 NMP/100 mL), Huevos de helmintos (2,0 Huevos/L) y SST (6 mg/L); de los cuales los valores de parámetros microbiológicos superan lo establecido en los Estándares de Calidad de Agua para riego de áreas verdes, Categoría 3, Subcategoría D1, Riego de vegetales. (Decreto Supremo 004-2017-MINAM), no cumpliendo con la normatividad vigente para riego de áreas verdes.

- En el presente estudio, se ha trabajado con un tiempo de retención hidráulica de 4 días para un sistema de humedales en serie, el mismo que fue elegido a fin de minimizar los tiempos de tratamiento. Sin embargo, se observa que con el tiempo de retención hidráulica utilizado no se han logrado los resultados deseados. De acuerdo a otros estudios, el trabajar con tiempos mayores de tratamiento favorece a que las especies

de plantas se adapten mejor al medio acuático, como también se produce un aumento en la población de las mismas, ayudando así a aumentar la remoción de contaminantes, si bien el tiempo de retención hidráulica usado ha sido calculado a partir de las concentraciones iniciales del efluente y las dimensiones del humedal, hay muchos factores que intervienen en los resultados obtenidos, como son la cantidad de especies usadas y el nivel de adaptación de las mismas, por lo que se concluye que para obtener mejor resultados en el tratamiento se debe trabajar con mayores tiempos de retención hidráulica.

- De acuerdo al estudio realizado se diseñaron 2 sistemas de tratamiento de aguas residuales mediante humedales artificiales en serie (2 humedales en total, de acuerdo a los cálculos), estos sistemas se basaron en la implementación de humedales de flujo superficial y subsuperficial, cuyas dimensiones fueron de 2 metros de largo, 1,5 metros de ancho y 0,8 metros de altura por cada humedal, trabajando con un caudal de 0,5 metros cúbicos diarios.

- Se aplicó el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie *Eichhornia crassipes* (jacinto de agua), observándose que es una especie que se adaptó fácilmente a los efluentes de la PTAR Juan Velasco Alvarado, mostrando un aumento significativo de la biomasa de esta especie durante cada ensayo realizado, generándose un aumento de 6,9 kg desde el primer ensayo; como también se obtuvieron porcentajes de remoción de hasta 99.99% para *Escherichia Coli* y de hasta 100% para Coliformes Fecales.

- Se aplicó el tratamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial con la especie *Schoenoplectus americanus* (junco), la cual no logró adaptarse completamente al medio de estudio, presentando variación en la coloración de las hojas (color amarillento) y reducción de la biomasa durante cada ensayo realizado (reducción de 0.6 kg de biomasa

desde el primer ensayo). Por otro lado, esta especie mostró porcentajes de remoción de entre 23,53% - 91.76% para el caso de Coliformes Fecales, mientras que en el caso de la *Escherichia coli* los resultados son muy variables, presentándose la disminución de dicho parámetro solo en el segundo ensayo (87.27%), por lo que los resultados obtenidos con esta especie son variados y fluctuantes.

- De acuerdo a los resultados de la encuesta de percepción de olores, realizada a los trabajadores de la PTAR Juan Velasco Alvarado, se observa que el 70% de encuestados indicó que la implementación de humedales artificiales ha influido en la reducción de olores del agua tratada, por lo que se observa que este tratamiento ha demostrado tener un nivel significativo de efectividad para la minimización de malos olores de aguas residuales.

VIII. RECOMENDACIONES

- Es recomendable aumentar la cantidad de especies de plantas a usarse en el tratamiento a fin de aumentar los niveles de remoción de contaminantes.

- De acuerdo a los resultados obtenidos en el tratamiento con *Eichhornia crassipes*, se observa que es una especie que se adapta fácilmente en el tratamiento de aguas residuales, de acuerdo al análisis de la biomasa durante el periodo de tratamiento esta especie duplicó su peso y mostró mejores resultados en la remoción de contaminantes microbiológicos a comparación de la especie *Schoenoplectus americanus*, por lo cual se recomienda tomar mayores consideraciones al momento de usar esta última especie, teniendo en cuenta que le cuesta más adaptarse a los cambios de entorno, ya que las muestras de *Schoenoplectus americanus* fueron traídas de las Alúferas de Medio de la provincia de Huaura.

- Se ha observado que el tratamiento de aguas residuales por fitoremediación es efectivo para aguas que han pasado previamente por un tratamiento primario y/o secundario, por lo que es importante que hayan pasado por un adecuado proceso de tratamiento a fin de poder obtener los resultados deseados, en este caso las aguas tratadas presentaban una alta carga contaminante (170 000 NMP/100mL de Coliformes Fecales y 22 000 NMP/100mL de Escherichia coli).

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ampuero Reyes, W. (2018). *Estimación del carbono almacenado en la comunidad del junco (Schoenoplectus americanus) bajo dos escenarios de crecimiento en el humedal costero refugio de vida silvestre pantanos de villa (Lima-Perú)*, 16-17. Obtenido de https://repositorio.cientifica.edu.pe/bitstream/handle/UCS/536/TL_Ampuero_Reyes.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Arden, S., & Ma, X. (2018). *Constructed wetlands for greywater recycle and reuse: A review*.
- Arteaga Cortez, V. M., Quevedo Nolasco, A., Del Valle Paniagua, D. H., Castro Popoca, M., Bravo Vinaja, A., & Ramirez Zierold, J. A. (2020). *Estado del arte: una revisión actual a los mecanismos que realizan los humedales artificiales para la remoción de nitrógeno y fósforo*. Obtenido de <https://n9.cl/r1gdf>
- Baca Neglia, M. F. (2012). *Tratamiento de los efluentes domésticos mediante Humedales Artificiales para el riego de áreas verdes en el Distrito de San Juan de Marcona*. Tesis para optar el Grado Académico de Maestro en Investigación y Docencia Universitaria. Obtenido de <http://repositorio.unac.edu.pe/handle/UNAC/462>
- Cárdenas Flores, D. A. (2019). *Desarrollo de un prototipo para el sistema de tratamiento de aguas residuales mediante un humedal artificial de flujo subsuperficial en la PTAR "Juan Velasco Alvarado" ubicado en el distrito de Villa el Salvador*
- Castillo Castañeda, M. F., & Agudelo Valencia, R. N. (2020). *Artificial wetlands planted with Limonium perezzi, for the treatment of wastewater from tanning*.
- Coronel Castro, E. (2016). *Eficiencia del Jacinto de agua (Eichhornia crassipes) y lenteja de agua (Lemna minor) en el tratamiento de aguas residuales de la universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, Chachapoyas - 2015*. 9

- Degremont (2 de mayo de 2019). *Tratamiento biológico de aguas residuales produce distinto tipo de lodos dentro de cada uno de los procesos individuales*. Obtenido de <https://www.lenntech.es/tipo-de-lodos.htm>
- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Obtenido de <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Delgadillo, Gonzales, Prieto, Villagomez & Acebedo (2011). *Fitorremediación: Una Alternativa Para Eliminar La Contaminación*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/939/93918231023.pdf>
- Díaz, A., Atencio, V., & Pardo, S. (2013). *Assessment of an artificial free-flow wetland system with water hyacinth (Eichhornia crassipes) for treating fish farming effluents*.
- Garay Aparicio, I. B. (2017). *Eficacia de las macrófitas Jacinto y lenteja de agua para disminuir la concentración del boro, en las aguas minerotermales de la "laguna La Milagrosa"-Chilca*. Obtenido de http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/UCV/3525/Garay_AI_B.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez Lordan, Y. M. (2017) *Evaluación de la eficiencia de humedales artificiales verticales empleando Cyperus alternifolius y Chrysopogon zizanioides para el tratamiento de aguas servidas*. Obtenido de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2875/P10-G654-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kaliakatsos, A., Kalogerakis, N., Maniosc, T., & Venieri, D. (2019). *Efficiency of two constructed wetland systems for wastewater treatment: removal of bacterial indicators and enteric viruses*.
- López, D., Sepúlveda, M. & Vidal, G. (2016). *Phragmites australis and Schoenoplectus californicus in constructed wetlands: Development and nutrient uptake*.

- Marcó, L., Azario, R., Metzler, C., & Garcia, M. C. (2004). *La turbidez como indicador básico de calidad de aguas potabilizadas a partir de fuentes superficiales. Propuestas propósito del estudio del sistema de potabilización y distribución en la ciudad de Concepción del Uruguay (Entre Ríos, Argentina)*. Obtenido de [https://www.saludublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82\(2004\).pdf](https://www.saludublica.es/secciones/revista/revistaspdf/bc510156890491c_Hig.Sanid.Ambient.4.72-82(2004).pdf)
- Martínez Cruz, P., Hernández Martínez, A., Soto Castor, R., Esquivel Herrera, A., & Rangel Levario, J. (2006). *Use of constructed wetlands for the treatment of wate from an experimental channel at Xochimilco, Mexico*.
- Ministerio del Ambiente - MINAM (2 de mayo de 2020). *Estándares de calidad ambiental*. Obtenido de <http://www.minam.gob.pe/calidadambiental/estandares-de-calidad-ambiental/>
- Murphy, S. (2007). *Boulder Área Sustainability Information Network: BASIN de la terminología del agua*. Obtenido de <http://bcn.boulder.co.us/basin/watershed/wqterms.html>
- Nan, X., Lavrnić, S., & Toscano, A. (2020). *Potential of constructed wetland treatment systems for agricultural wastewater reuse under the EU framework*.
- OEFA (2 de mayo de 2020). *Fiscalización ambiental en aguas residuales. Lima – Perú*. obtenido de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Olukanni, D. O. & Kokumo, K. O. (2013). *Efficiency Assessment of a Constructed Wetland Using Eichhornia cassipes for Wastewater Treatment*.
- Paraskevopoulos, S., y Smeets, P. (2019). *Quantifying the Log Reduction of Pathogenic Microorganisms by Constructed Wetlands: A Literature Review*.
- Pérez Lopez, M. E., González Elizondo, M. S., López González, C., Martínez Prado, A., & Cuevas Rodríguez, G. (2009). *Aquatic*

macrophytes tolerance to domestic wastewater and their efficiency in artificial wetlands under greenhouse conditions.

- Pérez, L. (2005). *Teoría de la sedimentación*. Obtenido de http://www.fi.uba.ar/archivos/institutos_teoria_sedimentacion.pdf
- Richwell, A., Jephris, G., Ereck, C., Phiyani, L., Wilson, P., & Walter, C., (2017). *Mechanisms of pathogen removal by macrophytes in constructed wetlands*.
- Richwell, A., Wilson, P., Alexandros, I. S., Phiyani, L., Ereck, C. & Walter, C. (2020). *Internalisation of Salmonella spp. by Typha latifolia and Cyperus papyrus in vitro and implications for pathogen removal in Constructed Wetlands*.
- Ruppelt, J. P., Tondera, K., Schreiber C., Kistemann, T., y Pinnekamp, J. (2018). *Reduction of bacteria and somatic coliphages in constructed wetlands for the treatment of combined sewer overflow (retention soil filters)*.
- Rabat Blázquez, J. (2016). *Análisis de los modelos de diseño de los sistemas naturales de depuración*. Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/-gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm10/tfm10-jorge-rabat-blazquez.pdf>
- Ramalho, R. S. (1993). *Eliminación biológica de fósforo en aguas residuales urbanas*. Editorial: Universidad de Castilla – La Mancha. 9.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales*. Reverte, 705.
- Romero Rojas, J. A. (2010). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño*. Escuela colombiana de ingeniería. (3) 13 -23.
- Salas, J. J., Pidre, J. R., & Sánchez L. (2007). *Manual de tecnologías no convencionales para la depuración de aguas residuales*. Capítulo IV: Humedales Artificiales.
- Sandoval, L., Aurelio Zamora, S., Vidal Álvarez, M., & Marín Muniz, J. L. (2019). *Role of Wetland Plants and Use of Ornamental Flowering*

Plants in Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: A Review.

- Stottmeister, U., Wießner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R. A., & Moormann, H. (2003). *Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment.*
- Tocto Saguna, Y. (2018). *Concentración de coliformes totales, termotolerantes y Escherichia coli, en el río Quiroz, caserío puente Quiroz – Suyo – Ayabaca.* Obtenido de http://repositorio.ucss.edu.pe/bitstream/handle/UCSS/666/Tocto_Yeyner_tesis_bachiller_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Tondera, K., Ruppelt, J. P., Pinnekamp, J., Kistemann, T., & Schreiber, C. (2018). *Reduction of micropollutants and bacteria in a constructed wetland for combined sewer overflow treatment after 7 and 10 years of operation.*
- Valderrama Valderrama, L. T. (1996). *Uso de dos especies de macrófitas acuáticas, Limnobium laevigatum y Eichhornia crassipes para el tratamiento de aguas residuales agro industriales.*
- Vera Puerto, I. L., Verdejo, N., Chávez, W., Jorquera, C., & Olave, J. L. (2016). *Influence of hydraulic retention time and plant species on performance of mesocosm subsurface constructed wetlands during municipal wastewater treatment in super-arid areas.*
- Veloza Parra, A. C., Misnaza Pineda, B. A. (2019) *Evaluación de los impactos odoríferos ocasionados por la quebrada Sabaneta en el barrio Mandalay, sector B, Fusagasugá, Cundinamarca.*
- Vymazal, J. (2010). *Constructed Wetlands for Wasterwater Treatment.*

X. ANEXOS

1. Matriz de consistencia

Título del proyecto de investigación: “Efectividad de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial en la PTAR Juan Velasco Alvarado ubicada en el distrito de Villa el Salvador – Lima”,

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES		METODOLOGIA
			VARIABLE	INDICADORES	
<p>Problema General: ¿Cómo influye el uso humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial en la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas para el riego de áreas verdes, provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) Juan Velasco Alvarado – Distrito de Villa El Salvador?</p> <p>Problemas específicos: ¿Cuáles son las características físicoquímicas y microbiológicas del efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, antes de los tratamientos con las especies</p>	<p>Objetivo General: Evaluar la efectividad del tratamiento mediante humedales artificiales de flujo superficial con <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) y subsuperficial con <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco), para la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes, en Villa El Salvador.</p> <p>Objetivos específicos: Caracterizar fisicoquímica y microbiológicamente el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado, antes de los</p>	<p>Hipótesis General: El tratamiento de aguas mediante humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial será un método efectivo para la mejora de la calidad de las aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes, en la PTAR Juan Velasco Alvarado de Villa el Salvador.</p> <p>Hipótesis Específica: H₁: Los efluentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Juan Velasco Alvarado cumplen con lo establecido en los Estándares Nacionales de</p>	<p>Variable independiente X = Tratamiento mediante humedales artificiales.</p> <p>X₁: Diseño tratamiento con humedal de flujo superficial con <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) y Tratamiento con humedal de flujo subsuperficial con <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco)</p>	<p>- Caudal, - Sección Transversal - Altura - Tiempo de Retención Hidráulica</p>	<p>Tipo de investigación:</p> <ul style="list-style-type: none"> Alcance: Correlacional Tipo: Aplicado <p>Método y diseño de investigación: Diseño de tipo Experimental, representándose de la siguiente manera:</p> $X \Rightarrow Y$ <p style="text-align: center;">↑ Z</p> <p>Donde:</p>

<p><i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>?</p> <p>¿Qué características de diseño debe cumplir el humedal artificial de flujo superficial y subsuperficial a fin de que el efluente final del tratamiento cumpla con los estándares de calidad ambiental para riego de áreas verdes?</p> <p>¿De qué manera mejora la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado aplicando el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua)?</p> <p>¿De qué manera mejora la calidad de las aguas residuales de la</p>	<p>tratamientos con las especies <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>.</p> <p>Diseñar humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial para el tratamiento de aguas residuales domésticas, cuyo efluente final cumpla con los estándares de calidad ambiental de agua para riego de áreas verdes.</p> <p>Aplicar el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) para la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.</p> <p>Aplicar el tratamiento de humedales artificiales de flujo</p>	<p>Calidad de Agua para riego de áreas verdes.</p> <p>H₂: Los sistemas de tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial cumplirán con las características de diseño para la generación de un efluente final cuya concentración de parámetros esté acorde con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) de agua, para riego de áreas verdes.</p> <p>H₃: El tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) influirá en la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.</p> <p>H₄: El tratamiento de humedales artificiales de flujo subsuperficial con la especie</p>	<p>Variable dependiente Y =:</p> <p>Aguas residuales domésticas destinadas al riego de áreas verdes.</p> <p>Y₁: Características físicas (olores), químicas y biológicas del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes del tratamiento con <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Schoenoplectus americanus</i>.</p> <p>Y₂: Características físicas (olores), químicas y biológicas del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado usando el tratamiento <i>Eichhornia crassipes</i>.</p> <p>Y₃: Características físicas (olores), químicas y biológicas del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado usando el</p>	<p>y</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aceites y grasas - SST - DBO5 - DQO - Coliformes Fecales - E. Coli - Huevos de Helmintos - Percepción de olores - Número de especies distribuidas en el humedal. - Diferencia de la biomasa de las especies durante el periodo de tratamiento. 	<p>X: Es la variable independiente.</p> <p>Y: Es la variable dependiente.</p> <p>Z: Es la variable interviniente</p> <p>⇒: Es la relación de implicancia</p> <p><u>Población:</u> Volumen de agua a tratar.</p> <p><u>Muestra:</u> Volumen de agua extraído.</p> <p><u>Lugar de estudio:</u> PTAR “Juan Velasco Alvarado” – Villa El Salvador – Lima.</p>
--	---	---	--	--	--

<p>PTAR Juan Velasco Alvarado aplicando el tratamiento de humedales artificiales de flujo superficial con la especie <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco)?</p> <p>¿Cuál es la percepción de la población respecto a la generación de olores molestos provenientes de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento a través del uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con <i>Schoenoplectus americanus</i> y con <i>Eichhornia crassipes</i>?</p>	<p>subsuperficial con la especie <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco), para la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.</p> <p>Determinar la percepción de la población respecto a la presencia de olores molestos provenientes del efluente generado en la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento a través del uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco) y con <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua).</p>	<p><i>Schoenoplectus americanus</i> (junco), influirá en la mejora de la calidad de las aguas residuales de la PTAR Juan Velasco Alvarado.</p> <p>H₅: El uso de humedales artificiales de flujo superficial y subsuperficial con las especies <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco) y con <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) influirá en la disminución de la percepción de malos olores provenientes de las aguas residuales domésticas de la PTAR Juan Velasco Alvarado, Villa El Salvador.</p>	<p>tratamiento con <i>Schoenoplectus americanus</i>.</p> <p>Y₄: Percepción de la población respecto a la presencia de olores molestos provenientes del efluente generado en la PTAR Juan Velasco Alvarado antes y después del tratamiento.</p> <p>Variable Interviniente Z =</p> <p>Biomasa y cantidad especies vegetales distribuidas en los humedales.</p> <p>Z₁: Biomasa y distribución de la especie <i>Eichhornia crassipes</i> (jacinto de agua) en el humedal de flujo superficial.</p> <p>Z₂: Biomasa y distribución de la especie <i>Schoenoplectus americanus</i> (junco) en el humedal de flujo subsuperficial.</p>	<p>Z₁: Número de especies distribuidas en el humedal.</p> <p>-Z₂: Diferencia de la biomasa de las especies durante el periodo de tratamiento.</p>	<p>Técnicas de recolección de datos:</p> <p>Formatos de toma de muestras e Informes de monitoreo.</p>
---	---	---	--	---	--

2. Informes de Laboratorio

a) Informe N°IE-20-8354 (17/12/2020)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-20-8354

IV. RESULTADOS

ITEM		1		
CÓDIGO DE LABORATORIO:		M-20-28431		
CÓDIGO DEL CLIENTE:		P-01		
COORDENADAS:		E:0288078		
UTM WGS 84:		N:8649128		
PRODUCTO:		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:		Residual Municipal		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:		NO APLICA		
FECHA y HORA DE MUESTREO :		17-12-2020 13:06		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	1,60
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	170 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	29,9
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2	5	60
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	22 000,0
Huevos de Helmintos ²	Huevo/L	NA	1,0	2,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	6

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

b) Informe N°IE-21-3730 (17/04/2021)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-3730

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-13862
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P-01
COORDENADAS:				E:0288078
UTM WGS 84:				N:8649128
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				17-04-2021 12:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	3,70
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	13 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	34,1
Demanda Química de Oxígeno (*)	COD as mg O2/L	2	5	71
Detergentes (*)	mg MBAS/L	0,010	0,025	0,033
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	12 000,0
Huevos de Helmintos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	45

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

c) Informe N°IE-21-7929 (10/07/2021)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8171

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-27375
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P-01
COORDENADAS:				E:0287809
UTM WGS 84:				N:8648985
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				10-07-2021 08:20
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	<0,48
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	33 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	21,4
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	78,5
Detergentes (*)	(mg MBAS/L)	0,010	0,025	<0,025
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	7 900,0
Huevos de Helminthos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	76

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " \leq "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " \leq "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

d) Informe N°IE-21-8171 (14/07/2021)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8171

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-27375
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P-01
COORDENADAS:				E:0287809
UTMWGS 84:				N:8648985
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				14-07-2021 09:20
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	1,80
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	31,3
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	95,0
Detergentes (*)	(mg MBAS/L)	0,010	0,025	<0,025
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	<1,8
Huevos de Helmintos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	17

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

²) Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, " $<$ "= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, " $<$ "= Menor que el L.D.M.

"-": No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

e) Informe N°IE-21-8360 (16/07/2021)



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



Registro N° LE - 096

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8360

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-21-28765
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P-01
COORDENADAS:				E:0287809
UTM WGS 84:				N:8648985
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Residual Doméstica
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO :				16-07-2021 09:30
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	<0,48
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	130 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	33,2
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	101,6
Detergentes (*)	(mg MBAS/L)	0,010	0,025	<0,025
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	23 000,0
Huevos de Helmintos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	52

¹) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

*.: No ensayado

NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

f) Informe N°IE-21-8430 (19/07/2021)

 <p>ALAB ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.</p>	 <p>IAS ACCREDITED Tl-833</p>	<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 096</p>	 <p>INACAL DA - Perú Laboratorio de Encargo Acreditado</p> <p>Registro N° LE - 096</p>
---	---	---	--

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8430

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-29315
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P-01
COORDENADAS:	E:0287809
UTM WGS 84:	N:8648985
PRODUCTO:	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:	19-07-2021 09:30

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	<0,48
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	14 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	42,3
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	77,8
Detergentes (*)	(mg MBAS/L)	0,010	0,025	<0,025
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	2 800,0
Huevos de Helminthos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	16

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Límite de cuantificación del método, *<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Límite de detección del método, *<=" Menor que el L.D.M.
*": No ensayado
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Prolongación Zaramilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao
Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588
Email. ventas@alab.com.pe
www.alab.com.pe

Página 3 de 3

g) Informe N°IE-21-8646 (21/07/2021)

		<p>LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE - 096</p>	
		Registro N° LE - 096	

INFORME DE ENSAYO N°: IE-21-8646

IV. RESULTADOS

ITEM	1
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-21-30393
CÓDIGO DEL CLIENTE:	P-01
COORDENADAS:	E:0287809
UTM WGS 84:	N:8648985
PRODUCTO:	Agua Residual
SUB PRODUCTO:	Residual Municipal
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	I-OPE-1.5
FECHA y HORA DE MUESTREO :	21-07-2021 11:00

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Aceites y Grasas (*)	mg/L	0,48	1,20	1,60
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	49 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg BOD5/L	0,4	2,0	16,8
Demanda Química de Oxígeno (*)	(mg O2/L)	2,0	5,0	74,4
Detergentes (*)	(mg MBAS/L)	0,010	0,025	<0,025
Escherichia coli (NMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	49 000,0
Huevos de Helminthos ²	Huevo/L	NA	1,0	<1,0
Sólidos Suspendedos Totales (*)	mg Total Suspended Solids/L	2	5	18

(*) Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA
² Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, "<=" Menor que el L.C.M.
L.D.M.: Limite de detección del método, "<=" Menor que el L.D.M.
*,: No ensayado
NA: No Aplica

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

Prolongación Zarumilla Mz 2D lote 3 Bellavista - Callao Telf. +51 7130636 / 453 1389 / 940 598 588 Email. ventas@alab.com.pe www.alab.com.pe	Página 3 de 3
--	---------------

3. Diversas imágenes durante el desarrollo de la investigación.

- a) Caracterización del efluente de la PTAR Juan Velasco Alvarado antes del tratamiento por humedales artificiales

Figura 41.

Tubería de descarga del efluente final de la PTAR Juan Velasco Alvarado



Figura 42.

Toma de muestras para análisis de Aceites y grasas



Figura 43.

Toma de muestras para análisis de Sólidos Suspendidos totales



Figura 44.

Toma de muestras para análisis de coliformes y E. coli



b) Implementación de los humedales en el terreno de la PTAR Juan Velasco Alvarado

Figura 45.

Excavación de hoyos, cubierta de plástico y colocación de base de grava



Figura 46.

Pozas culminadas



Figura 47.

Colocación de plantas de Schoenoplectus americanus



Figura 48.

Colocación de plantas de Eichhornia crassipes



c) Toma de muestras al final de cada ensayo

Figura 49.

Muestras de agua etiquetadas



d) Albuferas de Nuevo Mundo

Figura 50.

Ingreso de Albuferas de Medio Mundo



Figura 51.

Recolección de Schoenoplectus americanus por pobladores



Figura 52.

***Schoenoplectus americanus* recolectado y dejado al sol para secarse**



6. Requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales

I : DI-LAB-06
R : 11
I.V. : 2021-Ene-16



Requisitos mínimos para ensayos de muestras ambientales - Agua

Elaboración:	Renni Pichilingue / Nancy Challapa	Revisión :	Lindsay Noé	Aprobación:	Lindsay Noé
Puesto :	Analista 2 de hidrobiología / Responsable de Laboratorio de Radiometría	Puesto :	Supervisor de Lab. Hidrobiología	Puesto :	Supervisor de Lab. Hidrobiología
Fecha :	2021-Ene-15	Fecha :	2021-Ene-16	Fecha :	2021-Ene-16

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de Muestra	Preservación y Condiciones de Almacenamiento (*)	Tiempo de Almacenamiento
FISICOQUÍMICA				
Acetles y Grasas	Vidrio ámbar, boca ancha	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar dos duplicados.	Adicionar 20 gotas de HCl 1:1 o H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Acidez	Plástico ó Vidrio	250 mL	Llenar completamente las botellas y tapar bien. Refrigerar ≤6°C	14 días
Alcalinidad Total, Alcalinidad por Carbonatos, Alcalinidad por Bicarbonatos	Plástico ó Vidrio	500 mL	Llenar completamente las botellas y tapar bien. Refrigerar ≤6°C	14 días
Amoníaco Nitrógeno Amoniacal	Plástico ó Vidrio	500 mL	Adicione 20 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Boro	Plástico	500 mL	Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1, pH <2	30 días
Cianuro Libre	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	250 mL Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Adicionar 4 granallas de NaOH, pH >12, Refrigerar ≤6°C	14 días
Cianuro Total	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Adicionar 4 granallas de NaOH, pH >12, Refrigerar ≤6°C	14 días
Cianuro Wad	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Adicionar 4 granallas de NaOH, pH >12, Refrigerar ≤6°C	14 días
Cloruros	Plástico ó Vidrio	500 mL	No requiere	28 días
Clorofila	Vidrio ámbar	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Color	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	250 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Conductividad	Plástico ó Vidrio	100 mL	Refrigerar ≤6°C	28 días
Cromo VI	Plástico ó Vidrio	500 mL	Adicionar 10 gotas de solución buffer (NH ₄) ₂ SO ₄ más 10 gotas NaOH 5N, pH de 9.3 a 9.7. Refrigerar < 6°C	28 días
Demanda bioquímica oxígeno. DBO ₅	Plástico ó Vidrio	1 L	Llenar el frasco completamente, sin dejar burbujas de aire. Refrigerar ≤6°C	48 horas
Demanda química de oxígeno	Plástico ó Vidrio	100 mL	Adicione 10 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Dureza cálcica	Plástico ó Vidrio	250 mL	Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1 o H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2	30 días
Dureza total	Plástico ó Vidrio	250 mL	Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1 o H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2	30 días
Dureza Magnésica	Plástico ó Vidrio	250 mL	Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1 o H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2	30 días
Fenoles	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Adicionar 20 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Fluoruros	Plástico ó Vidrio	250 mL	No requiere	28 días
Fosfatos o Fósforo reactivo total	Vidrio ámbar	250 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Fósforo reactivo disuelto (***)	Vidrio ámbar	250 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Fósforo Total	Plástico, Vidrio ámbar	250 mL	Adicionar 10 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Hidrocarburos	Vidrio ámbar, boca ancha	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar dos duplicados.	Adicionar 20 gotas de HCl 1:1 ó H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C	28 días
Nitrógeno total	Plástico ó Vidrio	250 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Nitratos N-Nitrato	Plástico ó Vidrio	100 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Nitritos N-Nitrito	Plástico ó Vidrio	250 mL	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Olor	Vidrio ámbar	500 mL	Refrigerar ≤6°C	24 horas
Potencial de Hidrógeno	Plástico ó Vidrio	100 mL	Analizar inmediatamente	15 minutos
S.A.A.M. (Detergentes)	Plástico ó Vidrio	500 mL Por cada 20 muestras o menos enviar dos muestra por duplicado.	Refrigerar ≤6°C	48 horas
Sabor	Vidrio ámbar	250 mL	Refrigerar ≤6°C	24 horas
Salinidad	Vidrio ámbar, sello de cera (Parafilm)	250 mL	Analizar inmediatamente o usar sello de cera	7 días
Silice o silicatos	Plástico	250 mL	Refrigerar < 6°C	28 días
Sólidos Fijos	Plástico ó Vidrio	500 mL	Refrigerar < 6°C	7 días
Sólidos sedimentables	Plástico ó Vidrio	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado.	Refrigerar < 6°C	7 días

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de Muestra	Preservación y Condiciones de Almacenamiento (*)	Tiempo de Almacenamiento
Sólidos totales	Plástico ó Vidrio	500 mL	Refrigerar < 6°C	7 días
Sólidos Totales disueltos	Plástico ó Vidrio	500 mL Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado	Refrigerar < 6°C	7 días
Sólidos Totales suspendidos	Plástico ó Vidrio	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado	Refrigerar < 6°C	7 días
Sólidos Volátiles	Plástico ó Vidrio	500 mL	Refrigerar < 6°C	7 días
Sulfatos	Plástico ó Vidrio	500 mL	Refrigerar ≤ 6°C	28 días
Sulfuro, sulfuro de hidrógeno	Plástico ó Vidrio	100 mL	Adicionar 4 gotas de Acetato de Zinc 2N y 10 gotas de NaOH 6N, pH > 9. Llenar completamente el frasco. Refrigerar ≤ 6°C.	28 días
Sulfuro de hidrógeno no ionizable	Plástico ó Vidrio	100 mL	Para agua salina se necesita medir in situ y registrar pH, temperatura y salinidad. Para agua natural, residual, agua de uso y consumo humano in situ medir y registrar pH, temperatura y conductividad. Estos valores registrarlos en la cadena de custodia y LIMS. Luego preservar con 4 gotas de Acetato de Zinc 2N y 10 gotas de NaOH 6N, pH > 9. Llenar completamente el frasco. Refrigerar ≤ 6°C.	28 días
Turbiedad	Plástico pavonado ó Vidrio ámbar (***)	100 mL	Refrigerar ≤ 6°C	48 horas
Bromato	Plástico	250 mL	No requiere	28 días
Bromuro			No requiere	28 días
Clorato			No requiere	28 días
Cloruro			No requiere	28 días
Clorito			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas
Fluoruro			No requiere	48 horas
N-Nitrato			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas
N-Nitrito			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas
P-Ortofosfato			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas
Sulfato			Refrigeración ≤ 4°C	28 días
Monocloroacetato			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas
Dicloroacetato			Refrigeración ≤ 4°C	48 horas

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de Muestra	Preservación y Condiciones de Almacenamiento (*)	Tiempo de Almacenamiento
QUIMICA INSTRUMENTAL AA-ICP				
Mercurio	Plástico	500 mL	Adicionar 10 gotas HNO ₃ 1:1, pH<2 C, Refrigerar ≤ 6°C	28 días
Metales Disueltos (**)	Plástico	500 mL	Filtrar inmediatamente Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1, pH <2	30 días
Metales Totales	Plástico	500 mL	Adicionar 10 gotas de HNO ₃ 1:1, pH <2	30 días
QUIMICA INSTRUMENTAL CROMATOGRAFIA				
BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xilenos)/ Compuestos orgánicos Volátiles (VOCs)/ Trihalometanos/ Gasolina: Benceno, Isooctano, heptano, Tolueno, Etilbenceno, m-Xileno, p-Xileno, o-Xileno, 1,2,4-Trimetilbenceno/ Contaminantes orgánicos: Cloruro de vinilo, Epiclorhidrina.	Vial ámbar de 40 mL, con tapas revestidos de PTFE	1 vial de 40mL preservado con ácido sulfúrico, (Para blanco viajero). Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por triplicado.	Si presenta cloro residual añadir 4 gotas de tiosulfato de sodio al 10%. Adicionar 4 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2, Refrigerar ≤6°C. Frasco completamente lleno, sin burbuja de aire.	No aplica
Fenol / Aldicard / Hidrocarburos Aromáticos Polinucleares (PAHs) / Hidrocarburos de Petróleo Totales (Fracción Aromática) / Esteres Ftalatos/ Pesticidas organofosforados y organoclorados/ Rango DIESEL DRO (C10-C28), Hidrocarburos Disuelto o Emulsionado, Aceite Mineral/ Hidrocarburos Totales de Petróleo (TPH): (C8-C40), (C8-C28), (C28-C40).	Vidrio ámbar boca ancha o protegida de la luz, con tapas revestidas de PTFE o papel de aluminio.	1 L Por cada 20 muestras o menos, enviar una muestra por triplicado	Si presenta cloro residual añadir 20 gotas de tiosulfato de sodio al 10%. Refrigerar ≤ 6° C	No aplica
Hidrocarburos Totales de Petróleo (C10 C40)	Vidrio ámbar boca ancha o protegida de la luz, con tapas revestidas de PTFE o papel de aluminio.	1 L Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por triplicado	Si presenta cloro residual añadir 20 gotas de tiosulfato de sodio al 10%. Refrigerar ≤ 6° C	No aplica
Hidrocarburos Totales de Petróleo Fracción 1 (C6 - C10)	Vial ámbar de 40 mL, con tapas revestidos de PTFE	Por cada orden de servicio: 1 vial de 40mL. de agua desionizada preservado con ácido sulfúrico (Para blanco viajero). Por cada 20 muestras o menos o por orden de servicio (lo que fuera primero) enviar una muestra por triplicado.	Si presenta cloro residual añadir 4 gotas de tiosulfato de sodio al 10%. Adicionar 4 gotas de H ₂ SO ₄ 1:1, pH <2. Refrigerar ≤6°C. Frasco completamente lleno, sin burbuja de aire.	No aplica
PCBs	Vidrio ámbar boca ancha o protegida de la luz, con tapas revestidas de PTFE o papel de aluminio.	1 L Por cada 20 muestras o menos, enviar una muestra por triplicado	Si presenta cloro residual añadir 20 gotas de tiosulfato de sodio al 10%. Refrigerar ≤ 6° C	No aplica

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de Muestra	Preservación y Condiciones de Almacenamiento (*)	Tiempo de Almacenamiento
HIDROBIOLOGÍA ⁽¹⁾				
Fitoplancton cuantitativo	Plástico	1 L	Adicionar 3 mL de solución de lugol (****) por cada litro de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente.	28 días
Fitoplancton cualitativo	Plástico de 250 mL	Agua natural: Filtrar mínimo 40 L Agua para uso y consumo humano: Filtrar mínimo 100 L Agua salina: Filtrar mínimo 50 L. Agua residual: 5 litros (toma directa)	Muestra filtrada: Adicionar 0.75mL de solución de lugol (****) por cada 250 mL de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente. Toma directa: 3 ml de lugol por litro de muestra.	28 días
Organismo de Vida Libre	Frascos Plástico o galoneras	Agua natural, agua para uso y consumo humano: 6 L (Toma directa) Agua residual: 5 L (Toma directa)	Adicionar 3 mL de solución de lugol (****) por cada litro de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad temperatura ambiente.	28 días
Perifiton	Plástico, boca ancha, pavonado de 250 mL	Volumen variable (Proveniente del raspado de una superficie de 5x5 cm ²)	Adicionar 0.75 mL de solución de lugol (****) por cada 250 mL de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad temperatura ambiente.	28 días
Zooplancton cuantitativo	Plástico 250 mL	Agua natural: Filtrar mínimo 40 litros Agua para uso y consumo humano: Filtrar mínimo 100 litros. Agua salina: Filtrar mínimo 50 litros. Agua residual: 5 litros (toma directa)	Muestra filtrada: Adicionar 0.75mL de solución de lugol (****) por cada 250 mL de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente. Toma directa: 3 ml de lugol por litro de muestra.	28 días
Zooplancton cualitativo	Plástico 250 mL	Agua natural: Filtrar mínimo 40 litros Agua para uso y consumo humano: Filtrar mínimo 100 litros. Agua salina: Filtrar mínimo 50 litros. Agua residual: 5 litros (toma directa)	Muestra filtrada: Adicionar 0.75mL de solución de lugol (****) por cada 250 mL de muestra, homogenizar inmediatamente , almacenar en condiciones de oscuridad a temperatura ambiente. Toma directa: 3 ml de lugol por litro de muestra.	28 días
Necton	Bolsas ziploc (*****) y balde de 20 L(*****)	1 muestra completa (Organismo u organismos completos)	Gel pack/ice pack (-6°C)(*****) , si supera la 24 horas sumergir en solución de formal al 10%(*****)	24 horas
PARASITOLOGÍA				
Huevos de Helminetos	Plástico	1 L (Agua Residual) 5 L (Agua Natural) 5 L (Agua de uso y consumo humano) Por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado	Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Larvas (Nematodos)	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Formas Parasitarias	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Parásitos (Formas Parasitarias)	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Amebas de vida libre patógenas	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
<i>Naegleria fowleri</i>	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
<i>Acanthamoeba spp</i>	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Protozoarios	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
<i>Cryptosporidium sp</i>	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
<i>Giardia sp</i>	Plástico		Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas
Quistes y Ooquistes de Protozoarios patógenos	Plástico	Refrigerar < 10°C, sin congelar.	48 horas	

Parámetro	Tipo de Envase	Tamaño de Muestra	Preservación y Condiciones de Almacenamiento (*)	Tiempo de Almacenamiento
MICROBIOLOGÍA				
Heterotrofos (UFC/mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado	250 mL (para cada ensayo) Nota: 1 L (cuando se requiera agrupar los ensayos)	Refrigerar < 10°C, sin congelar. No llenar completamente el frasco con la muestra, dejar al menos 2.5 cm de espacio.	24 horas
Coliformes Totales (UFC / 100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
Coliformes Fecales (UFC / 100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Escherichia coli</i> (UFC / 100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
Virus (Colifagos Somáticos)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Staphylococcus aureus</i> (UFC/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado	250 mL (para cada ensayo) Nota: 1 L (cuando se requiera agrupar los ensayos)	Refrigerar < 10°C, sin congelar. No llenar completamente el frasco con la muestra, dejar al menos 2.5 cm de espacio.	
Estreptococos Fecales (NMP/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Pseudomona aeruginosa</i> (UFC / 100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Pseudomona aeruginosa</i> (NMP / 100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
Coliformes Totales (NMP/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado	250 mL (para cada ensayo) Nota: 500 mL (cuando se requiera agrupar los ensayos)	Refrigerar <10°C, sin congelar. No llenar completamente el frasco con la muestra, dejar al menos 2.5 cm de espacio.	
Coliformes Fecales o Termotolerantes (NMP/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Escherichia Coli</i> (NMP/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
Enterococos fecales o Enterococos Intestinales (NMP/100mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
Heterotrofos (UFC/mL)	Plástico ó Vidrio esterilizado			
<i>Salmonella spp</i> (Detección)	Plástico ó Vidrio esterilizado		1 L, por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado	
<i>Vibrio cholerae</i> (Detección)	Plástico ó Vidrio esterilizado	1 L, por cada 20 muestras o menos enviar una muestra por duplicado		
RADIOMETRÍA				
Alfa total	Plástico no transparente	1000 mL	Adicionar 15 ml de HNO₃ 1N por litro de muestra, pH = 2, almacenar a temperatura < 20 °C	30 días
Beta total	Plástico no transparente	1000 mL	Adicionar 15 ml de HNO₃ 1N por litro de muestra, pH = 2, almacenar a temperatura < 20 °C	30 días
<p>Notas:</p> <p>(*) Si el análisis se inicia dentro de las 2 horas de la recolección, la refrigeración es innecesaria. Si el análisis no se inicia dentro de las 2 horas de la recolección de la muestra, mantener refrigerado según corresponda, en los casos que se agregue preservante ácido o base se tiene que verificar el pH de la muestra in campo.</p> <p>(**) Cuando la filtración y preservación no pueda ser realizada en el momento del muestreo, se realizará en el laboratorio lo antes posible.</p> <p>(***) Otro frasco equivalente que no deje pasar la luz, alternativamente se puede cubrir los frascos que dejan pasar la luz con papel de aluminio para la toma de muestra.</p> <p>(****) Para fosfatos disueltos filtrar inmediatamente en filtro micromembrana de 0.45 um</p> <p>(*****) Preservar con lugol alcalino cuando la matriz sea agua salina y con lugol ácido cuando sea agua para uso y consumo humano o agua natural.</p> <p>(*****) Bolsas Ziploc con gel pack/ice pack cuando el tiempo de traslado al laboratorio sea menor a 24 horas</p> <p>(******) Balde con solución de formol al 10% cuando el tiempo de traslado al laboratorio sea mayor a 24 horas</p> <p>(1) Ver volúmenes mínimos de filtrado por cada matriz en el documento de "Muestreo de parámetros Hidrobiológicos"</p> <p>El tipo de envase "Plástico" se refiere a envase de primer uso.</p>				

7. Formato de Registro de características fisico químicas y biológicas del efluente

FICHA 01: REGISTRO DE CARACTERÍSTICAS FISICO QUÍMICAS Y BIOLÓGICAS DEL EFLUENTE				
Datos Generales				
Nombre del proyecto	EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR JUAN VELASCO ALVARADO - DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA			
Línea de investigación	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales			
Autores	Bach. Baldeon Panebra Sergio ivan			
Asesor	Mg. Máximo Fidel Baca Neglia			
Lugar:				
Fecha:				Hora:
TIPO DE ENSAYO	UNIDAD	TRATAMIENTO CON		
		ENSAYO 1 Fecha: (/ /)	ENSAYO 2 Fecha: (/ /)	ENSAYO 3 Fecha: (/ /)
Aceites y grasas	mg/L			
Coliformes fecales (termotolerantes)	NMP/100mL			
DBO ₅	mg/L			
QDO	mg/L			
<i>Escherichia coli</i> (NMP)	NMP/100mL			
Huevos de helmintos	Huevo/L			
SST	mg /L			
Detergentes	mg MBAS/L			

8. Formato de encuesta de percepción de olores

FICHA 03: ENCUESTA DE PERCEPCIÓN DE OLORES																																														
Datos Generales																																														
Nombre del proyecto	EFFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR JUAN VELASCO ALVARADO -																																													
Línea de investigación	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales																																													
Autores	Bach. Baldeon Panebra Sergio ivan Bach. Chavez Casanova Lucero Gabriela																																													
Asesor	Mg. Máximo Fidel Baca Neglia																																													
Lugar:																																														
Fecha:	Hora:																																													
<p>1 ¿Cuánto tiempo tiene laborando en este lugar?</p> <div style="border: 1px solid black; height: 20px; width: 100%; margin-bottom: 20px;"></div> <p>2 ¿Percibe usted algún tipo de olor producto del funcionamiento de la PTAR/Humedal artificial?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Sí</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>No</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>3 ¿Qué tan fuertes son los olores generados en la PTAR/Humedal artificial?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Imperceptibles (1)</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>Raramente imperceptibles (2)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Débil (3)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Fuerte (4)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Muy fuerte (5)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Intorelable (6)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>4 ¿Cón qué frecuencia se perciben los olores en la PTAR/Humedal artificial?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Nunca (1)</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>Una vez por mes (2)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dos veces por mes (3)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Una vez a la semana (4)</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Casi todos los dias (5)</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>5 ¿Considera que la implementación de un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales ha influido en la disminución de olores del efluente?</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 30%;">Sí</td> <td style="width: 30%;"></td> <td style="width: 30%;"></td> </tr> <tr> <td>No</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>		Sí			No			Imperceptibles (1)			Raramente imperceptibles (2)			Débil (3)			Fuerte (4)			Muy fuerte (5)			Intorelable (6)			Nunca (1)			Una vez por mes (2)			Dos veces por mes (3)			Una vez a la semana (4)			Casi todos los dias (5)			Sí			No		
Sí																																														
No																																														
Imperceptibles (1)																																														
Raramente imperceptibles (2)																																														
Débil (3)																																														
Fuerte (4)																																														
Muy fuerte (5)																																														
Intorelable (6)																																														
Nunca (1)																																														
Una vez por mes (2)																																														
Dos veces por mes (3)																																														
Una vez a la semana (4)																																														
Casi todos los dias (5)																																														
Sí																																														
No																																														
<table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%; text-align: center;">Especialista 1</td> <td style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40%; text-align: center; margin-left: 20px;">Especialista 2</td> </tr> </table>		Especialista 1	Especialista 2																																											
Especialista 1	Especialista 2																																													

9. Formato de registro de biomasa

FICHA 02: REGISTRO DE BIOMASA						
Datos Generales						
Nombre del proyecto	EFECTIVIDAD DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS MEDIANTE HUMEDALES ARTIFICIALES DE FLUJO SUPERFICIAL Y SUBSUPERFICIAL EN LA PTAR JUAN VELASCO ALVARADO - DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR - LIMA					
Línea de investigación	Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales					
Autores	Bach. Baldeon Panebra Sergio ivan Bach. Chavez Casanova Lucero Gabriela					
Asesor	Mg. Máximo Fidel Baca Neglia					
Lugar:						
Fecha:						Hora:
NOMBRE DE LA ESPECIE:						
LUGAR:						
COORDENADAS UTM:						
ENSAYO	FECHA INICIO	INICIO		FECHA FINAL	FINAL	
		PESO (kg)	CANT (Unid)		PESO (kg)	CANT (Unid)
E1						
E2						
E3						
<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px 20px;">Especialista 1</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px 20px;">Especialista 2</div> </div>						

10. Ficha de validación del instrumento 1

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 1						
DATOS GENERALES: Apellidos y Nombres: Cargo e Institución donde labora: Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Registro de características físico, químicas y biológicas del efluente. Autor del instrumento: Sergio Ivan Baldeon Panebra, Lucero Gabriela Chávez Casanova						
ASPECTOS DE VALIDACIÓN:						
CRITERIO	INDICADOR	Deficiente 20%	Regular 40%	Deficiente 60%	Muy Buena 80%	Excelente 100%
CLARIDAD	Es formulado con lenguaje comprensible					
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					
SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales					
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar las variables de la hipótesis					
CONSISTENCIA	Se basa en fundamentos técnicos y/o científicos.					
COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores					
METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis					
OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado					
III. OPINION DE APLICABILIDAD: El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación						
IV. PROMEDIO DE VALORACION:		<input type="text"/>		<input type="text"/> Firma del experto		

11. Ficha de validación del instrumento 2

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 2						
DATOS GENERALES: Apellidos y Nombres: Cargo e Institución donde labora: Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Registro de biomasa Autor del instrumento: Sergio Ivan Baldeon Panebra, Lucero Gabriela Chávez Casanova						
ASPECTOS DE VALIDACIÓN:						
CRITERIO	INDICADOR	Deficiente 20%	Regular 40%	Deficiente 60%	Muy Buena 80%	Excelente 100%
CLARIDAD	Es formulado con lenguaje comprensible					
OBJETIVIDAD	Esta expresado en conductas observables					
ACTUALIDAD	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología.					
ORGANIZACIÓN	Existe una organización lógica					
SUFICIENCIA	Toma en cuenta los aspectos metodológicos esenciales					
INTENCIONALIDAD	Adecuado para valorar las variables de la hipótesis					
CONSISTENCIA	Se basa en fundamentos técnicos y/o científicos.					
COHERENCIA	Existe coherencia entre los problemas, objetivos, hipótesis, variables e indicadores					
METODOLOGIA	La estrategia responde una metodología y diseño aplicados para lograr probar las hipótesis					
OPORTUNIDAD	El instrumento ha sido aplicado en el momento oportuno o más adecuado					
III. OPINION DE APLICABILIDAD: El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación						
IV. PROMEDIO DE VALORACION:		<input type="text"/>			<input type="text"/> Firma del experto	

12. Ficha de validación del instrumento 3

VALIDACIÓN DEL INSTRUMENTO 3						
I. DATOS GENERALES:						
Apellidos y Nombres:						
Cargo e Institución donde labora:						
Nombre del instrumento motivo de la evaluación: Encuesta de percepción de olores						
Autor del instrumento: Sergio Ivan Baldeon Panebra, Lucero Gabriela Chávez Casanova						
II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN:						
ITEM	PREGUNTA	Deficiente 20%	Regular 40%	Deficiente 60%	Muy Buena 80%	Excelente 100%
1	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el tema de la investigación?					
2	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?					
3	¿El instrumento de recolección de datos, facilitará el logro de los objetivos de la investigación?					
4	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?					
5	¿La redacción de las preguntas es con sentido coherente?					
6	¿Cada una de las preguntas del instrumento de medición, se relacionan con elementos de los indicadores?					
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?					
8	¿Del instrumento de medición, los datos serán objetivos?					
9	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?					
10	¿El instrumento de medición es claro, preciso, y sencillo para que contesten y de esta manera obtener los datos requeridos?					
III. OPINION DE APLICABILIDAD:						
El instrumento cumple con los requisitos para su aplicación						
El instrumento no cumple con los requisitos para su aplicación						
IV. PROMEDIO DE VALORACION:						
			<input type="text"/>		<input type="text"/>	
			<input type="text"/>		Firma del experto	