

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y AMBIENTALES



Diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de
aguas residuales utilizando filtros percoladores en La Punta,
Callao

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL

AUTORA

Tania Milagros Mego Jimenez

ASESOR

Eskim Santiago Valverde Obregón

Lima, Perú

2023

METADATOS COMPLEMENTARIOS

Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

Datos del Jurado

Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

Datos de la obra

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 020 - 2024/UCSS/FCAA/DI

Siendo las 09:00 a.m. del viernes 26 de abril de 2024 a través de la plataforma virtual zoom de la Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis integrado por:

- | | |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Claudia Daniela Ramos Delgado | presidente |
| 2. Natividad Lourdes Artica Cosme | primer miembro |
| 3. Carlos Enrique Sánchez Ocharán | segundo miembro |
| 4. Eskim Santiago Valverde Obregón | asesor(a) |

Se reunieron para la sustentación virtual de la tesis titulada **Diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores en La Punta, Callao** que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Tania Milagros Mego Jimenez**, cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el jurado acuerda:

APROBAR **X**
DESAPROBAR ...

La tesis, con el calificativo de **BUENA** y eleva la presente acta al decanato de la Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales, a fin de que se declare EXPEDITA para conferirle el TÍTULO de INGENIERO AMBIENTAL.

Lima, 26 de abril de 2024.


Claudia Daniela Ramos Delgado
Presidente


Natividad Lourdes Artica Cosme
1° miembro


Carlos Enrique Sánchez Ocharán
2° miembro


Eskim Santiago Valverde Obregón
Asesor(a)

Anexo 2**CARTA DE CONFORMIDAD DEL ASESOR(A) DE TESIS / INFORME ACADÉMICO/ TRABAJO DE INVESTIGACIÓN/ TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL CON INFORME DE EVALUACIÓN DEL SOFTWARE ANTIPLAGIO**

Lima, 26 de Julio de 2024

Señor(a),
Wilfredo Mendoza Caballero
Jefe del Departamento de Investigación
Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales

Reciba un cordial saludo.

Sirva el presente para informar que **la tesis** / informe académico/ trabajo de investigación/ trabajo de suficiencia profesional, bajo mi asesoría, con **título:** Diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores en La Punta, Callao, presentado por Tania Milagros Mego Jimenez (código de estudiante 2012101083 y DNI 74360795) para optar el **título profesional**/grado académico de Ingeniero Ambiental ha sido revisado en su totalidad por mi persona y **CONSIDERO** que el mismo se encuentra **APTO** para ser sustentado ante el Jurado Evaluador.

Asimismo, para garantizar la originalidad del documento en mención, se le ha sometido a los mecanismos de control y procedimientos antiplagio previstos en la normativa interna de la Universidad, **cuyo resultado alcanzó un porcentaje de similitud de 1% (poner el valor del porcentaje)**. Por tanto, en mi condición de asesor(a), firmo la presente carta en señal de conformidad y adjunto el informe de similitud del Sistema Antiplagio Turnitin, como evidencia de lo informado.

Sin otro particular, me despido de usted. Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, appearing to be 'Eskim Santiago Valverde Obregon', is positioned above a horizontal line.

Firma

Eskim Santiago Valverde Obregon

DNI N°: 45441025

ORCID: 0009-0006-6543-6931

Facultad de Ciencias Agrarias y Ambientales - UCSS

* De conformidad con el artículo 8°, del Capítulo 3 del Reglamento de Control Antiplagio e Integridad Académica para trabajos para optar grados y títulos, aplicación del software antiplagio en la UCSS, se establece lo siguiente:

Artículo 8°. Criterios de evaluación de originalidad de los trabajos y aplicación de filtros

El porcentaje de similitud aceptado en el informe del software antiplagio para trabajos para optar grados académicos y títulos profesionales, será máximo de veinte por ciento (20%) de su contenido, siempre y cuando no implique copia o indicio de copia.

DEDICATORIA

Dedicada a aquellas personas que estuvieron presentes y me apoyaron en el camino de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Gracias al universo que me mostró el camino de la ciencia y me permitió llegar hasta este punto para poder disfrutar de la naturaleza y su infinita belleza.

Agradezco a Dios por haberme dado una familia que me enseñó que con sacrificio, humildad y esfuerzo se enfrenta cualquier adversidad para lograr tus metas.

Agradezco a mi familia por su apoyo, quienes me dieron su cariño, lecciones de vida y ayuda; gracias a mi madre Dora, a mi hermana Sonia, a mi padre Gustavo, a mi cuñado Juan y a mi hermosa sobrina Daniela Sofía. Como olvidar a Hashi, Nana, Hari y Shiro, que me acompañaron en las madrugadas a culminar mi investigación. Por todos aquellos que estuvieron conmigo les estoy muy agradecida.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general.....	viii
Índice de tablas	x
Índice de figuras.....	xii
Índice de apéndices.....	xiv
Resumen.....	xvi
<i>Abstract</i>	xvii
Introducción.....	1
Objetivos.....	2
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas especializadas	11
1.2.1. Aguas residuales	11
1.2.2. Tratamiento de las aguas residuales municipales	11
1.2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales.....	12
1.2.4. Calidad del agua.....	17
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
2.1. Diseño de la investigación	22
2.2. Lugar y fecha.....	22
2.3. Descripción del experimento.....	25
2.3.1. Caracterización del agua residual municipal del distrito de La Punta, Callao....	26
2.3.2. Diseño total del reactor anaerobio	27
2.3.3. Diseño del filtro percolador	30
2.3.4. Construcción de las estructuras a escala de laboratorio	32
2.3.5. Evidencia de la remoción de la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales.....	32

2.4.	Tratamientos	33
2.5.	Unidades experimentales	35
2.6.	Identificación de las variables y su mensuración	36
2.7.	Diseño estadístico del experimento	36
2.8.	Análisis estadístico de datos	37
2.9.	Materiales y equipos.....	37
2.9.1.	Materiales de campo	37
2.9.2.	Reactivos.....	37
2.9.3.	Materiales de gabinete	37
CAPÍTULO III: RESULTADOS		38
3.1.	Caracterización inicial del agua residual municipal del distrito de La Punta	38
3.2.	Diseño del sistema de tratamiento de un reactor anaerobio modular.....	42
3.2.1.	Construcción de las estructuras a escala de laboratorio	42
3.3.	Evidencia del funcionamiento del sistema de tratamiento	48
CAPÍTULO IV: DISCUSIONES		59
4.1.	Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual municipal tratada del punto de muestreo del distrito de La Punta.....	59
4.2.	Evaluación de las tres propuestas de diseño para el tratamiento de aguas residuales municipales según las necesidades del distrito.....	60
4.3.	Evidencia de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.....	61
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES		64
CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....		65
REFERENCIAS		67
TERMINOLOGÍA.....		72
APÉNDICES		74

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Ventajas y desventajas de un reactor anaerobio modular</i>	13
Tabla 2. <i>Ventajas y desventajas de un humedal artificial</i>	15
Tabla 3. <i>Ventajas y desventajas de la laguna de estabilización</i>	16
Tabla 4. <i>Requisitos para toma de muestras y preservación para el monitoreo del agua residual</i>	18
Tabla 5. <i>Conservación y preservación de la muestra de agua según el parámetro a evaluar</i>	20
Tabla 6. <i>Esquema de la metodología de la ejecución de la tesis</i>	25
Tabla 7. <i>Criterios recomendados para la medición de los parámetros en la caracterización del agua residual municipal</i>	26
Tabla 8. <i>Criterios de diseño para el tanque de sedimentación primaria</i>	28
Tabla 9. <i>Criterios de diseño el reactor anaerobio</i>	28
Tabla 10. <i>Criterios de diseño para el lecho de secado de lodos</i>	30
Tabla 11. <i>Criterios de diseño para el filtro percolador</i>	31
Tabla 12. <i>Tratamientos empleados a partir del agua residual municipal de los puntos de muestreo de la red de alcantarillado secundario</i>	33
Tabla 13. <i>Mensuración de las variables</i>	36
Tabla 14. <i>Caracterización inicial de los parámetros de la muestra de agua residual municipal del distrito de La Punta</i>	39
Tabla 15. <i>Toma de muestra de agua residual municipal según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados</i>	41
Tabla 16. <i>Punto de muestreo N°1</i>	52
Tabla 17. <i>Punto de muestreo N°2</i>	53
Tabla 18. <i>Punto de muestreo N°3</i>	54
Tabla 19. <i>Toma de muestra N°1 de agua residual según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados</i>	55

Tabla 20. <i>Toma de muestra N°2 de agua residual según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados</i>	56
Tabla 21. <i>Toma de muestra N°3 de agua residual municipal según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados</i>	57

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Mapa distrital de La punta, Callao.....	23
<i>Figura 2.</i> Muestra N°1 de la plaza José Gálvez del distrito de La Punta.....	23
<i>Figura 3.</i> Muestra N°2 de la zona comercial del distrito de La Punta.....	24
<i>Figura 4.</i> Muestra N°3 de la zona residencial del distrito de La Punta.....	24
<i>Figura 5.</i> Apoyo de la municipalidad de La Punta en destapar los buzones.....	34
<i>Figura 6.</i> Punto de muestreo.....	40
<i>Figura 7.</i> Análisis de la temperatura de la muestra de agua residual municipal.....	41
<i>Figura 8.</i> Construcción de las estructuras.....	43
<i>Figura 9.</i> Sedimentador primario con baffles y tolvas.....	43
<i>Figura 10.</i> Sedimentador secundario, con baffles y tolvas.....	44
<i>Figura 11.</i> Vertederos triangulares y válvulas.....	44
<i>Figura 12.</i> Reactor anaerobio con sus tres divisiones y baffles.....	45
<i>Figura 13.</i> Tapa con tubos de escape para el control de gases.....	45
<i>Figura 14.</i> Fuga a través de las paredes de acero galvanizado del sedimentador secundario.....	46
<i>Figura 15.</i> Fuga en las conexiones de la tubería de las tolvas del sedimentador secundario.....	47
<i>Figura 16.</i> Manejo de lodos del sedimentador primario.....	48
<i>Figura 17.</i> Muestreo del punto N°3.....	49
<i>Figura 18.</i> Llenado del sistema de tratamiento.....	50
<i>Figura 19.</i> Comparación entre la caracterización inicial y los puntos de muestreo del agua residual municipal del distrito de La Punta.....	51
<i>Figura 20.</i> Rotulado de las muestras del agua residual municipal.....	58
<i>Figura 21.</i> Tolvas del sedimentador primario.....	92
<i>Figura 22.</i> Diseño del sedimentador primario.....	93
<i>Figura 23.</i> Cámaras del reactor anaerobio.....	96

<i>Figura 24.</i> Diseño del reactor anaerobio	98
<i>Figura 25.</i> Tolvas del sedimentador secundario.....	101
<i>Figura 26.</i> Diseño del sedimentador secundario	104

ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Ecuaciones para el sedimentador primario y secundario de un reactor anaerobio modular.....	74
Apéndice 2. Ecuaciones para el filtro percolador de un reactor anaerobio modular	85
Apéndice 3. Ecuaciones para un humedal artificial.....	87
Apéndice 4. Ecuaciones para una laguna de estabilización	88
Apéndice 5. Diseño del sedimentador primario y secundario de un reactor anaerobio modular.....	90
Apéndice 6. Diseño del filtro percolador de un reactor anaerobio modular.....	105
Apéndice 7. Diseño de un humedal artificial.....	107
Apéndice 8. Diseño de una laguna de estabilización.....	108
Apéndice 9. Vista derecha del modelo completo del reactor anaerobio modular	110
Apéndice 10. Vista isométrica superior este del reactor anaerobio modular.....	111
Apéndice 11. Registro de cadena de custodia de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.	112
Apéndice 12. Primera página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.....	113
Apéndice 13. Segunda página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.....	114
Apéndice 14. Tercera página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.....	115
Apéndice 15. Registro de cadena de custodia del muestreo del agua residual municipal de La Punta.....	116
Apéndice 16. Primera página de los resultados de laboratorio del muestreo del agua residual municipal de La Punta.	117
Apéndice 17. Segunda página de los resultados de laboratorio del muestreo del agua residual municipal de La Punta.	118

Apéndice 18. Tercera página de los resultados de laboratorio del muestreo del agua residual municipal de La Punta.	119
--	-----

RESUMEN

La municipalidad distrital de la Punta cuenta con un tanque cisterna de 3 000 gal de agua potable para el riego de las 4,2 ha de áreas verdes actuales. El proceso de la investigación incluyó el diseño, construcción y ejecución de un reactor anaerobio modular con un filtro percolador a escala de laboratorio, para evidenciar la eficiencia de remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos y reutilizar el agua residual en las áreas verdes del distrito de La Punta, una zona urbana con escasa extensión de terreno disponible. Se realizó la caracterización inicial del agua residual municipal, considerando el protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las PTAR domésticas o municipales R.M. N° 273-2013-VIVIENDA y los límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales D.S. N° 003-2010-MINAM. Se midieron los parámetros fisicoquímicos DBO₅, DQO, SST, AyG, T y pH; también el parámetro microbiológico coliformes termotolerantes y se registró la fecha y hora de muestreo. Los resultados del laboratorio alcanzaron una remoción promedio de 82,01 % de DBO₅, 78,53 % de DQO, 36,04 % de SST y 99,11 % de AyG. Además, se cumplió con la tasa de biodegradabilidad en los tres reactores anaerobios modulares analizados.

Palabras clave: *Agua residual, análisis del agua, calidad del agua, muestreo de aguas, tratamiento del agua.*

ABSTRACT

The district municipality of La Punta has a 3 000 gallon drinking water tanker for irrigation of the current 4,2 hectares of green areas. The research process included the design, construction and execution of a modular anaerobic reactor with a trickling filter on a laboratory scale, to demonstrate the efficiency of removal of physicochemical and microbiological parameters and reuse wastewater in the green areas of the district of La Punta, an urban area with a small area of available land. The initial characterization of municipal wastewater was carried out, considering the quality monitoring protocol for effluents from domestic or municipal WWTPs R.M. N° 273-2013-VIVIENDA and the maximum permissible limits for effluents from domestic or municipal WWTPs D.S. N° 003-2010-MINAM. The physicochemical parameters BOD₅, COD, TSS, O&F, T and pH were measured; also, the microbiological parameter thermotolerant coliforms and the date and time of sampling were recorded. The laboratory results reached an average removal of 82,01 % of BOD₅, 78,53 % of COD, 36,04 % of TSS and 99,11 % of O&F. Furthermore, the biodegradability rate was met in the three modular anaerobic reactors analyzed.

Key words: *Water treatment, Wastewater, Water quality, Water analysis, Water sampling.*

INTRODUCCIÓN

La municipalidad distrital de la Punta no dispone de agua suficiente para el riego total de sus 4,2 ha de parques y jardines cubiertos por césped y arreglos de plantas de flores, los cuales son regados con agua potable.

Actualmente el distrito de La Punta no presenta un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales. La municipalidad para realizar el riego de sus áreas verdes utiliza agua potable administrado por la municipalidad provincial del Callao, que le brinda una cisterna de 3 000 gal diarios para abastecer su perímetro de áreas recreativas (Municipalidad Distrital de La Punta, 2019).

Esta investigación se enfoca en brindar una alternativa de solución mediante la elaboración de un modelo de diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales utilizando en el proceso un filtro percolador como una alternativa adecuada para una zona urbana con escasa extensión de terreno disponible. Esta tesis es beneficioso para el distrito porque logrará en su gestión el título de un municipio ecoeficiente por el reutilizar sus recursos hídricos para el riego de parques y jardines.

Para el desarrollo de esta investigación se realizó la caracterización del agua residual municipal para obtener un análisis fisicoquímico del punto de muestreo de la red de alcantarillado del distrito. Además de presentar un modelo de diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales municipales a escala de laboratorio, empleando un filtro percolador como una tecnología que garantiza un proceso eficiente en la descontaminación del agua (Ministerio del Ambiente, 2009); siendo su efluente direccionado para el riego de áreas verdes.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar la eficiencia del diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales municipales utilizando un filtro percolador para el distrito de La Punta, Callao.

Objetivos específicos

- Realizar la caracterización fisicoquímica y microbiológica del agua residual municipal del distrito de La Punta.
- Determinar alternativas de diseño para el tratamiento de aguas residuales municipales según las necesidades del distrito.
- Evidenciar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento de un reactor anaerobio modular para una zona urbana con escasa extensión de terreno.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Internacionales

Ronquillo (2016) en la investigación titulada “Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales para ser utilizada en el riego del parque Samanes”, se realizó en la ciudad de Guayaquil en Ecuador. El autor tuvo como objetivos la caracterización del agua residual proveniente de las lagunas de oxidación; además del diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales. El tipo de tratamiento que escogió el autor para la planta de tratamiento de aguas residuales para el Parque Samanes fueron filtros de tasa alta usado para diseños económicos en áreas verdes, las tasas de filtración fueron mayores que los filtros rápidos convencionales, como el filtro de tipo gravedad, ya que el agua residual pasó a través de dos o más capas en forma descendente; la capa superior estuvo compuesta de gránulos grandes con poca densidad y las siguientes capas los gránulos fueron más pequeños, pero la densidad fue más grande y estuvieron compuestos de arena y antracita. Los resultados de varios parámetros confirmaron que la concentración de los sólidos disueltos totales fue inferior al límite impuesto por la norma a diferencia de las muestras de aluminio, arsénico, mercurio, plomo y otros metales que fueron menores al límite establecido (más de cien veces menor en el caso del aluminio, ya que fue más de treinta veces menor en el caso del arsénico, cuatro veces menor para el mercurio, siete veces menor para el bario, diez veces menor en el caso del manganeso y fueron cien veces menor en el caso del plomo). Los resultados que sí cumplieron con los límites máximos permisibles fue la conductividad eléctrica con 1,74 mmhos/cm, la salinidad fue <1 go/oo, los sólidos disueltos totales fueron de 870 mg/L, los cloruros fueron de 0,12 meq/L y el pH de 7,6. Mientras que los parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles fueron la DBO₅ con 51 mg/L, la DQO con 107 mg/L, los aceites y grasas fueron <0,44 mg/ y coliformes totales fueron de >24 196 NMP/100 mL.

En conclusión, utilizó un sistema de filtros de tasa alta y rápida por gravedad para la implementación de un sistema terciario que logró el cumplimiento de los valores máximos admisibles y de un sistema de riego necesario para abastecer el riego de las áreas verdes del parque Samanes.

Arévalo y Roncancio (2015) en el trabajo de tesis titulado “Evaluación de alternativas de tratamiento de agua residual doméstica para reúso en irrigación en una hospedería en el municipio de villa de Leyva, Boyacá”, tuvieron como objetivo evaluar las alternativas apropiadas para el tratamiento del agua con el fin de mitigar los efectos del desabastecimiento en época de sequía. Para este estudio los autores emplearon la metodología descriptiva y de diseño experimental. Área de estudio ubicado en el municipio de Villa de Leyva, departamento de Boyacá en Colombia. Durante la investigación plantearon tres alternativas más viables para el tratamiento del agua residual doméstica; por el cual los resultados de laboratorio del agua residual doméstica para una planta de tratamiento de agua residual (PTAR) proporcionaron datos que cumplieron con los límites máximos permisibles, ya que para la DBO₅ fue de 68,6 mg/L, la DQO fue de 79,78 mg/L y los coliformes totales fueron de 40 000 NMP/100 mL. Los resultados de laboratorio para la alternativa de humedales artificiales mostraron que la DBO₅ fue de 34,3 mg/L, la DQO fue de 79,78 mg/L, los aceites y grasas fueron de 16,8 mg/L y los coliformes totales fueron de 20x10³ NMP/100 mL, los aceites y grasas tuvieron un resultado de 25,2 mg/L; no cumplieron con los límites máximos permisibles. Los resultados de laboratorio para la alternativa de una laguna de estabilización determinaron que la DBO₅ fue de 17,5 mg/L, la DQO fue de 39,89 mg/L y de los aceites y grasas fueron de 4,2 mg/L; los cuales cumplieron con los límites máximos permisibles. Por último, concluyeron que una Planta de Tratamiento de Agua Residuales requiere un espacio adecuado por su bajo costo y es eficiente en la remoción de diferentes contaminantes, ya que las alternativas de la laguna de estabilización y el humedal requieren un mayor espacio del cual no cuenta la hospedería para su implementación.

Morán (2014) en el estudio titulado “Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz”, realizada en el país de Guatemala; su objetivo fue analizar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del

agua residual. Para el trabajo de investigación utilizó la metodología tipo descriptivo y logró determinar que existió un nivel de contaminación de los cuerpos de agua del municipio y con base a los resultados desarrolló una propuesta para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales acorde a las necesidades del municipio de San Juan Chamelco. El tesista tomó en cuenta en su investigación el 25 % de la población del área urbana del municipio de San Juan Chamelco. Durante el desarrollo de su investigación dividió en dos fases las muestras recolectadas en el desfogue de la red de alcantarillado y analizarlo con el fin determinar la carga contaminante del agua residual. Utilizó programas software ArcGIS para la elaboración de mapas del municipio, asimismo el software Google Sketchup 8 para la elaboración de los planos de las distintas unidades del sistema de la planta de tratamiento de aguas residuales. Determinó según los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual del municipio de San Juan Chamelco, los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se encontraron por arriba del límite permisible fueron DQO a 270 mg/L, las grasas y aceites a 22,3 mg/L, los sólidos suspendidos a 31 mg/L y los coliformes fecales a 5×10^7 NMP/100 mL, además, la DBO₅ a 216 mg/L presentó una mayor remoción a 24,58 mg/L en el diseño final del sistema de tratamiento; mientras que el pH a 6,98 y la temperatura a 4 °C estuvieron dentro del rango del límite permisible. Finalmente, el autor concluyó que el sistema de tratamiento más adecuado incluyó un medidor de caudal tipo Parshall el cual cumplió con la remoción de contaminantes en base a los límites máximos permisibles reutilizando la disposición de lodos para las áreas verdes como fertilizantes y material de relleno.

Valencia (2013) en el trabajo de investigación tesis titulada “Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis, provincia de Chimborazo”, realizada en Ecuador. El autor tuvo como objetivos determinar el caudal de las aguas residuales provenientes de las descargas de la Cabecera Parroquial de San Luis, realizar un diagnóstico sobre el estado actual del sistema de alcantarillado y una caracterización física, química y microbiológicamente las aguas residuales del río Chibunga. El autor realizó una investigación metodológica tipo descriptiva y propuso realizar una planta de tratamiento utilizando softwares como el programa EXCEL, el programa de diseño AUTO CAD y la aplicación CIVIL CAD. La metodología consistió en la medición de los caudales de las descargas domésticas de la Cabecera Parroquial de

San Luis donde realizó mediante la aplicación del método volumétrico y la recolección de muestras de agua residual de tipo compuesto en función del caudal, es decir que se recolectó una muestra compuesta con un volumen final de 3 litros conformada por cinco muestras puntuales. Los resultados de los análisis de laboratorio demostraron que la concentración final de la DQO fue de 46,93 mg/L, los sólidos sedimentables 0,11 mg/L, los sólidos suspendidos 8,85 mg/L fueron excluidos del texto unificado de legislación ambiental secundario (TULAS); mientras los coliformes fecales fue de 8×10^7 UFC/100 mL, los aceites y grasas fueron de 51,93 mg/L y la DBO₅ fue de 169,33 mg/L; es decir, cumplieron con los límites permisibles. Además, rediseñó una red de alcantarillado combinado de 4 447 m de longitud para un caudal mínimo de 28,06 L/s y un máximo de 33,91 L/s. El autor concluyó que la planta de tratamiento compuesta por tres etapas de tratamiento, dos tratamientos convencionales y un tratamiento natural de depuración con una eficiencia total promedio del 83 % cumplió de manera efectiva con la normativa ambiental de Ecuador.

Nacionales

Jaramillo y Paredes (2019) en la investigación titulada “Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas”, realizada en la urbanización Santa Lucía del departamento de San Martín, Perú. Los tesisistas tuvieron como objetivos diseñar y construir un sistema de dos filtros percoladores en base a la caracterización del agua residual doméstica del área urbana estudiada y la eficiencia del sistema de filtros percoladores. Los autores evaluaron los parámetros de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, entre otros; cuya investigación presentada emplearon la metodología descriptiva y de un diseño experimental. Implementaron el diseño de dos filtros percoladores uno sobre el otro, de tal forma que se aprovechó la gravedad para la recirculación del agua residual, ya que la geometría de los filtros fue prismática y cuyas bases fueron hexágonos regulares. Realizaron la medición de caudal empleando el método volumétrico para ejecutar pruebas hidráulicas del sistema de filtros percoladores en serie, con el fin de verificar el correcto funcionamiento del prototipo. Los resultados de laboratorio determinaron cinco parámetros de calidad del agua residual como la DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, pH y temperatura; los cuales la DBO₅ y DQO superaron los límites máximos permisibles del D.S. N° 003-2010-MINAM, mientras que los parámetros sólidos

suspendidos totales y temperatura encontraron por debajo de los límites máximos permisibles, además el pH estuvo dentro del límites máximos permisibles. El monitoreo que realizaron los autores de las variables de operación de los filtros observó que el caudal empírico disminuyó conforme pasaron los días debido a que el sistema de filtros operó con recirculación mientras que la carga orgánica se mantuvo en promedio en 1,90 kg/día. La investigación concluyó que fue eficiente en la remoción de la DBO₅ fue de 98,12 %, para la DQO fue de 96,36 % y 95,76 % para los sólidos suspendidos totales con filtros percoladores en el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Ugaz (2018) en la investigación titulada “Reúso de aguas residuales tratadas biológicamente, para el regadío del jardín botánico”, fue realizado en la ciudad de Trujillo en Perú. Los objetivos fueron el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales biológicas utilizando plantas acuáticas y lechos filtrantes; además de un diseño agronómico, hidráulico y estructural de un sistema de riego por aspersión para las áreas verdes. Para este estudio utilizó el método descriptivo y diseño experimental. La metodología que empleó fue el tratamiento preliminar con el objeto de eliminar sólidos suspendidos de gran tamaño que afecten negativamente a los biofiltros, el tratamiento secundario combinando la acción mecánica de retención de las materias en suspensión mediante la filtración la intervención de microorganismos y el tratamiento terciario con un sistema de desinfección para la reducción de coliformes. El material de estudio que utilizó el autor en la investigación fueron los resultados de los análisis del laboratorio de SEDALIB y utilizó el programa software AutoCAD para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales. Además, diseñó un sistema de riego por aspersión para el riego de las áreas verdes del jardín botánico. Obtuvo como resultado un porcentaje de remoción de la variable tratada de la DBO₅ de 92,2 % en la cantidad de oxígeno de microorganismos como bacterias aerobias o anaerobias facultativas, hongos y plancton durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra de agua residual. El resultado de laboratorio de la DQO obtuvo un porcentaje de remoción de la variable tratada 86,2 %. En tanto, los sólidos suspendidos fueron removidos al 96,3 %, el fósforo al 63,9 %, el nitrógeno total al 9,5 %, las grasas y aceites al 95,2 %, los coliformes fecales al 94,6 % y la temperatura del agua residual redujo en un 16 % después de ser tratada. En conclusión, la investigación que utilizó tratamientos con biofiltros generó una remoción superior al 90 %.

Bendezu y Martínez (2017) en el trabajo de tesis titulado “Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores lodos anaeróbicos ecológicos para el distrito de Huancayo, provincia de Huancayo, Junín” en Perú. La investigación tuvo como objetivo comparar y evaluar el análisis de la remoción de DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y producción de lodos. El estudio fue aplicado para tres modelos de diseños de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores con un tanque Imhoff, un digestor y un reactor anaerobios de flujo ascendente. El análisis de datos del análisis bacteriológico fue recolectado por muestras de agua residual durante ocho meses directamente lo más cerca al centro del cuerpo de agua de la descarga al río. Los resultados obtenidos del parámetro de la DBO₅, el filtro percolador con un tanque Imhoff tuvieron una remoción de 72,06 mg/L, con un digestor anaerobio tuvieron una remoción de 76,05 mg/L y con un reactor anaerobio de flujo ascendente tuvieron una remoción de 28,96 mg/L, cuyo último modelo tuvo una mejor remoción de la DBO₅. Para el parámetro de la DQO, el filtro percolador con un tanque Imhoff tuvo una remoción de 477,75 mg/L, con un digestor anaerobio tuvo una de remoción de 307,13 mg/L y con un reactor anaerobio de flujo ascendente tuvo una remoción de 198,53 mg/L, siendo el primero quien tuvo una mejor remoción de DQO. Para el parámetro de sólidos suspendidos totales, el filtro percolador con un tanque Imhoff tuvo una remoción de 229,35 mg/L, con un digestor anaerobio tuvo de remoción de 248,77 mg/L y tuvo de remoción de 146,85 mg/L con un reactor anaerobio de flujo ascendente, siendo el segundo modelo quien tuvo una mejor remoción de sólidos suspendidos totales. Los autores concluyeron que la utilización de filtros percoladores y reactores anaerobios de flujo ascendente en una planta de tratamiento de aguas residuales tuvo una mejor remoción de las cargas contaminantes del agua residual doméstica.

Manzanares y Ricaldi (2017) realizaron la investigación titulada “Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclable a escala piloto”, el cual estuvo localizado en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo y departamento de Junín, Perú. Tuvieron como objetivo determinar el porcentaje de remoción de la materia orgánica de agua residual sintética con un filtro aerobio, la cual fue desarrollada a escala piloto conformada por 6 filtros aerobios. La metodología de la investigación estuvo basada en la biopercolación, es decir, el lento paso de un fluido a través de una pared biológica donde fueron formados los microorganismos aerobios y

anaerobios, con el fin de degradar la materia orgánica. El proceso del desarrollo de la investigación tuvo un periodo de adaptación de 4 semanas, en la cual los microorganismos fueron adheridos al medio filtrante e inició el tratamiento del agua residual sintética. Fue empleado para el tratamiento de las aguas residuales 6 reactores o filtros aerobios a base de material PVC, de las cuales 3 reactores fueron usados para el medio filtrante de caucho y los 3 reactores para el medio filtrante de polipropileno, además de un tanque plástico de 1 000 litros donde fue almacenada el agua residual sintética doméstica para distribuir el agua residual. De acuerdo con los resultados obtenidos del filtro aerobio con medio sintético de caucho y de caudal a 50 mL/min, alcanzaron un porcentaje de remoción de materia orgánica del 85,5 %, la remoción de DBO₅ a 52,2 mg/L; estando por debajo de los límites máximos permisibles en la quinta semana de implementado el sistema de tratamiento. Mientras que el filtro aerobio con medio sintético de polipropileno y de caudal a 50 mL/min, alcanzó en la quinta semana un porcentaje de remoción de materia orgánica del 69,83 %, la remoción de DBO₅ a 108,6 mg/L; estando por encima de los límites máximos permisibles. Los autores concluyeron que el sistema planteado el cual utilizó un filtro aerobio con medio sintético de caucho es eficiente para la remoción de la materia orgánica y la demanda bioquímica de oxígeno, puesto que permitió la descarga de los efluentes tratados a cuerpos receptores de agua dulce, ya que los resultados obtenidos mostraron valores inferiores a los límites máximos permisibles establecidos por la normativa ambiental.

Yucra (2016) en la investigación titulada “Influencia del PET reciclado en las características del agua residual doméstica mediante el proceso de filtro percolador para el distrito de Taraco, provincia de Huancane, región Puno” en Perú, tuvo como objetivo conocer la influencia en las características del agua residual doméstica usando PET reciclado como lecho filtrante en el filtro, dicho material usado determinó la influencia para la depuración de aguas residual doméstica reduciendo los contaminantes regulados por la norma para su vertimiento al cuerpo receptor. La metodología consistió en la toma de muestras de manera manual y la medición de caudales fue mediante el aforo volumétrico donde el autor utilizó un recipiente plástico con capacidad de 1 litro. Construyó el prototipo de un filtro percolador y lo adaptó a un tratamiento secundario donde removió contaminantes que presentaba el agua residual. Durante la construcción del filtro fueron utilizados cilindros metálicos y para retener el agua residual filtrada

empleó envases plásticos. Los resultados de laboratorio determinaron que el parámetro de coliformes termotolerantes excedió un porcentaje por mil lo cual el resultado fue alarmante, la demanda bioquímica de oxígeno excedió en un 197,54 %, la demanda química de oxígeno excedió en un 225,60 %, los sólidos totales en suspensión excedieron en un 594,00 % y en los parámetros de aceites y grasas, pH, temperatura estuvieron por debajo a los parámetros permitidos para su vertimiento de aguas residuales domésticas. Los resultados encontrados indicaron que la planta de tratamiento de aguas residuales del tipo sistema lagunar del distrito de Taraco no fue eficiente. El autor concluyó que la planta de tratamiento se encontró a una altitud de 3830 m s.n.m. llegó a una eficiencia promedio de 52,11 % y depuró los contaminantes de la DBO₅ y DQO.

Prado (2015) en la investigación titulada “Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la Línea 1 del metro de Lima” en Perú, tuvo como objetivos el realizar un diagnóstico de la disponibilidad de aguas residuales, caracterizar las aguas residuales disponibles en el Patio Taller, estimar la demanda de agua para el riego de las áreas verdes, además de analizar las alternativas para el tratamiento de las aguas residuales y el reúso en riego de áreas verdes. La autora analizó la calidad del agua residual mediante parámetros físicos, químicos y bacteriológicos. Para ello, extrajo muestras de agua de las redes de alcantarillado mediante el método volumétrico y vertedero, que permitió medir los caudales de acuerdo a las características de la descarga y lo realizó durante 7 días para cada ubicación de los puntos en los buzones de las redes de desagüe en el patio taller de la Línea 1 del metro de Lima. Evaluó la infraestructura y las condiciones del entorno del Patio Taller. Los análisis de laboratorio indicaron como resultado un pH de 7,8 el cual indicó un valor ligeramente alcalino y estuvo dentro del rango permisible para el riego de las áreas verdes; la temperatura promedio fue de 26,9 °C; la conductividad eléctrica fue de 1 124 us/cm el cual mostró que el riesgo de salinidad es medio y los cultivos al regar deben ser tolerantes a la salinidad. Los valores promedio de la DBO₅ fue de 300 mg/L y de la DQO fue de 500 mg/L, valores que estuvieron dentro del rango típico para aguas residuales domésticas. El factor DBO₅/DQO fue de 0,6, lo que indicó la posibilidad de degradar biológicamente el agua residual. La concentración de aceites y grasas fue de 16,6 mg/L, fue un valor bajo en comparación con los valores promedio para aguas residuales domésticas para el riego de las áreas verdes con agua tratada, según los parámetros requeridos por la agencia de protección ambiental de estados unidos debió de

ser menor a 10 mg/L. La concentración promedio de sólidos totales fue de 1 222 mg/L, la de sólidos suspendidos fue de 170 mg/L y la de sólidos sedimentables fue de 3 mg/L. La autora concluyó que debido a la limitada disponibilidad de terreno se optó por una planta de tratamiento compacta de aguas residuales de lodos activados con aireación extendida.

1.2. Bases teóricas especializadas

1.2.1. Aguas residuales

Según el Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (2014), las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Las aguas residuales presentan sistemas de tratamiento que son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se utilizan con la finalidad de depurar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita alcanzar la calidad requerida para su disposición final, o el aprovechamiento del agua residual (MINAM, 2009).

1.2.2. Tratamiento de las aguas residuales municipales

El tratamiento de las aguas residuales municipales son aquellas alternativas dirigidas hacia las plantas de tratamiento de aguas residuales a descontaminar el agua residual municipal con el objetivo de mejorar su calidad mediante procesos físicos, químicos y biológicos para el cumplimiento de las normas de calidad de un cuerpo receptor o las normas de reutilizarlo para la disposición final o aprovechamiento (D.S. N° 022-2009 [VIVIENDA]).

1.2.3. Sistemas de tratamiento de aguas residuales

Los sistemas de tratamiento de aguas residuales están divididos por dos tipos de procesos de tratamientos:

Procesos de tratamiento intensivo

La utilización de un proceso de tratamiento intensivo son para aquellas áreas que presentan limitaciones en la disponibilidad de terreno en zonas urbanas o cuando los costos de adquisición de estos terrenos son elevados, sobre todo, si las unidades de tratamiento deben de estar lo más cerca posible a la fuente generadora de aguas residuales y los puntos de descarga de las aguas residuales tratadas, para evitar sobrecostos de recolección, bombeo y distribución con fines de aprovechamiento del agua residual para la creación de áreas verdes urbanas (Autoridad Nacional del Agua, 2008).

Reactor anaerobio modular. Sistema de tratamiento intensivo biológico de tipo anaerobio, cuyo diseño permite mantener en suspensión el agua residual a tratar. Ingresan el afluente conducido por un manto de lodos que está conformado por microorganismos de tipo anaerobio (MINAM, 2009).

Es apropiado cuando se requiere una rápida instalación y puesta en marcha, puesto que sus características compactas permiten su rápida instalación (Tabla 1) (Autoridad Nacional del Agua, 2008). Las aguas residuales generadas son conducidas hacia una cámara de rejillas, donde son retenidos sólidos más grandes. Luego es dirigido por un desarenador de sólidos grandes y medianos, donde ocurre una sedimentación ligera.

Tabla 1*Ventajas y desventajas de un reactor anaerobio modular*

Ventajas	Desventajas
Debido a su modularidad, la capacidad del tratamiento está definida por el número de módulos que se instalen.	Es necesario la inoculación de bacterias anaerobias para el arranque general del reactor.
Permite que el tratamiento de aguas con una alta concentración de materia orgánica, reduciendo así el tamaño de cualquier unidad.	Proceso altamente sensible a cambios bruscos de carga orgánica anaerobia, en zonas que no sobrepasen la altitud de 1 500 m s.n.m. y trabaja bien con temperaturas superiores a 10 °C.
Por acción de la gravedad el flujo de agua puede darse, ya que no requiere energía para su operación.	La remoción de organismos patógenos es muy limitada, a menos que se complemente con lagunas de maduración y posterior desinfección UV o cloración para uso doméstico.
Al producir gas metano, puede ser utilizado como fuente de energía para el funcionamiento de las bombas de la planta y favorecer la eficiencia del proceso de digestión anaerobia.	Debido al proceso anaerobio se requiere de un tratamiento posterior, ya que el nitrógeno orgánico se transforma en amoníaco removiendo eficientemente la DBO ₅ en un 55 % de lo necesario.
Presión de lodos y gases del proceso de tratamiento, la extracción de los lodos facilita su manejo y aprovechamiento en la mejora del suelo de las áreas verdes.	No es recomendable para aguas con baja concentración de materia orgánica o aguas diluidas por lluvias, ya que reducen las bacterias anaerobias.

Nota: Elaboración propia a partir de MINAM (2009).

El siguiente proceso del agua residual es el que tienen contacto con un manto de lodos, donde la materia orgánica produce la digestión y se reduce la carga orgánica de manera significativa liberando gases. Finalmente, las aguas son usadas para riego de áreas verdes y los lechos de secado donde se deja reposar el lodo son usados como mejoradores de suelos (MINAM, 2009).

A. Diseño primario de un reactor anaerobio modular

Sedimentador. El reactor anaerobio modular se caracteriza por contener sólidos sedimentables y sólidos en suspensión, es decir, si un líquido contiene sólidos en

suspensión y se encuentra en estado de reposo, los sólidos de peso específico superior al del líquido tenderán a depositarse y los de menor peso específico a ascender; por lo tanto, un sedimentador cumple la función de trampa de grasas y retención de sólidos sedimentables (ver Apéndice 1) (Ipuz y Reyes, 2015).

B. Diseño secundario de un reactor anaerobio modular

Filtro percolador. El filtro percolador es un proceso que pone en contacto el agua residual por un medio impermeable al que se adhieren los microorganismos, es decir, biopelículas que se forman de bacterias, protozoarios y hongos por el cual la materia orgánica es degradada (ver Apéndice 2) (Bendezu y Martínez, 2017).

C. Diseño terciario de un reactor anaerobio modular

Tratamiento de lodos. Los sedimentadores primarios y secundario del reactor anaerobio modular generan lodos residuales, ya que están compuestos por sólidos y agua que se deben de deshidratar disminuyendo al máximo su humedad, por lo tanto, el buen manejo de la producción de lodos lleva a una adecuada disposición de su tratamiento (Ipuz y Reyes, 2015).

Procesos de tratamiento extensivo

Es recomendable utilizar este tipo de procesos cuando no existen restricciones en la disponibilidad de terreno, ambiental y social, o cuando las opciones tecnológicas presentan un menor costo de inversión, operación y mantenimiento para con fines de reúso del agua residual (Autoridad Nacional del Agua, 2008).

Humedal artificial. Los humedales artificiales son filtros biológicos, también llamados biofiltros que están agregadas de grava o piedra volcánica, sembrados con plantas de pantano, de los cuales las raíces de las plantas permiten el paso de aire de la atmósfera al subsuelo, con lo cual se agrega oxígeno al agua y se establece una población de bacterias aeróbicas capaces de descomponer la materia orgánica, utilizando la superficie del lecho filtrante para fijarse y formar una película bacteriana que les permite actuar mejor en el proceso de degradación (MINAM, 2009).

Los humedales artificiales, son aprovechados para el tratamiento de aguas residuales, debido a su gran capacidad depuradora de agua, con instalaciones que son semejantes a los humedales naturales presentando ecosistemas que son construidos con la finalidad de controlar la contaminación del agua; evidenciando ventajas y desventajas (Tabla 2) (Arévalo y Roncancio, 2015).

Romero (2004), citado por Arévalo y Roncancio (2015), determina el volumen que debe de tener un humedal artificial en un área amplia establecida, es decir, teniendo información del caudal máximo del lugar a evaluar y el tiempo de retención del humedal artificial, lo cual se demuestra en el Apéndice 3.

Tabla 2

Ventajas y desventajas de un humedal artificial

Ventajas	Desventajas
Estable en la operación, además de eficiente en la remoción de materia orgánica y nutrientes en condiciones que permiten la disposición del efluente en ambientes naturales.	Remoción de organismos patógenos muy limitada, se debe de complementar con desinfección UV o cloración doméstica.
Pueden operar sin ningún consumo energético, ya que el agua residual circula mediante un flujo horizontal o vertical.	Requiere de procesos de pretratamiento con el fin de evitar obstrucción del lecho filtrante, ya que se colmata rápido.
Presenta una integración en el medio rural y urbano, ya que se mimetiza con los parques y jardines.	Puede ocurrir que la vegetación no local no se adapte en zonas que no sobrepasen la altitud de 3 800 m s.n.m. y temperaturas inferiores a 1 °C.
Desarrolla un ecosistema con diversos vegetales, animales y microorganismos que se adaptan a este ambiente, ya que tienen la capacidad de eliminar cantidades grandes de materia orgánica, fosforo, sólidos de nitrógeno y en otros casos productos químicos del afluente.	Poca vigilancia y seguimiento del proceso ocasiona que el proyecto no tenga éxito.

Nota: Elaboración propia a partir de MINAM (2009).

Laguna de estabilización. Las lagunas de estabilización son estanques diseñados para el tratamiento de las aguas residuales, mediante procesos biológicos naturales que interactúan con las algas y bacterias aeróbicas presentes en la biomasa y la materia orgánica contenida en esa agua (MINAM, 2009).

Las lagunas que reciben agua residual cruda son lagunas primarias, debido a que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto; de éstas reciben el efluente las lagunas secundarias que tiene como objetivo la eliminación de bacterias patógenas, y así sucesivamente terciarias, cuaternarias, etc. Se evidencian las ventajas y desventajas de una Laguna de estabilización en la Tabla 3 (MINAM, 2009).

Romero (2005, citado por Arévalo y Roncancio 2015), determina el volumen, el área y el tiempo de retención hidráulico de la laguna primaria (laguna facultativa) a través de las fórmulas que se encuentran en el Apéndice 4.

Tabla 3

Ventajas y desventajas de la laguna de estabilización

Ventajas	Desventajas
Permite el aprovechar los efluentes por la gran capacidad de remover microorganismos patógenos.	La eficiencia depende de las características del efluente y para mejores resultados se necesita abarcar terreno para implementar más lagunas.
La eficiencia de remoción de contaminación del agua residual oscila entre 75 y 85 %, reusando el afluente.	Es necesario el monitoreo del color y apariencia de las lagunas; indican la presencia de cargas orgánicas, nutrientes y microorganismos.
Pueden operar sin ningún consumo energético, ya que no existen averías de carácter electromecánico.	La pérdida de agua por evaporación, presencia de malos olores y la no estabilización de la materia orgánica, son mayores por la gran área que abarca.
La producción de lodos es escasa y se pueden extraer después de 5 años.	No recomendable la instalación en zonas de temperatura menor a 15 °C, ya que disminuye su eficiencia.

Nota: Elaboración propia a partir de MINAM (2009).

1.2.4. Calidad del agua

La calidad de un ambiente acuático se define como una serie de concentraciones, especificaciones y aspectos físicos de sustancias orgánicas e inorgánicas, además de la composición y el estado de la biota acuática presente en el cuerpo de agua (Sierra, 2011).

Protocolo de monitoreo

El Protocolo de Monitoreo es aquel instrumento de gestión ambiental que es de cumplimiento obligatorio para efectuar monitoreos, supervisiones y fiscalizaciones ambientales (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

La recolección de una reducida porción del total del agua es aquel muestreo de un lugar y momento donde se obtiene la muestra, ya que la caracterización del ambiente de la toma de muestras involucra todo el proceso de la obtención física y el posterior el análisis de esta (R.M. N° 273-2013 VIVIENDA).

Georreferenciación del punto de muestreo

El muestreo debe tener una ubicación para identificar el punto de monitoreo utilizando una ficha de identificación (información registrada de los puntos de monitoreo) y confirmarse las coordenadas utilizando un equipo GPS (Resolución Jefatural 010, 2016), el mismo que se debe de registrar en coordenadas UTM y en el sistema WGS84 (R.M. N° 273-2013 VIVIENDA).

Recolección de muestras

Toma de muestras de agua residual. Es recomendable la utilización de frascos de plástico o de vidrio que tengan boca ancha con un cierre hermético y limpio, ya que el parámetro a analizar dependerá del tipo de frasco que se ha de usar. Además de la preparación de una lista de parámetros donde se evaluarán los frascos a utilizar en el muestreo del agua residual (R.M. N° 273-2013 VIVIENDA).

Preservación. Una vez tomada la muestra de agua, se procede de manera inmediata la adición del preservante para los parámetros que se están analizando (Resolución Jefatural 010, 2016). En la Tabla 4 se muestran los procesos de la toma de las muestras y su respectiva preservación según los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el monitoreo del agua residual municipal a analizar según el área a investigar.

Tabla 4

Requisitos para toma de muestras y preservación para el monitoreo del agua residual

Determinación / Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Preservación y concentración	Tiempo máx. de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	Frasco de plástico o equivalente y frasco de vidrio.	1 000 mL	No es ejecutable	15 min.
Potencial de hidrógeno (pH)	Frasco de plástico o equivalente y frasco de vidrio.	500 mL	No es ejecutable	15 min.
DBO ₅	Frasco de plástico o equivalente y 1frasco de vidrio.	1 000 mL	Refrigerar a 4 °C	48 horas
DQO	Frasco de plástico o equivalente y frasco de vidrio.	100 mL	Analizarlo rápido o agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2; refrigerar a 4 °C.	28 días
Aceites y grasas	Frasco de vidrio, ámbar boca ancha calibrado.	1 000 mL	Agregar HCl hasta pH < 2, refrigerar a 4 °C.	28 días
Sólidos suspendidos totales (SST)	Frasco de plástico o equivalente y frasco de vidrio.	100 mL	Refrigerar a 4 °C	7 días
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	Frasco de vidrio, esterilizado.	250 mL	Refrigerar a 4 °C y agregar tiosulfato en plantas con cloración.	6 horas

Nota: Resolución Ministerial 273 (2013). Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas.

Etiquetado y rotulado de las muestras de agua. Los frascos que contienen las muestras deben de ser etiquetados y rotulados, con letra clara y legible conteniendo la siguiente

información: Según el tipo de reactivo de preservación utilizado, se denominará el punto de monitoreo, el número de muestras según el orden de cada toma de muestra, la hora y fecha de la toma de muestra y la preservación realizada (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Almacenamiento. Los frascos de las muestras se almacenan en cajas herméticas de manera vertical con el objetivo que no sucedan derrames o que las muestras se expongan a la luz solar, además, que los frascos de vidrio de las muestras a analizar deben de estar embalados para evitar roturas y derramen en el transporte (Resolución Jefatural 010, 2016).

Conservación. Las muestras que han sido recolectadas deben de acondicionarse en cajas herméticas en un sistema de enfriamiento hasta los 4 °C con refrigerantes para ser conservadas hacia su transporte (Resolución Jefatural 010, 2016).

Transporte de las muestras. El transporte de las muestras debe de ser de manera inmediata hacia el laboratorio, la caja hermética debe de estar sellada garantizando el cumplimiento del tiempo de almacenamiento máximo de cada parámetro y la integridad de las muestras a analizar (Resolución Jefatural 010, 2016).

En la Tabla 5 se muestran las condiciones de conservación, preservación y almacenamiento de las muestras de agua residual a analizar teniendo en cuenta los parámetro fisicoquímico y microbiológico a evaluar del protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.

Tabla 5*Conservación y preservación de la muestra de agua según el parámetro a evaluar*

Parámetro	Tipo de recipiente	Condiciones de preservación y almacenamiento	Tiempo de almacenamiento
Químico – Físico			
Potencial de hidrógeno (pH)	Plástico o vidrio	Analizar de preferencia in situ	24 horas
Temperatura	Plástico o vidrio	Analizar de preferencia in situ	Inmediato
Conductividad eléctrica	Plástico o vidrio	Analizar de preferencia in situ.	24 horas
Turbiedad	Plástico o vidrio	Analizar de preferencia in situ y almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	24 horas
Color	Plástico o vidrio	Almacenar muestras a oscuras o usar botellas oscuras.	5 días
Demanda bioquímica de oxígeno en cinco días	Plástico o vidrio	Llenar recipiente sin presencia de burbujas y sellarlo. A temperaturas de -18 °C, almacenar y congelar las muestras en botellas oscuras o en un espacio oscuro.	24 horas
Demanda química de oxígeno	Plástico	Acidificar a pH 1-2 con H ₂ SO ₄ y congelar por debajo de -18 °C.	1 mes (6 meses si >50 mg/L)
Sólidos disueltos totales	Plástico o vidrio		6 meses
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio		7 días
	Plástico o vidrio		2 días
Orgánicos			
Aceites y grasas	Vidrio boca ancha	Acidificar a pH 1-2 con HCl, HNO ₃ o H ₂ SO ₄ .	1 mes

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Jefatural 010 (2016). Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos.

Tasa de biodegradabilidad

La demanda química de oxígeno como la demanda bioquímica de oxígeno se emplean para determinar la calidad del agua o la carga contaminante de un vertido, para diseñar las unidades de tratamiento biológico y para evaluar y/o controlar la eficiencia de los tratamientos (Morant, 2017).

La relación de estos dos parámetros fisicoquímicos es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido y en programas de simulación de plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que la DQO y DBO₅ permitiría determinar si la materia orgánica presente en el agua residual es biodegradable o no (Becerra *et al.*, 2014). La relación $DQO/DBO \geq 5$, nos indica que la materia orgánica no es biodegradable; mientras que para un agua residual doméstica la relación de la $DQO/DBO \leq 2,5$, nos indica que la materia orgánica es biodegradable, la cual es fácilmente removible por acción bacteriana y oxigenación adecuada (Morant, 2017).

La relación entre la DQO y la DBO es usada para estimar la biodegradabilidad de un vertido, es decir que la relación $DQO/DBO \geq 5$, nos indica que la materia orgánica no es biodegradable; mientras que la relación de la $DQO/DBO \leq 1,7$, nos indica que la materia orgánica es muy biodegradable, ya que para un agua residual doméstica esta relación oscila entre 2,0 y 2,5 (Morant, 2017).

Por lo tanto, la relación $DBO_5/DQO > 0,6$ nos permite inferir que la materia orgánica presente es biodegradable, la cual es fácilmente removible por acción bacteriana y oxigenación adecuada (Becerra *et al.*, 2014).

CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Diseño de la investigación

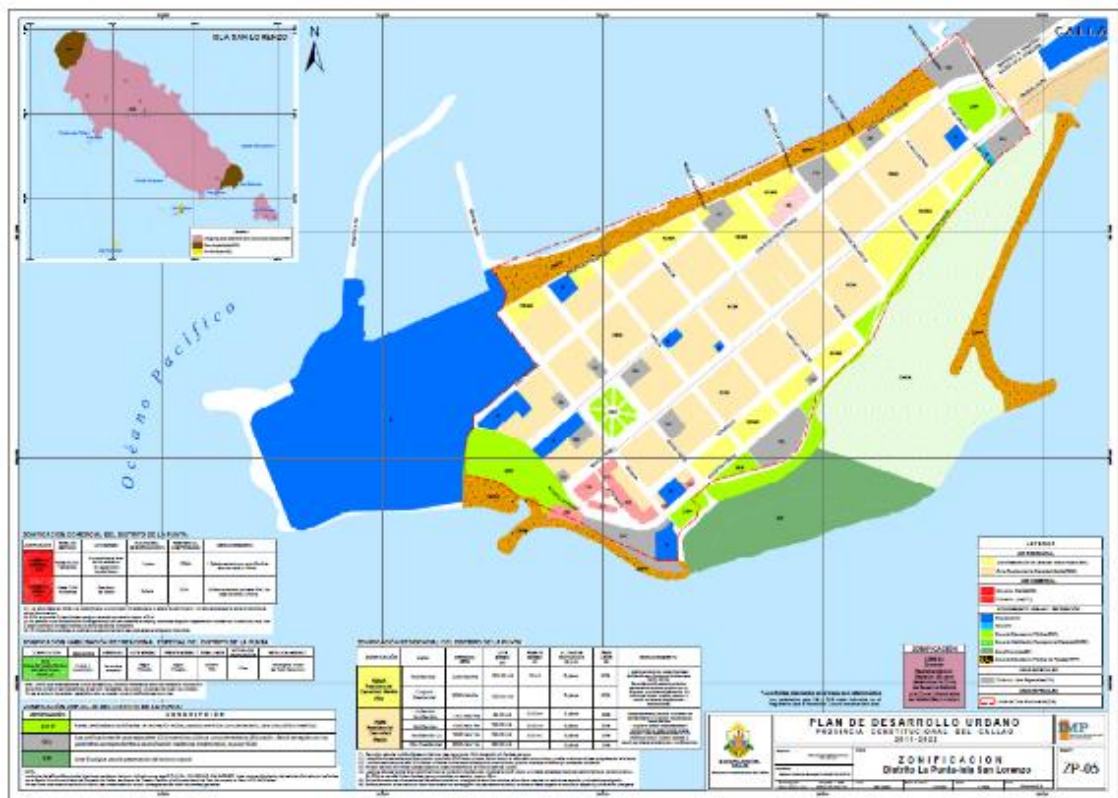
La presente investigación fue de tipo cuantitativo, ya que los datos fueron obtenidos de los resultados en laboratorio y en campo de la recolección del agua residual municipal de la red de alcantarillado del distrito de La Punta (Hernández *et al.*, 2014). Se diseñó un modelo metodológico de tipo experimental con el fin de evaluar los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos para el D.S. N° 004-2017-MINAM la categoría 3, subcategoría D1 en el enfoque del agua para riego no restringido y del D.S. N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

2.2. Lugar y fecha

El estudio de investigación se realizó en el distrito de La Punta, provincia constitucional del Callao, Departamento de Lima (Figura 1); se ejecutó durante el 22 de septiembre y el 17 de noviembre del 2021. Las muestras de agua residual municipal fueron recolectadas de los buzones de inspección de la red principal y secundaria de alcantarillado; en la plaza José Gálvez (Figura 2) ubicado en las coordenadas oeste $77^{\circ} 9' 29.3''$ y $12^{\circ} 4' 3.5''$ sur, en la zona comercial (Figura 3) en las coordenadas $77^{\circ} 9' 53.7''$ oeste y $12^{\circ} 4' 26.3''$ sur y en la zona residencial (Figura 4) en las coordenadas $77^{\circ} 9' 38.5''$ oeste y $12^{\circ} 4' 19.7''$ sur.

Figura 1

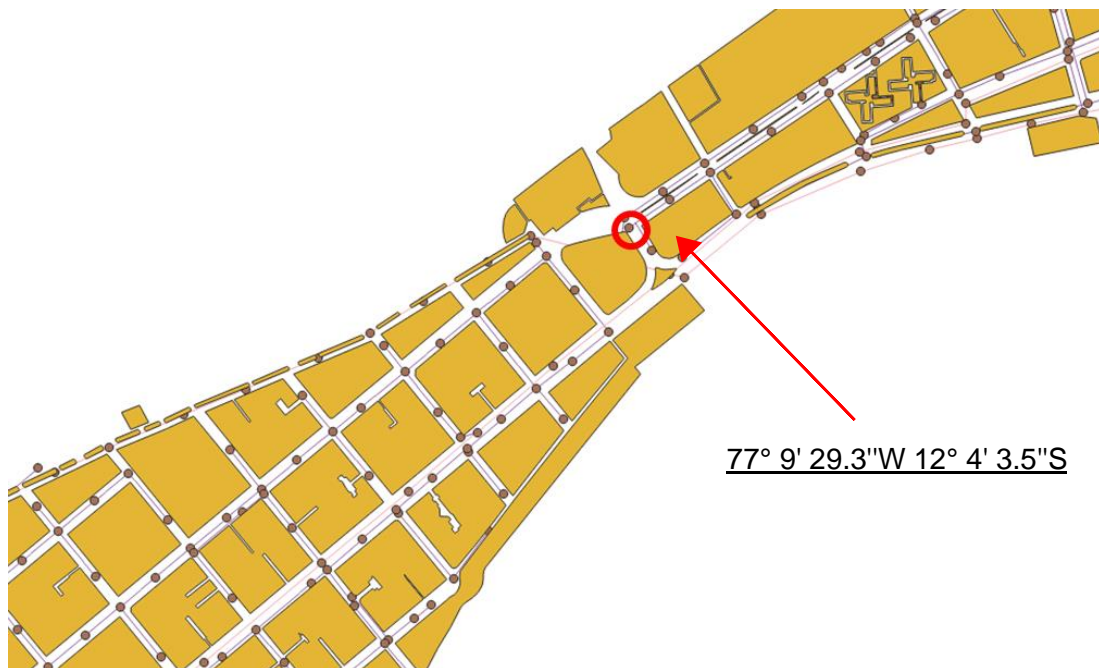
Mapa distrital de La punta, Callao



Nota: Mapa tomado de la Municipalidad provincial del Callao (2010).

Figura 2

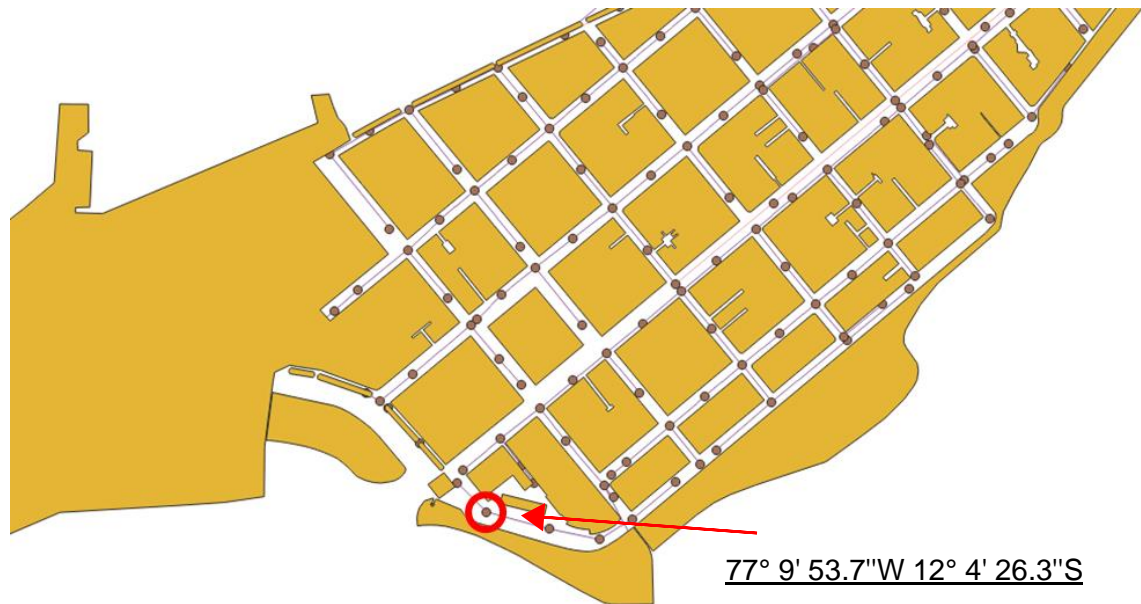
Muestra N°1 de la plaza José Gálvez del distrito de La Punta



Nota: Elaboración propia a partir del catastro brindado por SEDAPAL.

Figura 3

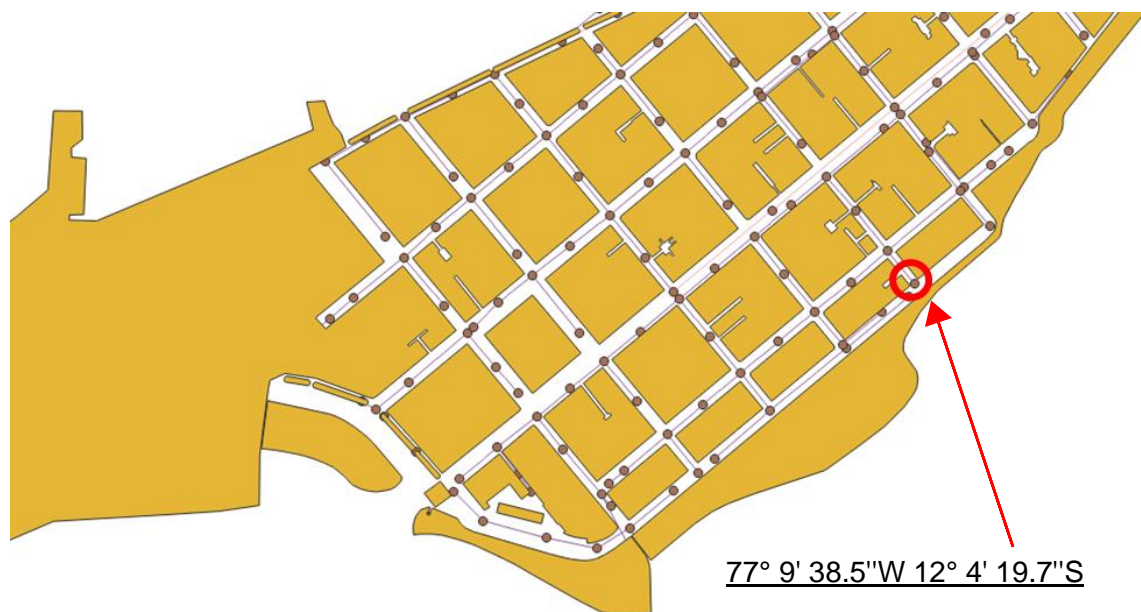
Muestra N°2 de la zona comercial del distrito de La Punta



Nota: Elaboración propia a partir del catastro brindado por SEDAPAL.

Figura 4

Muestra N°3 de la zona residencial del distrito de La Punta



Nota: Elaboración propia a partir del catastro brindado por SEDAPAL.

2.3. Descripción del experimento

En la Tabla 6 se presenta la metodología que se realizó durante todo el proceso en el diseño, construcción y ejecución de un reactor anaerobio modular utilizando un filtro percolador a escala de laboratorio.

Tabla 6

Esquema de la metodología de la ejecución de la tesis

Metodología	Descripción
Caracterización inicial	Muestras Medición de parámetros fisicoquímicos. Medición de parámetros microbiológicos.
Diseño del reactor anaerobio	Diseño del sedimentador Diseño del reactor anaerobio Diseño del sedimentador secundario
Preparación del medio de soporte	Filtro percolador
Construcción de las estructuras a escala de laboratorio	Fabricación de las unidades en planchas de acero galvanizado. Pruebas hidráulicas en las estructuras a escala de laboratorio.
Evidencia de la remoción de DQO y SST en la fase inicial	Muestreos para la medición de parámetros fisicoquímicos. Muestreos para la medición de parámetros microbiológicos.

El proceso de la investigación consistió en el diseño, construcción y ejecución de un reactor anaerobio modular a escala de laboratorio utilizando un filtro percolador, con el fin de reutilizar el agua residual municipal destinada a las áreas verdes de un distrito.

La tesis se desarrolló en una zona aireada a cielo abierto, utilizando las muestras del agua residual municipal del distrito de La Punta, Callao.

2.3.1. Caracterización del agua residual municipal del distrito de La Punta, Callao

Para la caracterización inicial del agua residual municipal fue utilizada una muestra simple. La toma de muestras se realizó teniendo en consideración el protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Tabla 7) (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]), luego se procedió a la medición de los parámetros en campo y por último el análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en el laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L.

Tabla 7

Criterios recomendados para la medición de los parámetros en la caracterización del agua residual municipal

Categoría / Parámetro	Parámetros de campo	Parámetros fisicoquímicos	Parámetros Microbiológicos
Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.	Temperatura, pH y hora de muestreo.	DBO ₅ , DQO, Sólidos suspendidos totales y aceite y grasas.	Coliformes termotolerantes.

Nota: Elaboración propia con base en el D.S. N° 003-2010-MINAM. Límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

Se extrajo el agua residual municipal del punto de salida de un buzón de inspección de la red principal de alcantarillado para un análisis general de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos que se realizaron en el laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L, con el fin de determinar la capacidad de los diferentes procesos del sistema de tratamiento de agua residual propuestos y garantizar su eficiencia.

Además, se expuso la importancia del proceso en un ambiente anaerobio que presenta el tratamiento de agua residual municipal para el desarrollo de la tesis.

2.3.2. Diseño total del reactor anaerobio

Diseño del sedimentador primario

En el diseño del sedimentador primario se consideró como primer componente la zona de entrada, una estructura hidráulica de transición que permitió dentro del sedimentador la distribución uniforme del flujo. El segundo componente fue la zona de sedimentación, es decir, un tanque de forma rectangular el cual brindó aquellas condiciones adecuadas para el asentamiento de las partículas. El tercer componente fue la zona de salida, que recolectó el efluente sin alterar la sedimentación de las partículas a través de vertederos o canaletas y por último el cuarto componente fue la zona de recolección de lodos por medio de tolvas piramidales que acumuló sólidos sedimentados y los evacuó periódicamente a través de válvulas de bola (Organización Panamericana de la Salud y Cooperación Suiza al Desarrollo en el Perú, 2005).

Además, se debe de considerar que la infraestructura de los tanques del sedimentador primario debe de estar libre de fugas (Bustos, 2012) ya que alteraría la calidad del agua del efluente y los análisis de laboratorio (Mina y Banguero, 2020).

En base a los criterios del Reglamento Nacional de Edificaciones, se especifica en la Tabla 8 el diseño de un sedimentador y se consideró los valores estándares para determinar las dimensiones del tanque (ver Apéndice 5).

Tabla 8*Criterios de diseño para el tanque de sedimentación primaria*

Parámetro de diseño	Valor	Unidades
Caudal	3 000	gal/día
Periodo de retención	1,5	Horas
Profundidad	1,80	Metros
Ancho	1,10	Metros
Largo	0,55	Metros
Carga hidráulica	0,3	m ³ / m ² . Día
Pendiente de la tolva de lodos	45	°

Nota: Elaboración propia con base en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

Diseño del reactor anaerobio

En la Tabla 9 se describe los criterios según la eficiencia para el diseño de un reactor anaerobio dependiendo del material de soporte, del sustrato bacteriano y su capacidad para degradar la materia orgánica considerando la investigación de Ipuz y Reyes.

Tabla 9*Criterios de diseño el reactor anaerobio*

Parámetro de diseño	Valor	Unidad
Carga orgánica para el agua residual municipal.	20,25	kg DQO/día
Relación del largo/profundidad de cada división	1,30 a 1,33	Metros
Profundidad	1,30	Metros
Ancho	1,33	Metros
Largo	4	Metros

Nota: Elaboración propia con base en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

Diseño del sedimentador secundario

Se tuvieron en cuenta, considerando la investigación de Ipuz y Reyes, los mismos componentes del sedimentador primario, se añadió al sedimentador secundario la obtención de un efluente más limpio y mayor almacenamiento de lodos al final del tratamiento; esto con el propósito de separar la biomasa en exceso producido en el filtro percolador (Decreto Supremo 022, 2009).

Diseño del lecho de secado de lodo

Cada sedimentador generó lodo residual municipal (Vasquez y Vargas, 2018), por el cual se diseñó para el sedimentador primario un lecho de secado y otro para el sedimentador secundario como se describe en la Tabla 10.

El diseño piramidal de las tolvas de los sedimentadores tiene la función de purga de lodos (Arocutipa, 2013) como un tanque de almacenamiento para el buen manejo de los lodos (Gualoto, 2016) donde se evacuarán y deshidratarán con el fin que quede el lodo sólido y se utilicen para su disposición final como fertilizante (Oropeza, 2006).

El lecho de secado es el método más simple y económico que está destinado a la deshidratación de lodos por filtración y evaporación; el medio de soporte estuvo constituido por una capa de 02 cm formada por el medio filtrante de arena, debajo de ésta se colocó un estrato de grava, ya que cada lecho de cada sedimentador posee una tubería de descarga con sus respectivas válvulas de bola para la conducción del lodo (VIVIENDA, 2009).

Tabla 10*Criterios de diseño para el lecho de secado de lodos*

Parámetro	Valor	Unidad
Lodo digerido	100 – 160	kg sólidos/m ² . año
Periodo de secado según clima	Cálido: 3 – 4 Frio: 4 – 8	Semanas
Profundidad	50 – 60	cm
Espesor del medio de drenaje	0,3	

Nota: Elaboración propia con base en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

2.3.3. Diseño del filtro percolador

Para conocer las dimensiones del método de tratamiento biológico con el medio filtrante de la Tabla 11, se realizó un diseño de forma prismática, cuyas bases son rectangulares con el fin de aprovechar el volumen del filtro percolador (ver Apéndice 6).

El filtro percolador realizó el tratamiento secundario del proceso de las aguas residuales municipales; su función es degradar la materia orgánica por medio de un medio filtrante, es decir, bacterias adheridas que generarán la remoción de la DBO₅, DQO y concentración de sólidos suspendidos (Bendezu y Martínez, 2017).

El sistema de distribución garantizó la repartición uniforme del efluente primario sobre la superficie del medio filtrante que promovió al desarrollo de la mayor cantidad de biopelículas y que permitió la libre circulación del líquido sin producir obstrucciones (VIVIENDA, 2009).

Tabla 11*Criterios de diseño para el filtro percolador*

Parámetro de diseño	Valor	Unidad
Profundidad del medio filtrante total	1,10	Metros
Profundidad del medio filtrante de tubos corrugados de PVC	0,85	Metros
Caudal de recirculación	7,58	m ³ /d
Remoción DBO ₅	23,3	%
Remoción DQO	21,5	%
Remoción sólidos suspendidos	64	%

Nota: Elaboración propia con base en el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

El medio de soporte de un reactor anaerobio modular es importante ya que aportará estabilidad y rigidez, permitiendo la adhesión y formación de biopelículas a la superficie y posterior a una degradación anaerobia. Por lo tanto, la preparación del medio de soporte estuvo conformado por tubos corrugados de PVC filtrantes que se asemejan a las rosetas de policloruro de vinilo.

Se cortaron tubos corrugados de PVC de 3/4" pulgadas con una altura de 3 cm que abarcaron los 1,50 m² del volumen total del filtro percolador y se tomó en cuenta la altura efectiva de 17 centímetros del compartimiento del filtro. Luego se agruparon en mallas de polipropileno de manera desordenada, con el fin de evitar caminos preferenciales dentro del reactor anaerobio y se aseguró un flujo ascendente uniforme.

Los tubos de escape de PVC se ubicaron en la parte superior, es decir que atraviesa la tapa del filtro percolador para la distribución del flujo de aire y producción de gases dentro del reactor (Ramos, 2022), ya que los gases son producidos por el incremento de temperatura y la temperatura óptima de 20 a 30 °C es la que favorecen a los microorganismos (Gutierrez, 2018) para la descomposición de la materia orgánica

presente en el reactor (Lozada y Gutiérrez, 2015) y su correcto funcionamiento del proceso biológico anaerobio (Mamani, 2018).

2.3.4. Construcción de las estructuras a escala de laboratorio

Las unidades para el tratamiento del sedimentador primario y secundario con sus componentes y la estructura exterior del filtro percolador (ver Apéndice 9), se fabricó cada una de las estructuras con el material de acero galvanizado (Gutierrez y Murillo, 2017) en relación con los costos de inversión inicial y de operación (Salazar *et al.*, 2019) con apoyo de un experto en el manejo del material mencionado. Se unieron las tres unidades de tratamiento de acuerdo con la forma de cada uno de los elementos de sedimentación primaria, secundaria y filtro percolador, quedando el sistema de tratamiento ensamblado en una sola pieza la estructura exterior del reactor anaerobio modular a escala de laboratorio (Niño y Bolívar, 2013).

Las pruebas hidráulicas de las estructuras a escala se analizaron en los tratamientos experimentales que se describen en la Tabla 12, el cual se desarrolló en una zona aireada a cielo abierto.

2.3.5. Evidencia de la remoción de la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales

El muestreo para la medición de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos estuvieron conformados por los criterios del diseño establecidos para el reactor anaerobio modular y se evidenció el funcionamiento del sistema, con el fin de verificar el proceso de digestión anaerobia y la eficiencia del tratamiento por medio de parámetros fisicoquímicos.

El buen funcionamiento del tratamiento biológico y las unidades de sedimentación primaria y secundaria, demostraron una reducción en la concentración de los parámetros fisicoquímico y microbiológico en el efluente del sistema de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio (Bataller *et al.*, 2010); debido a que en la unidad de

sedimentación primaria removió una gran parte de este porcentaje de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. El reactor anaerobio modular gracias al medio soporte que son los tubos corrugados de PVC que absorbió los sólidos solubles y brindó la superficie de contacto entre el agua residual municipal y los microorganismos que fueron favorecidos en su crecimiento en esta fase y permitieron su adherencia al medio de soporte evidenciando la remoción de la demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales.

Se determinó que hubo una eficiencia de remoción de los valores de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas a partir de las 4 horas, lo cual permitió determinar que el medio de soporte de tubos corrugados de PVC removió la materia orgánica de manera gradual, esto responde a la estabilización de los microorganismos en el reactor anaerobio modular.

2.4. Tratamientos

Los tratamientos se ejecutaron el 17 de noviembre del año 2021 ubicados en tres puntos de muestreos, es decir, en buzones de inspección de la red secundaria de alcantarillado. En la Tabla 12, se muestran los tres (03) tratamientos que se realizaron en la investigación.

Tabla 12

Tratamientos empleados a partir del agua residual municipal de los puntos de muestreo de la red de alcantarillado secundario

Tratamiento	Detalle
T1	A.R. zona comercial + Filtro Percolador
T2	A.R. zona doméstica + Filtro Percolador
T3	Agua Residual Municipal + Filtro Percolador

Para la recolección de las muestras del agua residual municipal, con apoyo de la municipalidad de La Punta (Figura 5), se procedió abrir los tres (03) buzones de

inspección de la red secundaria de alcantarillado. Durante la recolección de las muestras se realizaron los análisis de parámetro de campo.

Figura 5

Apoyo de la municipalidad de La Punta en destapar los buzones



Se introdujo con ayuda de un balde de plástico (polipropileno) de 20 litros de capacidad, se enjuagaron los baldes con el agua residual municipal tres (03) veces con el fin de suprimir posibles sustancias existentes en el interior, se agitó y el agua de lavado se desechó.

Por último, se llenaron hasta el límite los baldes con el agua residual municipal, se cerraron herméticamente, se rotuló las muestras por cada punto de muestreo y se transportaron hasta la ubicación establecida para el proceso experimental.

2.5. Unidades experimentales

La investigación estuvo conformada por tres tratamientos con sus repeticiones respectivas, haciendo un total de seis unidades experimentales. Cada unidad experimental fue conducida por un filtro percolador que tenía en su interior tubos de PVC corrugados cuya función es la adhesión de microorganismos y degradación de la materia orgánica.

El tratamiento 1 (T1) llamado muestra N°1 estuvo constituido por 70 L de agua residual comercial de un buzón de inspección de la red secundaria de alcantarillado colindante a la zona comercial de restaurantes. Este se condujo a través del filtro percolador del reactor anaerobio modular a escala de laboratorio para su análisis fisicoquímico y microbiológico.

El tratamiento 2 (T2) llamado muestra N°2 estuvo constituido por 70 L de agua residual doméstica de un buzón de inspección de la red secundaria de alcantarillado colindante a la zona residencial. Este se condujo a través del filtro percolador del reactor anaerobio modular a escala de laboratorio para su análisis fisicoquímico y microbiológico.

El tratamiento 3 (T3) llamado muestra N°3 estuvo constituido por 70 L de agua residual municipal de un buzón de inspección de la red principal de alcantarillado colindante a un área verde del distrito. Este se condujo a través del filtro percolador del reactor anaerobio modular a escala de laboratorio para su análisis fisicoquímico y microbiológico.

Por último, se llenaron los frascos con el efluente del agua residual municipal del reactor anaerobio modular, se cerraron herméticamente, luego se rotularon las muestras según el número de tratamiento descrito anteriormente y se conservaron en un cooler a 4 °C de temperatura para transportarlos a Environmental Testing Laboratory S.A.C. con el fin que se realice el análisis de los parámetros y de no alterar el análisis (Córdova *et al.*, 2019).

2.6. Identificación de las variables y su mensuración

Se realizaron evaluaciones con el fin de determinar las variaciones de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual municipal que era objeto de estudio (Tabla 13).

Tabla 13

Mensuración de las variables

Variable	Mensuración	Método
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	Medición directa con papel tornasol
Temperatura	°C	Medición directa con termómetro
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	BOD Test
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	Valorimétrico y ceolorimétrico
Aceites y grasas	mg/L	Gravimétrico
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	Secados a 103-105 °C
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	Procedimiento de coliformes termotolerantes (fecales)

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Ministerial 273 (2013).

2.7. Diseño estadístico del experimento

Para la presente tesis se utilizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) para procesar la base de datos obtenida durante el desarrollo de la metodología seleccionada con la finalidad de elaborar el diseño adecuado para el tratamiento de aguas residuales municipales en una zona urbana con escasa extensión de terreno disponible.

2.8. Análisis estadístico de datos

La información adquirida en el proceso de realización de la presente tesis se organizó con la base de datos en el programa Microsoft Excel para la respectiva evaluación y análisis, con la finalidad de desarrollar los objetivos propuestos en la investigación.

2.9. Materiales y equipos

Los materiales y equipos utilizados durante el desarrollo de la tesis fueron los siguientes:

2.9.1. Materiales de campo

Plano geográfico del distrito de La Punta, plano de las ubicaciones de los buzones de inspección de la red principal y secundaria de alcantarillado del agua residual municipal del distrito de La Punta, etiquetas de identificación de muestras, GPS, cámara fotográfica, muestras de agua residual, guantes, mandil, mascarilla, frasco de plástico, frasco de vidrio, frasco de vidrio ámbar boca ancha, test para en análisis de pH, cooler, libreta de campo, bomba manual y movilidad contratada.

2.9.2. Reactivos

Ácido clorhídrico (HCl) y ácido sulfúrico (H₂SO₄)

2.9.3. Materiales de gabinete

Equipo de computación, programas estadísticos Microsoft Excel, Word, AutoCAD, papeles bond A4 y lapiceros.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

3.1. Caracterización inicial del agua residual municipal del distrito de La Punta

Los resultados obtenidos en el laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L. se presentan en la Tabla 14 donde los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos están presentes para la caracterización inicial del agua residual municipal del distrito de La Punta ejecutada el día 22 de setiembre del 2021.

En el Apéndice 11 se observan los resultados del laboratorio Minerals of Laboratories S.R.L. digitalizados y con su respectiva firma que muestran la legitimidad de los parámetros analizados el día 22 de setiembre del 2021.

El parámetro fisicoquímico como el pH cumplió con el estándar de calidad ambiental del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, categoría 3 para el riego de vegetales y bebida de Animales, subcategoría D1 para el riego de vegetales y el parámetro fisicoquímico como la temperatura y el parámetro microbiológico de los coliformes termotolerantes cumplieron con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, ya que se mantuvieron en el rango de las normativas. Mientras que la DBO₅, la DQO, sólidos suspendidos totales y los aceites y grasas excedieron sus valores para las normativas anteriormente mencionadas.

Tabla 14

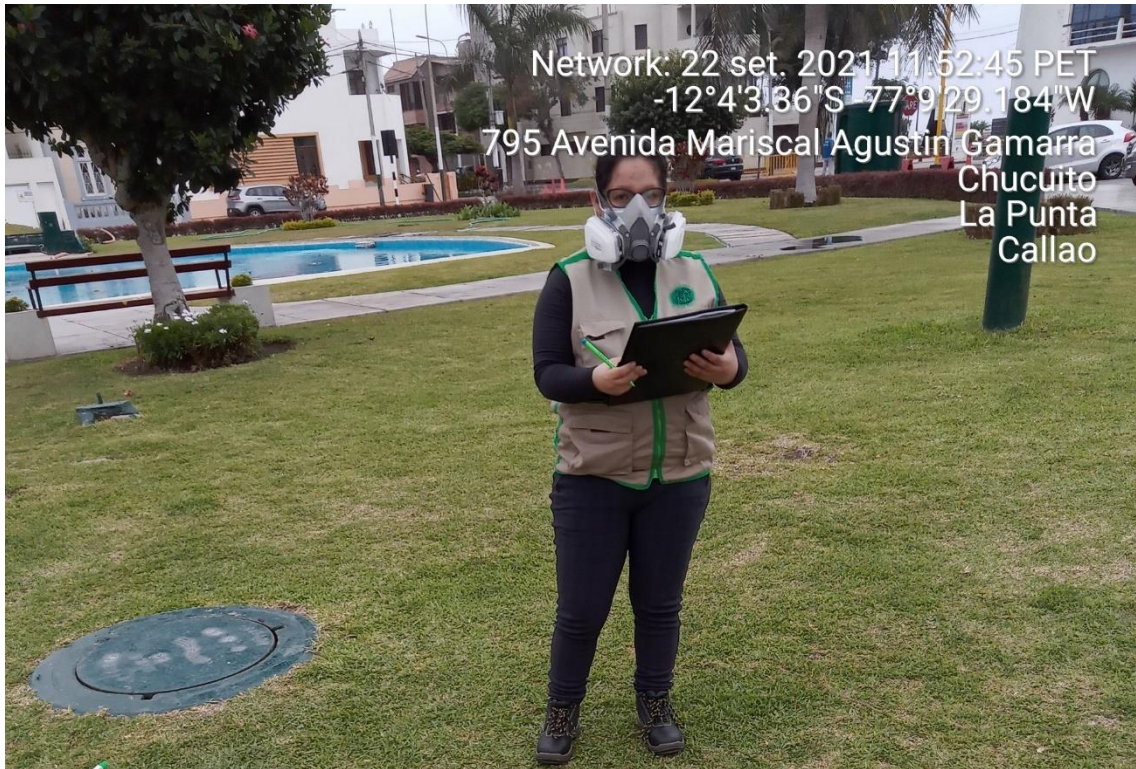
Caracterización inicial de los parámetros de la muestra de agua residual municipal del distrito de La Punta

Parámetros	Unidades	Resultado	ECA para agua (2017)	Límites máximos permisibles (2010)
Fisicoquímico				
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	6	6,5 - 8,5	
Temperatura	°C	22,8	3	<35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	636	15	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	1 780,8	40	200
Aceites y grasas	mg/L	41,2	5	20
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	160	N/A	150
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	26	1 000	10 000

El propósito de analizar la caracterización inicial del agua residual municipal de un buzón de inspección de la red principal de alcantarillado el 22 de setiembre del 2021; fue obtener información de las condiciones que se encuentran en las descargas del agua residual municipal del distrito de La Punta (Figura 6) en la plaza José Gálvez ubicado en las coordenadas oeste 77° 9' 29.2" y 12° 4' 3.4" sur, en términos de su calidad fisicoquímica y microbiológica para de acuerdo al protocolo de establecido en la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA.

Figura 6

Punto de muestreo



En la Tabla 15 se observa que a medida que transcurre el día, la temperatura varía en un mínimo de 19,2 °C y un máximo de 21 °C.

Según la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar la DQO se necesita agregar H_2SO_4 hasta llegar a $pH < 2$; mientras que para los sólidos suspendidos totales se requiere refrigerar hasta 4 °C más no agregar un preservante; el laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L. especificó que para el análisis de la DQO y los sólidos suspendidos totales requería 1 L de muestra sin preservante.

Es por ello que en la Tabla 15 se detalla que se agregó el preservante mencionado anteriormente, observándose una variación del pH inicial 6 a un pH 5 ya que sólo se añadió 50 mL del reactivo.

Tabla 15

Toma de muestra de agua residual municipal según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados

Parámetro	Hora	Temperatura (°C)	pH	Preservación
Coliformes termotolerantes (NMP)	10:24	20,7	7	No aplica
DQO	10:36	19,2	6	H ₂ SO ₄
Sólidos suspendidos totales (SST)	10:45	19,2	5	
Aceites y grasas	11:30	21	2	HCl
DBO ₅	11:40	20,1	6	No aplica

Figura 7

Análisis de la temperatura de la muestra de agua residual municipal



La R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar los aceites y grasas se necesita agregar HCl hasta llegar a $\text{pH} < 2$, es por ello por lo que en la Tabla 15 se detalla que se agregó el preservante observándose una variación del pH inicial 6 a un pH 2 ya que se añadió 25 mL del reactivo; en la Figura 7 se observa el grado de temperatura después de haber agregado los preservantes.

Los resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual municipal del laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L. se consideraron aptos para el desarrollo del tratamiento biológico, ya que se alcanzó un valor de 2,8, debido a que cumplía con la tasa de biodegradabilidad de $\text{DQO}/\text{DBO}_5 < 3$.

3.2. Diseño del sistema de tratamiento de un reactor anaerobio modular

Se describe el diseño de cada una de las unidades para un reactor anaerobio modular para el tratamiento de agua residual municipal adecuado a una zona urbana con escasa extensión de terreno disponible. Además, se especifica el método de construcción del sistema de tratamiento empleado a un 20 % del tamaño real para un adecuado manejo.

3.2.1. Construcción de las estructuras a escala de laboratorio

En la Figura 8 se muestra el inicio de la soldadura de las uniones de las paredes del reactor anaerobio modular, mientras que en la Figura 9, 10, 11 y 12 se observa los compartimientos ya contruidos con sus respectivas tolvas y válvulas instaladas, además en a Figura 13 se muestran los tubos de escape de los gases del reactor anaerobio modular en acero galvanizado, fabricado con ayuda de la empresa C&V Shalom E.I.R.L. con RUC: 20605568298.

Figura 8

Construcción de las estructuras



Figura 9

Sedimentador primario con baffles y tolvas

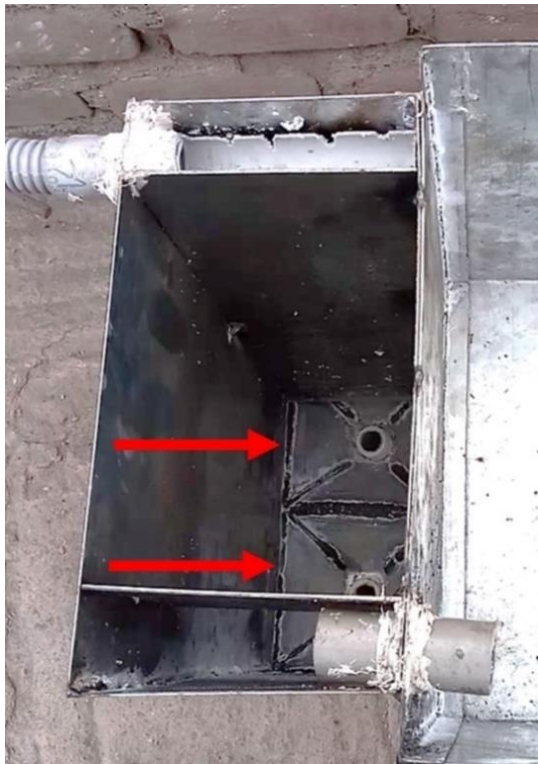


Figura 10

Sedimentador secundario, con baffles y tolvas

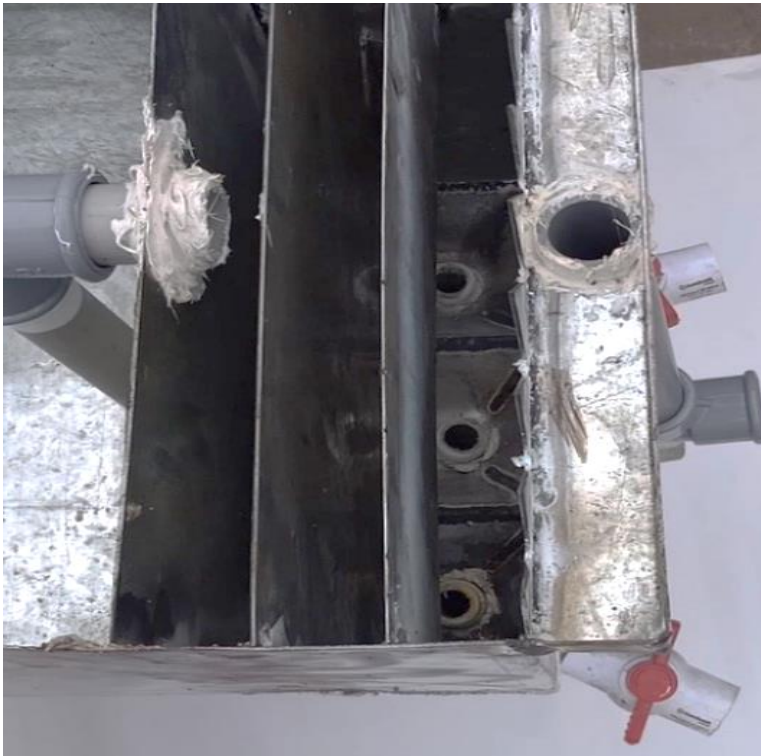


Figura 11

Vertederos triangulares y válvulas

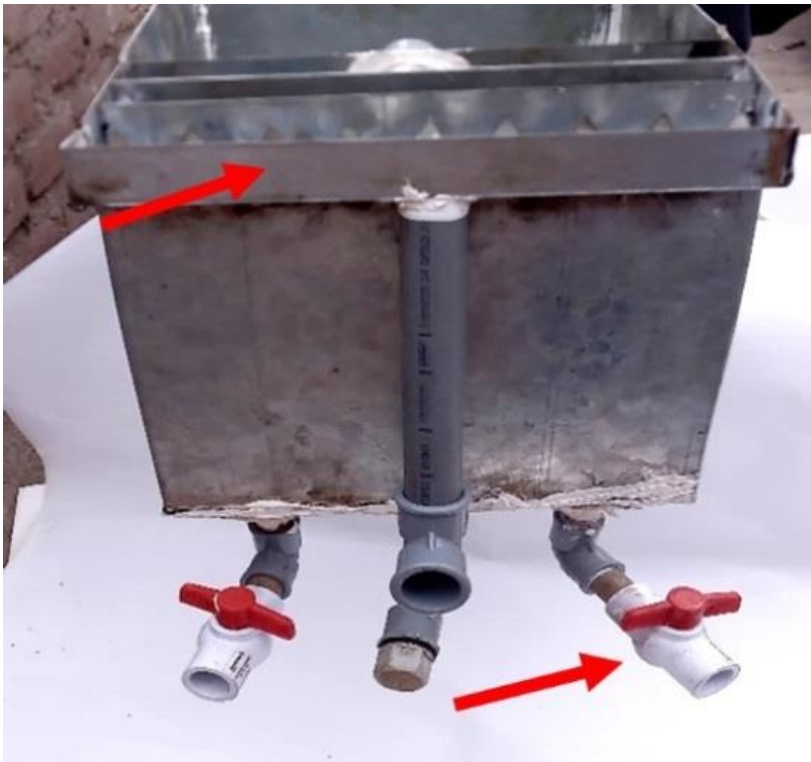


Figura 12

Reactor anaerobio con sus tres divisiones y baffles



Figura 13

Tapa con tubos de escape para el control de gases



Según el diseño establecido, las tolvas de los sedimentadores son de forma piramidal con acoples de 1/2" para que las válvulas de bola tengan la función de purga de lodos. Las tuberías en PVC del reactor anaerobio son de 3/4" para el flujo continuo del agua residual municipal; además, se utilizó una malla de polietileno como refuerzo para la contención de los tubos corrugados de PVC y evitar la flotabilidad del medio de soporte. Luego del armado del reactor anaerobio a escala, se realizaron las pruebas pertinentes para comprobar el funcionamiento hidráulico del sistema.

En la Figura 14 y 15 durante las pruebas se logró evidenciar problemas de fuga en las paredes de los tanques de acero galvanizado y en las conexiones de las tuberías de las tolvas que limitaba un adecuado flujo del agua residual municipal.

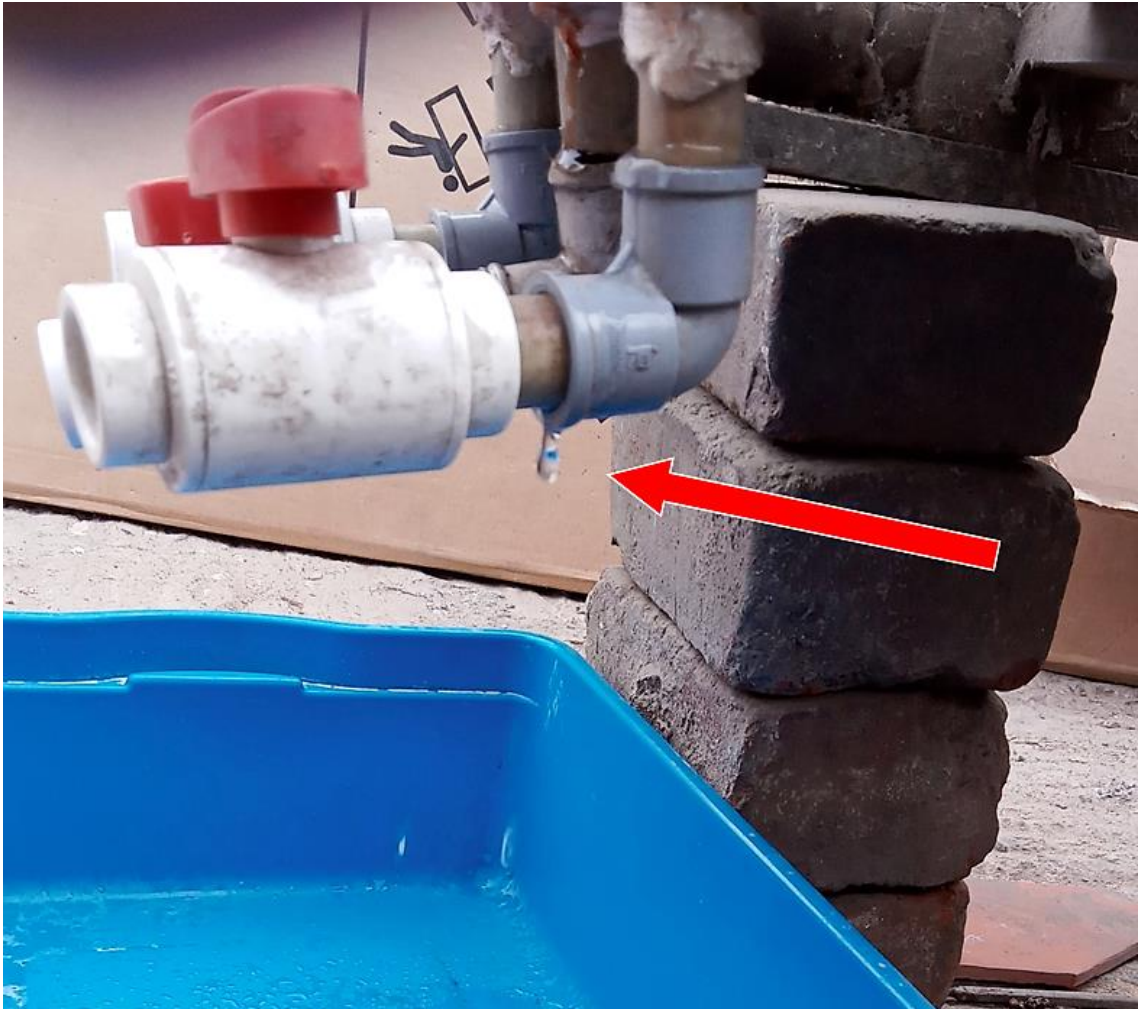
Figura 14

Fuga a través de las paredes de acero galvanizado del sedimentador secundario



Figura 15

Fuga en las conexiones de la tubería de las tolvas del sedimentador secundario



Luego de asegurarse que la infraestructura de los tanques no tuviese fugas y que la circulación del agua residual municipal no presentara problemas, se instaló e implementó el reactor anaerobio a escala en un lugar condicionado para iniciar con el proceso de tratamiento del agua residual municipal del distrito de La Punta.

Para el manejo de lodos se instalaron dos lechos de secado de lodo, uno para el sedimentador primario y otra unidad para el sedimentador secundario. Cada lecho de secado se ubicó debajo de los sedimentadores, como se muestra en la Figura 16.

Figura 16

Manejo de lodos del sedimentador primario



Los lodos provenientes del sedimentador primario y secundario se colocaron en los contenedores, donde se evacuarán y deshidratarán con el fin que quede el lodo sólido se utilicen para su disposición final como fertilizante en las áreas verdes del distrito de La Punta.

3.3. Evidencia del funcionamiento del sistema de tratamiento

Se realizó un muestreo para cada uno de los tres reactores a escala piloto ejecutado, con el fin de verificar el proceso de digestión anaerobia y la eficiencia de remoción por medio de parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

En la Figura 17 se observa las muestras de agua residual municipal del punto de muestreo N°3 de la red de alcantarillado del distrito de La Punta. Además, en la Figura 18 se evidencia el proceso de llenado del sistema de tratamiento para el envío a su respectivo análisis a el laboratorio de Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Figura 17

Muestreo del punto N°3



Los resultados obtenidos en el laboratorio de Environmental Testing Laboratory S.A.C. referente a los parámetros fisicoquímico y microbiológico del agua residual municipal del distrito de La Punta realizada el día 17 de noviembre del 2021 se evidencian en el Apéndice 13.

Figura 18

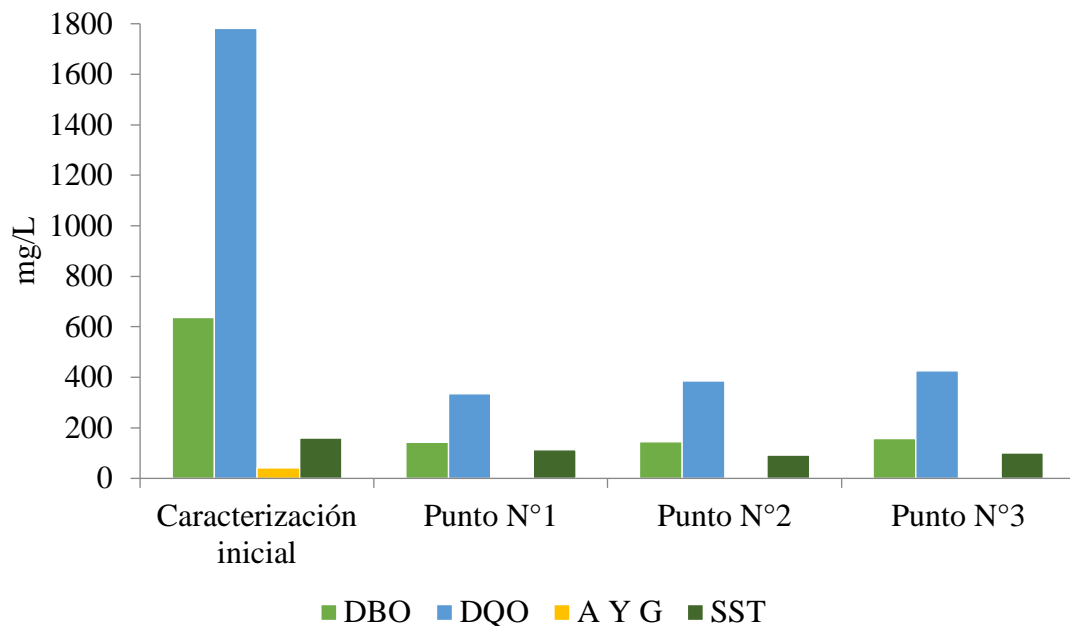
Llenado del sistema de tratamiento



En la Figura 19, se observa el resultado de laboratorio Minerals of Laboratories S.R.L. de la caracterización inicial del agua residual municipal y del laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C. de los puntos de muestreo N°1, N°2 y N°3 del agua residual municipal tratada.

Figura 19

Comparación entre la caracterización inicial y los puntos de muestreo del agua residual municipal del distrito de La Punta



El parámetro con mayor presencia es la demanda química de oxígeno de la caracterización inicial obteniendo como resultado de 1780,8 mg/L y del muestreo N°3 425,7 mg/L, mientras que el parámetro con menor presencia son los aceites y grasas sobresaliendo la caracterización inicial con resultado de 41,2 mg/L y los muestreos N°2 y N°3, ya que son <0,2 mg/L.

Los resultados de la caracterización inicial del agua residual municipal del laboratorio Minerals of Laboratories S.R.L. sobresalen en la Figura 19, ya que no fue transportado hacia el reactor anaerobio modular, en comparación de los resultados de los puntos de muestreo N°1, N°2 y N°3 del laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C. del agua residual municipal tratada que si fueron conducidos hacia el reactor anaerobio modular a escala de laboratorio.

Los resultados de los tres puntos de muestreo de la Tabla 16, 17 y 18 si cumplieron con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los

efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales y con los estándares de calidad ambiental del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, categoría 3 para el riego de vegetales y bebida de Animales, subcategoría D1 para el riego de vegetales.

Los resultados de los puntos de muestreo N° 1, N° 2 y N° 3 del agua residual municipal del distrito de La Punta en la Tabla 16, 17 y 18 alcanzaron eficiencias de remoción en promedio de 82,01 % de la demanda bioquímica de oxígeno, 78,53 % de la demanda química de oxígeno, 36,04 % de los sólidos suspendidos totales y 99,11 % de aceites y grasas.

Tabla 16

Punto de muestreo N° 1

Parámetros	Unidades	Resultado	ECA para agua (2017)	Límites máximos permisibles (2010)
Fisicoquímico				
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7		6,5 - 8,5
Temperatura	°C	23,92	3	<35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	141,7	15	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	335,7	40	200
Aceites y grasas	mg/L	0,7	5	20
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	113	N/A	150
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	1 600 000 000	1 000	10 000

Nota: Elaboración propia con base en el Decreto Supremo 004 (2017) y el Decreto Supremo 003 (2010).

En la Tabla 16, 17 y 18, el parámetro fisicoquímico pH y aceites y grasas y cumplieron con el estándar de calidad ambiental del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, categoría 3 para el riego de vegetales y bebida de animales, subcategoría D1 para el riego de vegetales y el parámetro fisicoquímico temperatura y sólidos suspendidos totales cumplieron con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, ya que se mantuvieron en el rango de las normativas.

Tabla 17

Punto de muestreo N°2

Parámetros	Unidades	Resultado	ECA para agua (2017)	Límites máximos permisibles (2010)
Fisicoquímico				
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7	6,5 - 8,5	
Temperatura	°C	23	3	<35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	145,4	15	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	385,7	40	200
Aceites y grasas	mg/L	<0,2	5	20
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	93	N/A	150
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	47 000 000	1 000	10 000

Nota: Elaboración propia con base en el Decreto Supremo 004 (2017) y el Decreto Supremo 003 (2010).

Tabla 18*Punto de muestreo N°3*

Parámetros	Unidades	Resultado	ECA para agua (2017)	Límites máximos permisibles (2010)
Fisicoquímico				
Potencial de hidrógeno (pH)	Unidad de pH	7	6,5 - 8,5	
Temperatura	°C	23.4	3 °C	<35 °C
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg/L	157,2	15	100
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	425,7	40	200
Aceites y grasas	mg/L	<0,2	5	20
Sólidos suspendidos totales (SST)	mg/L	101	N/A	150
Microbiológico				
Coliformes termotolerantes (NMP)	NMP/100 mL	1 400 000 000	1 000	10 000

Nota: Elaboración propia con base en el Decreto Supremo 004 (2017) y el Decreto Supremo 003 (2010).

El parámetro microbiológico Coliformes termotolerantes obtuvieron un resultado elevado superando los mil millones en promedio a los 1 000 NMP/100 mL del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y 10 000 NMP/100 mL del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Se hace mención que los resultados de las tablas 19, 20 y 21 para la preservación de aceites y grasas se poseía sólo 50 mL de HCl, por tal motivo se distribuyó para las tres muestras de agua residual municipal tratada.

En la Tabla 19 se observa que a medida que transcurre el día, la temperatura varía entre un máximo de 24 °C y un mínimo de 23,8 °C el cual favoreció al incremento de microorganismos psicrófilos facultativos, ya que se encuentra en la fase de adaptabilidad a microorganismos mesófilos siendo un buen indicador del tratamiento en la producción

de metano puesto que se está adhiriendo al medio de soporte y los microorganismos se encargan de metabolizar la materia orgánica presente en el agua residual municipal.

Según la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar la DQO se necesita agregar H₂SO₄ hasta llegar a pH<2. Por ello se detalla que se agregó 20 gotas del preservante mencionado anteriormente, observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 2.

Tabla 19

Toma de muestra N°1 de agua residual según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados

Parámetro	Hora	Temperatura (°C)	pH	Preservación
Coliformes termotolerantes (NMP)	15:40	24	7	No aplica
DBO ₅	15:48	23,8	7	No aplica
Sólidos suspendidos totales (SST)	15:56	23,8	7	No aplica
DQO	16:05	24	2	H ₂ SO ₄
Aceites y grasas	16:52	24	4	HCl

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Ministerial 273 (2013).

La R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar los aceites y grasas se necesita agregar HCl hasta llegar a pH<2, por ello se detalla que se agregó el preservante observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 4 ya que se añadió 6 mL del reactivo.

En la Tabla 20 se observa que a medida que transcurre el día, la temperatura varía entre un máximo de 23 °C y un mínimo de 22,89 °C. Según la R.M. N°273-2013-VIVIENDA establece que para preservar la DQO se necesita agregar H₂SO₄ hasta llegar a pH<2. Por

ello se detalla que se agregó 20 gotas del preservante mencionado anteriormente, observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 2.

Tabla 20

Toma de muestra N°2 de agua residual según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados

Parámetro	Hora	Temperatura (°C)	pH	Preservación
Coliformes termotolerantes (NMP)	16:14	23,2	7	No aplica
DBO ₅	16:19	23	7	No aplica
Sólidos suspendidos totales (SST)	16:22	23	7	No aplica
DQO	16:27	22,89	2	H ₂ SO ₄
Aceites y grasas	16:33	22,9	5	HCl

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Ministerial 273 (2013).

La R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar los aceites y grasas se necesita agregar HCl hasta llegar a pH<2, por ello se detalla que se agregó el preservante observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 5 ya que se añadió 8 mL del reactivo.

En la Tabla 21 se observa que a medida que transcurre el día, la temperatura varía entre un máximo de 23,6 °C y un mínimo de 23 °C. Según la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar la DQO se necesita agregar H₂SO₄ hasta llegar a pH<2. Por ello se detalla que se agregó 20 gotas del preservante mencionado anteriormente, observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 2.

Tabla 21

Toma de muestra N°3 de agua residual municipal según el tipo de preservación y la hora que fueron analizados

Parámetro	Hora	Temperatura (°C)	pH	Preservación
Coliformes termotolerantes (NMP)	16:35	23,4	7	No aplica
DBO ₅	16:43	23,5	7	No aplica
Sólidos suspendidos totales (SST)	16:40	23,6	7	No aplica
DQO	16:42	23,4	2	H ₂ SO ₄
Aceites y grasas	16:50	23	2	HCl

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Ministerial 273 (2013).

La R.M. N° 273-2013-VIVIENDA establece que para preservar los aceites y grasas se necesita agregar HCl hasta llegar a $\text{pH} < 2$, por ello se detalla que se agregó el preservante observándose una variación del pH inicial 7 a un pH 2 ya que sólo se añadió 11 mL del reactivo.

En la Figura 20 se observa el rotulado de la muestra N°3 del efluente del reactor anaerobio modular luego de haber agregado HCl para su almacenamiento en el cooler a $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ brindado por el laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Figura 20

Rotulado de las muestras del agua residual municipal



Los resultados obtenidos del agua residual municipal del laboratorio Environmental Testing Laboratory S.A.C. se consideraron aptos para el desarrollo del tratamiento biológico, debido a que las tres muestras cumplen con la tasa de biodegradabilidad de $DQO/DBO_5 < 3$, ya que se alcanzó un valor alto en la muestra N°1 de 2,4, muestra N°2 de 2,7 y muestra N°3 de 2,7 para un correcto funcionamiento del proceso biológico anaerobio.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN

4.1. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del agua residual municipal tratada del punto de muestreo del distrito de La Punta

Durante el estudio se estableció un punto de muestreo para la caracterización inicial del agua residual municipal, teniendo en consideración el protocolo de monitoreo de calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales la R.M. N° 273-2013-VIVIENDA y los análisis fisicoquímico y microbiológico de laboratorio según su caracterización inicial en referencia con la normativa de límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales el D.S. N° 003-2010-MINAM. Los resultados de laboratorio de la DBO₅ fueron de 636 mg/L; este resultado coincide a los publicado por Prado (2015), puesto que en su investigación la DBO₅ fue de 300 mg/L antes de aprovechar las aguas residuales en el riego de las áreas verdes del patio taller de la Línea 1 del metro de Lima.

En la presente investigación el resultado de laboratorio de la caracterización inicial de la DQO se obtuvo a 1 780,8 mg/L; ya que se implementó el uso de un medio de soporte el cual se asemejaron a la investigación de Bendezu y Martínez (2017) puesto que según sus análisis de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual tuvo un incremento en el parámetro de la DQO a 1 950 mg/L empleando lechos filtrantes para la utilización de filtros percoladores. En comparación a los resultados de laboratorio del parámetro microbiológico utilizando un medio de soporte con tubos corrugados de PVC, los coliformes termotolerantes fueron de 26 NMP/100 mL; mientras que la investigación de Yucra (2016) demostró que su análisis de laboratorio obtuvo un alza del parámetro de los coliformes termotolerantes a $2,1 \times 10^6$ NMP/100 mL, por el cual propuso la utilización de PET reciclado como lecho filtrante en la implementación de su sistema de tratamiento de aguas residuales.

Referente a la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los coliformes termotolerantes se observó que durante el desarrollo de la tesis se cumplió un patrón cuyos valores fueron elevados en comparación al pH 6, que está dentro del rango de lo establecido en la normativa de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales el D.S. N° 003-2010-MINAM de las investigaciones anteriormente mencionadas teniendo en cuenta la altitud y la cantidad de habitantes de la zonas urbanas presentes en las áreas estudiadas.

4.2. Evaluación de las tres propuestas de diseño para el tratamiento de aguas residuales municipales según las necesidades del distrito

La municipalidad distrital de la Punta cuenta con un área disponible de 4,2 ha para el riego de sus áreas verdes, con el fin de remover las cargas contaminantes generadas por el agua residual municipal y cumplir con las características necesarias para su reutilización en el riego de los parques y jardines del distrito. Fueron planteadas tres propuestas de diseño para el tratamiento de aguas residuales según las necesidades del distrito de la Punta.

La investigación que está relacionada a la primera alternativa para el tratamiento de aguas residuales municipales condicionado para un área reducida fue publicada por Yucra (2016) quien construyó un sistema de tratamiento de aguas residuales empleando un filtro percolador y utilizó cilindros metálicos unidos en forma de túneles con una altura menor de 2,5 m y ancho de 0,6 m compuesto por un lecho filtrante de material Polietileno Tereftalato PET reciclado adaptado para la remoción de contaminantes. Asimismo, Jaramillo y Paredes (2019) en su estudio evaluaron dos filtros percoladores uno sobre el otro, de tal forma que aprovecharon la gravedad para la recirculación del agua residual, teniendo una altura para cada filtro de 1,3 m y un ancho menor de 2 m siendo factible en una reducida área para la implementación de su investigación.

Se determinó por las investigaciones de Yucra (2016) y de Jaramillo y Paredes (2019) la viabilidad de la primera alternativa de diseñar un reactor anaerobio modular de 5 m largo y 2 m alto para un adecuado manejo en el tratamiento de aguas residuales municipales

para el distrito de La Punta, ya que el distrito cuenta con un área limitada disponible para la implementación de este sistema.

Se realizó la evaluación de la segunda alternativa, en el cual se diseñó un humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta. En relación a la investigación de Arévalo y Roncancio (2015) propusieron como alternativa de tratamiento de aguas residuales, un humedal artificial subsuperficial de flujo vertical con un ancho de 36,14 m y largo de 100 m, donde el agua residual fue conducida por debajo de grava para una hospedería de 300 personas entre huéspedes y el personal administrativo. Se obtuvo una viabilidad negativa por la extensa área a requerir para la implementación de un humedal con un área de 37,9 m²; ya que la municipalidad distrital no cuenta con áreas disponibles para la construcción de este sistema.

Para la tercera alternativa Arévalo y Roncancio (2015) diseñaron lagunas de tratamiento de aguas residuales municipales con el fin de remover principalmente la demanda bioquímica de oxígeno con un ancho de 52,01 m y largo de 100 m en una laguna facultativa; asimismo, una segunda laguna de maduración con un ancho de 27,8 m y largo de 52,01 m con el fin de remover patógenos y nutrientes. Ello evidenció la evaluación del diseño para una tercera alternativa de las lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta, ya que no es factible por las amplias áreas para implementar las dos lagunas en serie, es decir, una laguna facultativa con una profundidad de 3 m y un área de 1197,4 m², también una laguna de maduración con una profundidad de 0,9 m y un área de 37,9 m²; ya que la municipalidad distrital no dispone con áreas habilitadas para la construcción de este sistema de tratamiento.

4.3. Evidencia de la remoción de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Se ubicó tres puntos de muestreos de buzones de inspección de la red secundaria de alcantarillado del distrito de La Punta y a partir del agua residual municipal los resultados de laboratorio obtenidos del parámetro microbiológico como los coliformes termotolerantes obtuvieron un resultado elevado; mientras los resultados de los parámetros fisicoquímicos empleando un medio de soporte de tubos corrugados de PVC

alcanzaron eficiencias de remoción en promedio de 82,01 % de la demanda bioquímica de oxígeno, 78,53 % de la demanda química de oxígeno y 36,04 % de los sólidos suspendidos totales.

En comparación a los análisis de laboratorio fisicoquímico y microbiológico de la investigación de Jaramillo y Paredes (2019) mostraron una eficiencia de remoción del 98,12 % de la DBO₅, el 96,36 % de la DQO y el 95,76 % de los sólidos suspendidos totales luego de haber implementado un sistema de dos filtros percoladores en serie. De igual manera los valores de Ugaz (2018) son similares registrados por Jaramillo y Paredes (2019) ya que generaron una remoción del 92,2 % de la DBO₅, el 96,3 % de la DQO, el 94,6 % de los coliformes fecales y el 16 % de la temperatura del agua residual analizada una vez utilizado el tratamiento con biofiltros de plantas acuáticas y lechos filtrantes. Asimismo, los resultados alcanzados para el estudio de Yucra (2016) determinaron la remoción del 51,26 % de DBO₅, del 52,95 % de DQO, del 24,99 % de sólidos totales en suspensión, del 9,08 % de coliformes termotolerantes y del 1,08 % del pH posteriormente de haber utilizado un lecho filtrante compuesto de material polietileno tereftalato PET reciclado adaptado para la remoción de los contaminantes.

Esta relación se puede explicar considerando la tasa de biodegradabilidad de DQO/DBO₅ debe ser menor a 3 para que se considere apto el desarrollo del tratamiento biológico (Ipuz y Reyes, 2015). Las concentraciones del análisis (análisis fisicoquímico y microbiológico) del agua residual municipal para el inicio del proceso de diseño tuvieron un resultado positivo cumpliendo con la tasa de biodegradabilidad, así como las investigaciones de Jaramillo y Paredes (2019), Ugaz (2018) y de Yucra (2016) que estuvieron dentro del rango con un óptimo desarrollo del tratamiento biológico, logrando un eficiente resultado de los métodos empleados en sus investigaciones.

Realizado el análisis de laboratorio de agua residual municipal del distrito de La Punta demostraron que el parámetro microbiológico, los coliformes termotolerantes superaron los mil millones en promedio a los 1 000 NMP/100 mL del Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM y 10 000 NMP/100 mL del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, cuyo

resultado superó el valor estimado. Mientras que los parámetros fisicoquímicos resultaron conformes y obtuvieron una remoción del 37,4 % en promedio a pocas horas de iniciado el proceso de tratamiento destinado a 24 horas.

Finalmente se afirmó que se alcanzaron los objetivos para el diseño de un reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales municipales de acuerdo con las necesidades del distrito de La Punta logrando un ahorro del agua potable que se utiliza para el riego de áreas verdes.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. Se concluye que los resultados obtenidos de la caracterización inicial del agua residual municipal del distrito de La Punta alcanzaron un valor de 2,8 considerándose apto el desarrollo del tratamiento biológico por la tasa de biodegradabilidad de $DQO/DBO_5 < 3$.
2. Se determinó que el humedal artificial y las lagunas de estabilización, alternativas de diseño para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta no son viable por la extensa área para su implementación mientras que el reactor anaerobio modular es la alternativa adecuada para una zona urbana con escasa extensión de terreno.
3. Se concluye que el diseño de un reactor anaerobio modular a escala de laboratorio utilizando un filtro percolador llegó a una eficiencia de remoción promedio del 82,01 % de la demanda bioquímica de oxígeno, 78,53 % de la demanda química de oxígeno, 36,04 % de los sólidos suspendidos totales y 99,11 % de los aceites y grasas.

CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES

- Teniendo en cuenta que el sistema de tratamiento de agua residual municipal no ha alcanzado la eficiencia de remoción con la cual se diseñó, se recomienda su continuo funcionamiento para evaluar el reactor anaerobio modular a escala de laboratorio mediante el tiempo que se vaya a trascurrir su uso.
- La importancia de realizar un análisis fisicoquímico y microbiológico hasta que la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales muestren una remoción del 80 %, con el fin de verificar la estabilidad del reactor anaerobio.
- Se evidenció la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, los sólidos suspendidos totales y aceites y grasas en la fase inicial; sin embargo, se deberá hacer un análisis de laboratorio posteriormente con el fin de verificar si hubo una formación de biopelícula sobre el medio de soporte de tubos corrugados de PVC y descartar la posibilidad de la remoción de materia orgánica se realice empleando otros mecanismos para el tratamiento del agua residual municipal.
- Los gases generados por el sistema de tratamiento fueron percibidos por los vecinos de la zona en el inicio de la ejecución del reactor anaerobio a escala piloto debido a la dirección del viento que los transportaban, por lo cual se necesitó implementar una tapa hermética con tubos de escape con el fin de mantener el flujo controlado de los gases percibiendo una disminución de los olores.
- Establecer un programa de monitoreo y mantenimiento para evaluar el rendimiento del sistema y detectar posibles problemas operativos en el tiempo, con el fin de prolongar la vida útil del reactor y asegurar su eficiencia.

- Instalar unidades de cribado para eliminar sólidos gruesos presentes en el agua residual antes de ingresar al reactor anaerobio, con el fin de reducir la carga orgánica y agregar unidades de desinfección para garantizar la eliminación adecuada de coliformes termotolerantes y otros microorganismos patógenos presentes en el efluente tratado, con el objetivo de mejorar la eficiencia de remoción del sistema de tratamiento del reactor anaerobio modular.
- Dado el tiempo transcurrido entre la caracterización inicial del agua municipal en septiembre y el análisis del agua residual municipal en noviembre, se debe tener en cuenta realizar análisis adicionales en diferentes estaciones del año para evaluar la estabilidad del proceso de tratamiento a lo largo del tiempo y su capacidad para adaptarse a las variaciones estacionales en la composición del agua residual, ya que permitirá mejorar aún más la calidad del agua tratada y minimizar el impacto ambiental de la descarga final.
- Con apoyo de la municipalidad distrital de La Punta desarrollar programas de capacitación para el personal operativo y comunitario, e implementar campañas de sensibilización sobre la importancia del tratamiento de aguas residuales y las buenas prácticas de uso y conservación del recurso hídrico, fomentando la colaboración y el intercambio de conocimientos.
- Se debe de tomar en cuenta el cumplimiento de las actualizaciones de las normativas ambientales nacionales en cuanto a la eficacia de remoción y a la calidad del agua tratada para el riego de las áreas verdes del distrito de La Punta.

REFERENCIAS

- Arévalo, W., y Roncancio, L. (2015). *Evaluación de alternativas de tratamiento de agua residual doméstica para reúso en irrigación en una hospedería en el municipio de Villa de Leyva - Boyacá*. [Tesis de grado, Universidad de La Salle]. Repositorio institucional Ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/298/.
- Arocutipa, J. (2013). *Evaluación y propuesta técnica de una planta de tratamiento de aguas residuales en Massiapo del distrito de Alto Inambari - Sandia*. [Tesis de grado, Universidad nacional del altiplano]. Repositorio institucional UNAP. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4516>.
- Autoridad Nacional del Agua. (2008). *Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el riego de Áreas Verdes de Lima Metropolitana*. Autoridad Nacional del Agua.
- Bataller, M., Llanes, J., Véliz, E., y Fernández, L. (2010). Evaluación de la eficiencia de los procesos de coagulación-floculación y ozonización a escala de laboratorio en el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista CENIC Ciencias Químicas*, 41(1), 49-56.
- Becerra, L., Horna, M., y Barrionuevo, K. (2014). Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la libertad. *Revista del cuerpo médico del Hospital Nacional Almanzor Aguinaga Asenjo*, 7(3), 23–26.
- Bendezu, R., y Martínez, A. (2017). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales utilizando filtros percoladores - lodos anaeróbicos ecológicos para el distrito de Huancayo, provincia de Huancayo - Junín*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Los Andes]. Repositorio institucional UPLA. <https://hdl.handle.net/20.500.12848/242>.
- Bustos, L. (2012). *Evaluación de la sostenibilidad de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Voragine, municipio de Santiago de Cali*. [Tesis de grado, Universidad del Valle]. Repositorio institucional Uni Valle. <http://hdl.handle.net/10893/7753>.
- Córdova, I., Córdova, P., Barrios, T., García, A., y Huayta, A. (2019). Diseño de un reactor anaerobio de flujo ascendente a nivel de laboratorio para el tratamiento de agua residual municipal en el distrito de Guadalupe. *Ñawparisun*, 1(4), 63-70.

- Decreto Supremo 003 de 2010 [Ministerio del Ambiente]. (s.f.). *Aprueban los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de Tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. 17 de marzo de 2010. Diario oficial El Peruano.
- Decreto Supremo 004 de 2017 [Ministerio del Ambiente]. (s.f.). *Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen disposiciones complementarias*. 07 de junio de 2017. Diario oficial El Peruano.
- Decreto Supremo 022 de 2009 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]. (s.f.). *Modifica Norma Técnica OS.090 sobre Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Reglamento Nacional de Edificaciones*. 26 de noviembre de 2009. Diario Oficial El Peruano.
- Gualoto, J. (2016). *Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua residual de la parroquia rural de Nono*. [Trabajo de pregrado, Escuela politécnica nacional] Repositorio institucional. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17066>.
- Gutierrez, B., y Murillo, L. (2017). *Análisis del proceso de producción de mano de obra en el proyecto planta de tratamiento de aguas residuales PTAR Mosquera*. [Tesis de magister, Corporación Universitaria Minuto de Dios] Repositorio institucional colecciones digitales. <https://hdl.handle.net/10656/6604>.
- Gutierrez, K. (2018). *Influencia de factores ambientales de crecimiento microbiano en la degradación de polietileno de baja densidad por la bacteria pseudomona aeruginosa en Huancayo*. [Tesis de grado, Universidad Continental] Repositorio institucional Continental. <https://hdl.handle.net/20.500.12394/4507>.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. (6ta ed.). México: Mc Graw Hill. Obtenido de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Ipuz, A., y Reyes, M. (2015). *Diseño, construcción y arranque de un Reactor Anaerobio de flujo a Pistón (RAP) con guadua como medio de soporte, para el tratamiento de agua residual doméstica de un campamento de trabajadores de una piscícola*. [Tesis de grado, Universidad de la Salle] Repositorio institucional ciencia Unisalle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/285.

- Jaramillo, A., y Paredes, J. (2019). *Evaluación de la eficiencia de un sistema de dos filtros percoladores en serie para el tratamiento de aguas residuales domésticas en la urbanización Santa Lucía - Morales, 2018*. [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional UPEU. <http://hdl.handle.net/20.500.12840/1832>.
- Lozada, Y., y Gutiérrez, Y. (2015). *Propuesta económica para la implementación de una planta de tratamiento de agua residuales domésticas para viviendas aledañas al río Magdalena del barrio El Progreso y Vereda dos ríos de la inspección de Cambao del municipio de San Juan de Rio Seco del departamento de Cundinamarca*. [Tesis de grado, Corporación Universitaria Minuto de Dios]. Repositorio institucional colecciones digitales. <https://hdl.handle.net/10656/4865>.
- Mamani, C. (2018). *Evaluación de carga contaminante generado por el vertimiento de aguas residuales de la municipalidad provincial de Yunguyo*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/8777>.
- Manzanares, F., y Ricaldi, A. (2017). *Remoción de materia orgánica de agua residual sintética con filtros aerobios en medio sintético reciclable a escala piloto*. [Tesis de grado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio institucional UNCP. <http://hdl.handle.net/20.500.12894/3778>.
- Mina, H., y Banguero, B. (2020). *Diagnóstico y evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Miranda, Cauca*. [Tesis de grado, Universidad nacional abierta y a distancia]. Repositorio institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36644>.
- Ministerio del Ambiente. (2009). *Manual para Municipios Ecoeficientes*. ENOTRIA S.A. Obtenido de https://minam.gob.pe/calidadambiental/wp-content/uploads/sites/22/2013/10/manual_para_municipios_ecoeficientes.pdf
- Morán Villela, D. (2014). *Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de San Juan Chamelco, Alta Verapaz*. [Tesis de grado, Universidad Rafael Landívar]. Repositorio institucional. <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2014/06/14/Moran-Diego.pdf>.
- Morant, J. (2017). *Análisis de las fracciones de DQO en las aguas de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR)*. [Tesis de grado, Universidad nacional abierta y a distancia]. Repositorio institucional UNAD. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/12223>.

- Municipalidad Distrital de La Punta. (22 de noviembre de 2019). *Nuevo camión cisterna para el distrito*. Obtenido de Pagina municipal: <https://www.munilapunta.gob.pe/noticia.php?idPublicacion=378>
- Municipalidad provincial del Callao. (2010). *Plan de desarrollo urbano de la provincia constitucional del Callao 2011–2022*. https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/6544_plan-de-desarrollo-urbano-de-la-provincia-constitucional-del-callao-2011-2022.pdf.
- Niño, Á., y Bolívar, C. (2013). *Diseño de la planta de tratamiento de agua residual del Municipio El Colegio - Cundinamarca*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10983/1570>.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales*. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827.
- Organización Panamericana de la Salud y Cooperación Suiza al Desarrollo en el Perú. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf.
- Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*, 1(1), 51-58.
- Prado, V. (2015). *Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la Línea 1 del metro de Lima*. [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria La Molina] Repositorio institucional UNALM. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/2168>.
- Ramos, J. (2022). *Determinación de la emisión de metano en una planta de tratamiento de aguas residuales de lodos activados*. [Tesis de grado, Centro de investigación y de estudios avanzados]. Repositorio institucional Cinvestav. <https://repositorio.cinvestav.mx/handle/cinvestav/3720>.
- Resolución Jefatural 010 de 2016. ([Autoridad Nacional del Agua]). *Protocolo nacional para el monitoreo de la calidad de los recursos hídricos*. 11 de enero de 2016. Diario Oficial El Peruano.
- Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]. (s.f.). *Aprueba el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los*

Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR. 24 de octubre de 2013. Diario oficial El Peruano.

- Ronquillo A. R. (2016). *Diseño de una planta de tratamiento de agua residuales para ser utilizada en el riego del parque Samanes*. [Tesis de magister, Universidad de Guayaquil]. Repositorio institucional. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/16077>.
- Salazar, L., Uribe, L., Gómez, L., y Zafra, C. (2019). Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales. *Scielo*, 86(209). doi:<https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>
- Sierra, C. (2011). *Calidad del agua: evaluación y diagnóstico*. Ediciones de la U.
- Ugaz, F. (2018). Reúso de aguas residuales tratadas biológicamente, para el regadío del Jardín Botánico, Trujillo. *Sciéndo*, 21(1), 7-14. doi:<http://dx.doi.org/10.17268/scienco.2018.001>
- Valencia, A. (2013). *Diseño de un sistema de tratamiento para las aguas residuales de la cabecera parroquial de San Luis - provincia de Chimborazo*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. Repositorio institucional. <http://dspace.espace.edu.ec/handle/123456789/3118>.
- Vasquez, J., y Vargas, G. (2018). *Aprovechamiento de lodos planta de tratamiento de aguas residuales municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo*. [Tesis de grado, Universidad católica de Colombia]. Repositorio institucional. <http://hdl.handle.net/10983/16425>.
- Yucra, R. (2016). *Influencia del PET reciclado en las características del agua residual doméstica mediante el proceso de filtro percolador para el distrito de Taraco, provincia de Huancané, región Puno*. [Tesis de grado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez]. Repositorio institucional Dspace. <http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/736>.

TERMINOLOGÍA

Afluente. Agua residual que va a ingresar a una planta de tratamiento de aguas residuales o a un proceso de tratamiento (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Agua residual municipal. Agua de origen doméstico, comercial e institucional (Decreto Supremo 022 de 2009 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]), cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Aguas residuales tratadas. Aguas residuales procesadas en sistemas de tratamiento, para satisfacer los requisitos de calidad, en relación con la clase de cuerpo receptor al que serán descargadas o a sus posibilidades de uso (MINAM, 2009).

Anaerobio. Condición en la cual no hay presencia de aire u oxígeno libre (MINAM, 2009).

Cadena de custodia. Aquel documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Caudal. Es la cantidad de agua residual que circula por una unidad de tiempo a través de una sección determinada (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C) (MINAM, 2009).

Demanda química de oxígeno (DQO). Cantidad de oxígeno requerido para la oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato de potasio oxidante (Decreto Supremo 022 de 2009 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]) que reacciona con la muestra bajo condiciones controladas (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Efluente. Agua residual que sale de una planta o un proceso de (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua (ECA-Agua). Medida que establece el nivel de concentración de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos y biológicos, presentes en el agua y que no presenta riesgo significativo para el ambiente (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Muestra Simple. Es la que se toma en un tiempo y lugar determinado para su análisis Individual; representa la composición del agua residual para un lugar, tiempo y circunstancia en la que fue recolectada la muestra (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Parámetros de calidad. Aquellos compuestos, elementos, sustancias, indicadores y propiedades fisicoquímicas y biológicas que son de interés para la determinación de la calidad de agua (Resolución Ministerial 273 del 2013 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

Planta piloto. Planta de tratamiento a escala, utilizada para la determinación de las constantes cinéticas y parámetros de diseño del proceso establecido (Decreto Supremo 022 de 2009 [Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento]).

APÉNDICES

Apéndice 1

Ecuaciones para el sedimentador primario y secundario de un reactor anaerobio modular

- Volumen del sedimentador primario

$$V = Q \times Tr$$

Ecuación (1)

Donde:

V = Volumen sedimentador (m³)

Q = Caudal (m³/h)

Tr = Tiempo de retención (h), asumido según la Norma Técnica OS.090.

- Área superficial del sedimentador primario

$$A = \frac{Q}{So}$$

Ecuación (2)

Donde:

A = Área superficial del sedimentador (m²)

Q = Caudal (m³/h)

So = Carga hidráulica (m³/m². d), asumido según la Norma Técnica OS.090.

- Ancho del sedimentador primario

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$

Ecuación (3)

Donde:

W = Ancho del sedimentador (m)

A = Área superficial del sedimentador (m²)

- Largo del sedimentador primario

$$L = W \times 2$$

Ecuación (4)

Donde:

L = Largo del sedimentador (m)

W = Ancho del sedimentador (m)

- Altura efectiva del sedimentador primario

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

Ecuación (5)

Donde:

He = Altura efectiva del sedimentador (m)

V = Volumen sedimentador (m³)

A = Área superficial del sedimentador (m²)

- Altura total del sedimentador primario

$$H = He + Bl$$

Ecuación (6)

Donde:

H = Altura total del sedimentador (m)

He = Altura efectiva del sedimentador (m)

Bl = Borde libre (m)

- Altura de cada tolva

$$x = \frac{Ws - Wi}{2}$$

Ecuación (6a)

$$Ht = \tan \beta (x)$$

Ecuación (6b)

Donde:

Ws = Ancho superior de la tolva (m)

Wi = Ancho inferior de la tolva (m)

Ht = Altura de la tolva (m)

β = Ángulo de la tolva

- Carga orgánica del reactor anaerobio secundario

$$L = Q \times \text{DQO}$$

Ecuación (7)

Donde:

L = Carga orgánica del reactor anaerobio (kg DQO/d)

Q = Caudal (m³/h)

DQO = DQO promedio (mg/L), de la caracterización inicial.

- Remoción del DQO

$$R_{\text{DQO}} = \text{DQO} \times (1 - E_T)$$

Ecuación (8)

Donde:

R_{DQO} = Remoción total de DQO del reactor anaerobio (mg/L)

DQO = DQO promedio (mg/L)

E_T = Eficiencia total del reactor anaerobio (%)

- Remoción de la primera cámara del reactor anaerobio

$$R_{\text{DQO1}} = \text{DQO} \times (1 - E)$$

Ecuación (9)

Donde:

R_{DQO1} = Remoción de la primera cámara (mg/L)

DQO = DQO promedio (mg/L)

E = Eficiencia de la cámara (%)

- Remoción de la segunda cámara del reactor anaerobio

$$R_{\text{DQO2}} = \text{DQO} \times (1 - E)$$

Ecuación (10)

Donde:

R_{DQO2} = Remoción de la segunda cámara (mg/L)

DQO = DQO promedio (mg/L)

E = Eficiencia de la cámara (%)

- Remoción de la tercera cámara del reactor anaerobio

$$R_{DQO3} = DQO \times (1 - E)$$

Ecuación (11)

Donde:

R_{DQO3} = Remoción de la tercera cámara (mg/L)

DQO = DQO promedio (mg/L)

E = Eficiencia de la cámara (%)

- Tiempo de retención en cada cámara

$$E\% = (1 - TRH^{-0.4}) \times 100$$

Ecuación (12)

Donde:

E = Eficiencia de cada cámara (%)

TRH = Tiempo de retención hidráulico para cada cámara (hr)

- Volumen para cada cámara

$$V = Q \times TRH$$

Ecuación (13)

Donde:

V = Volumen para cada cámara (m³)

Q = Caudal promedio (m³/h)

TRH = Tiempo de retención hidráulico para cada cámara (hr)

- Altura total

$$H_t = H_{mf} + F_f + B_l$$

Ecuación (14)

Donde:

H_t = Altura total (m)

H_{mf} = Altura del medio filtrante (m)

Ff = Falso fondo (m)

Bl = Borde libre (m)

- Área de cada cámara

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

Ecuación (15)

Donde:

A = Área de cada cámara (m²)

V = Volumen para cada cámara (m³)

Hmf = Altura del medio filtrante (m)

- Largo de cada cámara

$$L = (A)^{0.5}$$

Ecuación (16)

Donde:

A = Área de cada cámara (m²)

L = Largo de cada cámara (m)

- Ancho de cada cámara

$$W = (A)^{0.5}$$

Ecuación (17)

Donde:

A = Área de cada cámara (m²)

W = Ancho de cada cámara (m)

- Largo efectivo total

$$Lt = L \times N$$

Ecuación (18)

Donde:

Lt = Largo efectivo total (m)

L = Largo de cada cámara (m)

N = Número de cámaras

- Carga volumétrica de la primera cámara del reactor anaerobio

$$C_v = \frac{Q \times C_1}{V}$$

Ecuación (19)

Donde:

Q = Caudal (m³/d)

C_v = Carga volumétrica (Kg DQO/ m³.d)

C₁ = Concentración de DQO (Kg/m³)

V = Volumen del medio filtrante (m³)

- Carga volumétrica de la segunda cámara del reactor anaerobio

$$C_v = \frac{Q \times C_2}{V}$$

Ecuación (20)

Donde:

Q = Caudal (m³/d)

C_v = Carga volumétrica (Kg DQO/ m³.d)

C₂ = Concentración de DQO (Kg/m³)

V = Volumen del medio filtrante (m³)

- Carga volumétrica de la tercera cámara del reactor anaerobio

$$C_v = \frac{Q \times C_3}{V}$$

Ecuación (21)

Donde:

Q = Caudal (m³/d)

C_v = Carga volumétrica (Kg DQO/ m³.d)

C₃ = Concentración de DQO (Kg/m³)

V = Volumen del medio filtrante (m³)

- Carga hidráulica de cada cámara

$$C_h = \frac{Q}{A}$$

Ecuación (22)

Donde:

Ch = Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

Q = Caudal (m^3/h)

A = Área de cada cámara (m^2)

- Volumen sedimentador secundario

$$V = Q \times Tr$$

Ecuación (23)

Donde:

V = Volumen sedimentador secundario (m^3)

Q = Caudal (m^3/h)

Tr = Tiempo de retención (hr)

- Área superficial del sedimentador secundario

$$A = \frac{Q}{So}$$

Ecuación (24)

Donde:

A = Área superficial del sedimentador (m^2)

Q = Caudal (m^3/h)

So = Carga hidráulica ($\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$)

- Ancho del sedimentador secundario

$$Wr = W$$

Ecuación (25)

Donde:

Wr = Ancho del reactor anaerobio de cada cámara (m)

- Largo del sedimentador secundario

$$L = \frac{A}{Wr}$$

Ecuación (26)

Donde:

L = Largo del sedimentador secundario (m)

A = Área superficial del sedimentador secundario (m^2)

W_r = Ancho del sedimentador secundario (m)

- Altura efectiva del sedimentador secundario

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

Ecuación (27)

Donde:

H_e = Altura efectiva del sedimentador (m)

V = Volumen sedimentador (m^3)

A = Área superficial del sedimentador (m^2)

- Altura total del sedimentador secundario

$$H = H_e + B_l$$

Ecuación (28)

Donde:

H = Altura total del sedimentador secundario (m)

H_e = Altura efectiva del sedimentador secundario (m)

B_l = Borde libre (m)

- Altura de cada tolva

$$x = \frac{W_s - W_i}{2}$$

Ecuación (29)

$$H_t = \tan \beta (x)$$

Ecuación (30)

Donde:

W_s = Ancho superior de la tolva (m)

W_i = Ancho inferior de la tolva (m)

H_t = Altura de la tolva (m)

β = Ángulo de la tolva

- Número de vertederos

$$N_v = \frac{W}{D}$$

Ecuación (31)

Donde:

N = Número de vertederos

W = Ancho de los vertederos (m)

D = Distancia de vertederos triangulares (m)

- Caudal unitario

$$q = \frac{Q}{N}$$

Ecuación (32)

Donde:

q = Caudal unitario (m³/s)

Q = Caudal medio promedio (m³/h)

N = Número de vertederos

- Altura efectiva de cada vertedero

$$H_v = \left(\frac{q}{1.4 \times \tan \frac{\alpha}{2}} \right)^{0.4}$$

Ecuación (33)

Donde:

H_v = Altura efectiva de cada vertedero (m)

q = Caudal unitario (m³/s)

α = Ángulo del vertedero triangular

- Altura total de cada tolva

$$H_t = H_v + B_l$$

Ecuación (34)

Donde:

H_t = Altura total de cada vertedero (m)

H_v = Altura efectiva de cada vertedero (m)

B_l = Borde libre del vertedero (m), asumido

- Altura crítica

$$Y = \left(\frac{(q \times W)^2}{4 \times b^2 \times g} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)}$$

Ecuación (35)

Donde:

Y = Altura crítica (m)

q = Caudal unitario (m³/s)

W = Ancho del cárcamo de salida (m)

b = Base del cárcamo de salida (m)

g = Gravedad (m/s²)

- Altura lámina de agua en el cárcamo de salida

$$H = \left(Y^2 + \left(\frac{2 \times q^2 \times W^2}{Y \times b^2 \times g} \right) \right)^{(0.5)}$$

Ecuación (36)

Donde:

H = Altura lámina de agua en el cárcamo de salida (m)

Y = Altura crítica (m)

q = Caudal unitario (m³/s)

W = Ancho del cárcamo de salida (m)

b = Base del cárcamo de salida (m)

g = Gravedad (m/s²)

- Altura máxima de la lámina de agua en el cárcamo de salida

$$H_m = H + Y$$

Ecuación (37)

Donde:

H_m = Altura máxima de la lámina de agua en el cárcamo de salida (m)

H = Altura lámina de agua en el cárcamo de salida (m)

Y = Altura crítica (m)

- Altura total del cárcamo de salida con factor de seguridad y borde libre

$$H_t = (H_m \times 1.20) + 0,1m + B_l$$

Ecuación (38)

Donde:

H_t = Altura total del cárcamo de salida (m)

H_m = Altura máxima de la lámina de agua en el cárcamo de salida (m)

B_l = Borde libre del cárcamo de salida (m), se toma el 20 % de la ecuación (37)

Apéndice 2

Ecuaciones para el filtro percolador de un reactor anaerobio modular

- Caudal de diseño

$$Q = \frac{Q_{mh}}{N}$$

Ecuación (39)

Donde:

Q = Caudal (m³/d)

Q_{mh} = Caudal máximo horario (m³/h)

N = Número de tanques

- Caudal de recirculación

$$Q_r = Q \times 2$$

Ecuación (40)

Donde:

Q_r = Caudal de recirculación (m³/d)

Q = Caudal (m³/d)

- Área del filtro percolador

$$A_t = 2(a + b)h + 2ab$$

Ecuación (41)

Donde:

A_t = Área total del filtro percolador (m²)

a = Ancho (m)

b = Largo (m)

h = Altura (m)

- Área Lateral del filtro percolador

$$A_l = 2(a + b)h$$

Ecuación (42)

Donde:

A_l = Área lateral del filtro percolador (m²)

a = Ancho (m)

b = Largo (m)

h = Altura (m)

- Volumen total del filtro percolador

$$V = abh$$

Ecuación (43)

Donde:

V = Volumen del filtro percolador (m³)

a = Ancho (m)

b = Largo (m)

h = Altura (m)

Apéndice 3

Ecuaciones para un humedal artificial

- Volumen del humedal

$$V = Q \times T$$

Ecuación (44)

Donde:

V= Volumen del líquido (m³)

Q= Caudal (L/seg.)

T= Tiempo de flujo (día)

Romero (2004, citado por Arévalo y Roncancio 2015, p.83) halla el área superficial del humedal, conociendo que la profundidad del lecho de piedra normalmente está entre 0.3 m y 0.9 m, la cual en diferentes literaturas se encontró que son la más efectivas:

- Área superficial del humedal

$$As = \frac{V}{Y}$$

Ecuación (45)

Donde:

As = Área superficial (m²)

V= Volumen del humedal (m³)

Y= Profundidad del humedal (m)

Apéndice 4

Ecuaciones para una laguna de estabilización

- Volumen de la laguna facultativa

$$V = 0.035 \times Q \times L \times (1.085)^{(35-T)}$$

Ecuación (46)

Donde:

V= Volumen de la laguna (m³)

Q= Caudal del afluente (m³/d)

L= DBO₅ para aguas residuales sedimentadas (mg/L)

T= Temperatura promedio del agua en el mes más frío

- Área de la laguna facultativa

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

Ecuación (47)

Donde:

A= Área de la laguna (m²)

V= Volumen de la laguna (m³)

P= Profundidad de la laguna (m)

- Tiempo de retención hidráulico de la laguna facultativa

$$Tr = \frac{V}{Q}$$

Ecuación (48)

Donde:

Tr= Tiempo de retención (días)

V= Volumen de la laguna (m³)

Q= Caudal de la laguna (m³/día)

Romero (2005, citado por Arévalo y Roncancio 2015, p.99) determina el volumen y el área de la laguna secundaria (laguna de maduración) a través de las siguientes fórmulas:

- Volumen de la laguna maduración

$$V = Q \times T$$

Ecuación (49)

Donde:

V= Volumen de la laguna (m³)

Q= Caudal de la laguna (m³/día)

T= Tiempo (días)

- Área de la laguna maduración

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

Ecuación (50)

Donde:

A= Área de la laguna (m²)

V= Volumen de la laguna (m³)

P= Profundidad de la laguna (m)

Apéndice 5

Diseño del sedimentador primario y secundario de un reactor anaerobio modular

- Volumen del sedimentador primario

Ecuación (1)

$$V = Q \times Tr$$
$$V = \left(3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right) \right) (1.5 \text{ horas})$$
$$V = 0.71 \text{ m}^3$$

- Área superficial del sedimentador primario

Ecuación (2)

$$A = \frac{Q}{S_o}$$
$$A = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right)}{19 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{día}}}$$
$$A = 0.6 \text{ m}^2$$

- Ancho del sedimentador primario

Ecuación (3)

$$W = \sqrt{\frac{A}{2}}$$
$$W = \sqrt{\frac{0.6 \text{ m}^2}{2}}$$
$$W = 0.55 \text{ m}$$

- Largo del sedimentador primario

Ecuación (4)

$$L = W \times 2$$
$$L = 0.55 \text{ m} \times 2$$
$$L = 1.1 \text{ m}$$

- Altura efectiva del sedimentador primario

Ecuación (5)

$$He = \frac{V}{A}$$
$$He = \frac{0.71 \text{ m}^3}{0.6 \text{ m}^2}$$
$$He = 1.2 \text{ m}$$

- Altura total del sedimentador primario

Ecuación (6)

$$H = He + Bl$$
$$H = 1.2 \text{ m} + 0.6 \text{ m}$$
$$H = 1.8 \text{ m}$$

Las dos tolvas se diseñaron con una forma piramidal para depositar y retirar los sólidos sedimentables, teniendo un largo de 0.55 m y ancho de 1.10 m, una base cuadrada de 0.15 m de lado y se asumió un ángulo de 45°.

- Altura de cada tolva

Ecuación (6a)

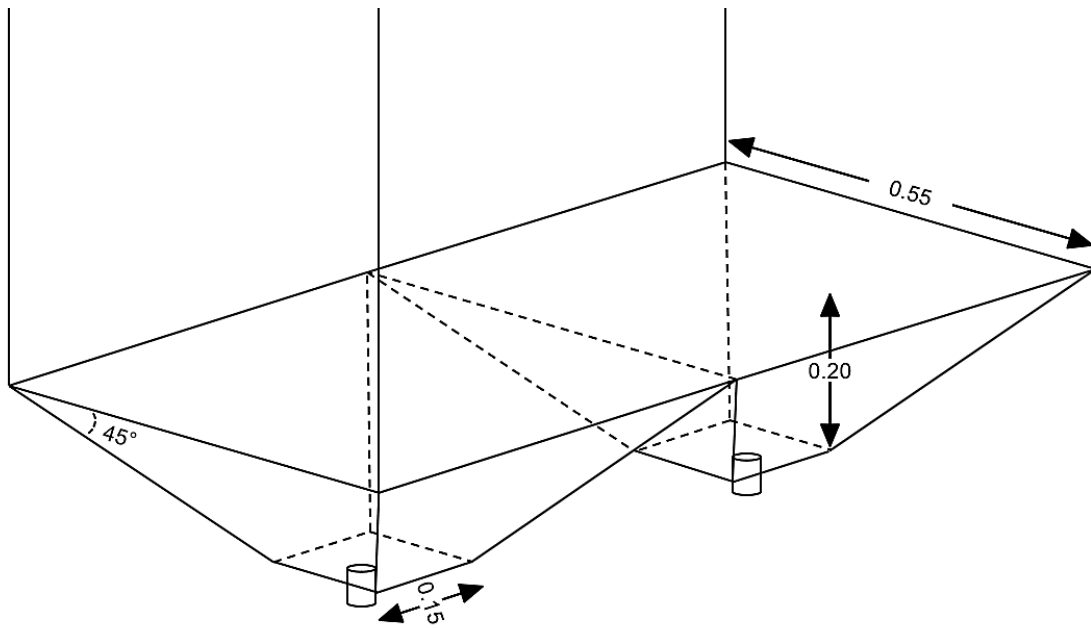
$$x = \frac{Ws - Wi}{2}$$
$$x = \frac{0.55 \text{ m} - 0.15 \text{ m}}{2}$$
$$x = 0.20 \text{ m}$$

Ecuación (6b)

$$Ht = \tan \beta (x)$$
$$Ht = \tan 45^\circ (0.20 \text{ m})$$
$$Ht = 0.20 \text{ m}$$

Figura 21

Tolvas del sedimentador primario

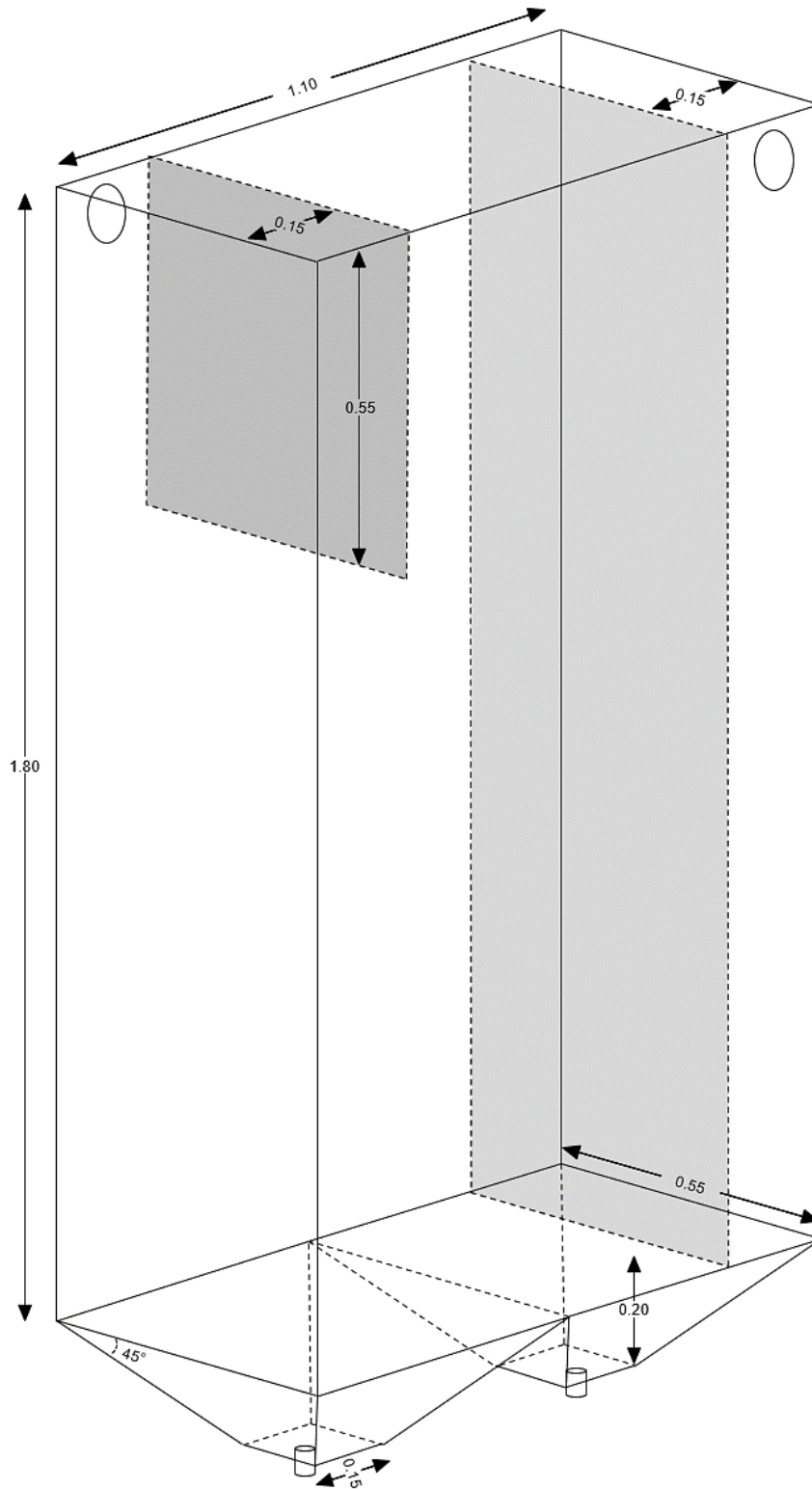


Para el ingreso del reactor anaerobio modular y al sedimentador primario, con el fin de controlar el caudal de entrada se diseñó un vertedero circular en un tubo PVC de 3” cortado en la mitad con agujeros al azar.

El sedimentador primario también cumple como trampa de grasas, se añadieron dos bafles a 0.20 m y 0.90 m del punto de entrada; el primero con una altura de 0.55 m y el segundo de 1.8 m.

Figura 22

Diseño del sedimentador primario



- Carga orgánica del reactor anaerobio secundario

Ecuación (7)

$$L = Q \times DQO$$

$$L = 3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \times 1780.8 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \right)$$

$$L = 20.25 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{día}}$$

- Remoción del DQO

La eficiencia es de 80 % según el Reglamento Nacional de Edificaciones (2009).

Ecuación (8)

$$R_{DQO} = DQO \times (1 - E_T)$$

$$R_{DQO} = \left(1780.8 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \right) \times (1 - 0.8)$$

$$R_{DQO} = 356.16 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Remoción de la primera cámara del reactor anaerobio

Ecuación (9)

$$R_{DQO1} = DQO \times (1 - E)$$

$$R_{DQO1} = \left(1780.8 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \right) \times (1 - 0.37)$$

$$R_{DQO1} = 1121.90 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Remoción de la segunda cámara del reactor anaerobio

Ecuación (10)

$$R_{DQO2} = DQO \times (1 - E)$$

$$R_{DQO2} = \left(1121.90 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \right) \times (1 - 0.37)$$

$$R_{DQO2} = 706.80 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Remoción de la tercera cámara del reactor anaerobio

Ecuación (11)

$$R_{DQO3} = DQO \times (1 - E)$$

$$R_{DQO3} = \left(706.80 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}}\right) \times (1 - 0.37)$$

$$R_{DQO3} = 445.28 \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

- Tiempo de retención en cada cámara

Ecuación (12)

$$E_1 \% = (1 - \text{TRH}^{-0.4}) \times 100$$

$$\text{TRH} = \sqrt[0.4]{1 - \frac{E_1}{100}}$$

$$\text{TRH} = \sqrt[0.4]{1 - \frac{37}{100}}$$

$$\text{TRH} = 3.2 \text{ horas}$$

- Volumen para cada cámara

Ecuación (13)

$$V = Q \times \text{TRH}$$

$$V = 3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}}\right) \left(\frac{\text{día}}{24 \text{ h}}\right) \times 3.2 \text{ horas}$$

$$V = 1.5 \text{ m}^3$$

Se asumió una altura para el filtro percolador de 0.85 m con un borde libre de 0.19 m y un falso fondo de 0.26 m para cada cámara del reactor anaerobio.

- Altura total

Ecuación (14)

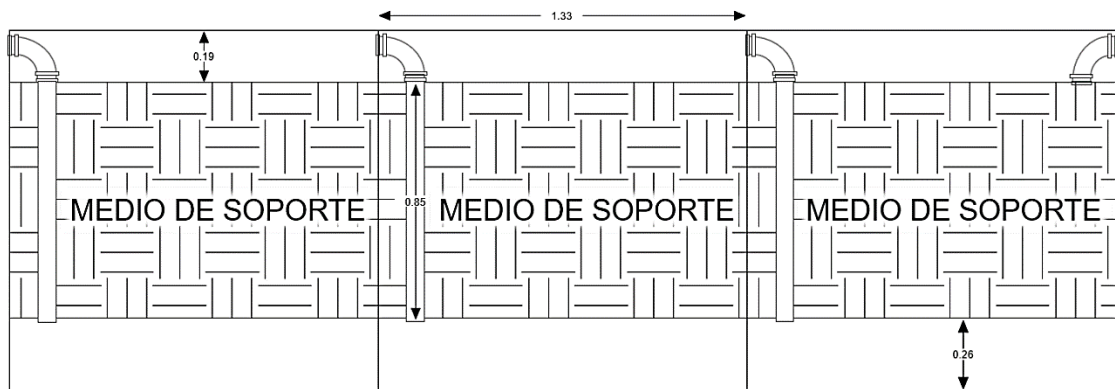
$$H_t = H_{mf} + F_f + B_l$$

$$H_t = 0.85 \text{ m} + 0.26 \text{ m} + 0.19 \text{ m}$$

$$H_t = 1.30 \text{ m}$$

Figura 23

Cámaras del reactor anaerobio



- Área de cada cámara

Ecuación (15)

$$A = \frac{V}{Hmf}$$
$$A = \frac{1.5 \text{ m}^3}{0.85 \text{ m}}$$
$$A = 1.77 \text{ m}^2$$

- Largo de cada cámara

Ecuación (16)

$$L = (A)^{0.5}$$
$$L = (1.77 \text{ m}^2)^{0.5}$$
$$L = 1.33 \text{ m}$$

- Ancho de cada cámara

Ecuación (17)

$$W = (A)^{0.5}$$
$$W = (1.77 \text{ m}^2)^{0.5}$$
$$W = 1.33 \text{ m}$$

- Largo efectivo total

Ecuación (18)

$$L_t = L \times N$$

$$L_t = 1.33 \text{ m} \times 3$$

$$W = 3 \text{ m}$$

- Carga volumétrica de la primera cámara del reactor anaerobio

Ecuación (19)

$$C_v = \frac{Q \times C_1}{V}$$

$$C_v = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \times 1780.8 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \right)}{1.5 \text{ m}^3}$$

$$C_v = 13.46 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

- Carga volumétrica de la segunda cámara del reactor anaerobio

Ecuación (20)

$$C_v = \frac{Q \times C_2}{V}$$

$$C_v = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \times 1121.90 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \right)}{1.5 \text{ m}^3}$$

$$C_v = 8.48 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

- Carga volumétrica de la tercera cámara del reactor anaerobio

Ecuación (21)

$$C_v = \frac{Q \times C_3}{V}$$

$$C_v = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \times 706.80 \frac{\text{mg DQO}}{\text{L}} \left(\frac{1000 \text{ L}}{\text{m}^3} \right) \left(\frac{1 \text{ kg}}{1000000 \text{ mg}} \right)}{1.5 \text{ m}^3}$$

$$C_v = 5.34 \frac{\text{Kg DQO}}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

- Carga hidráulica de cada cámara

Ecuación (22)

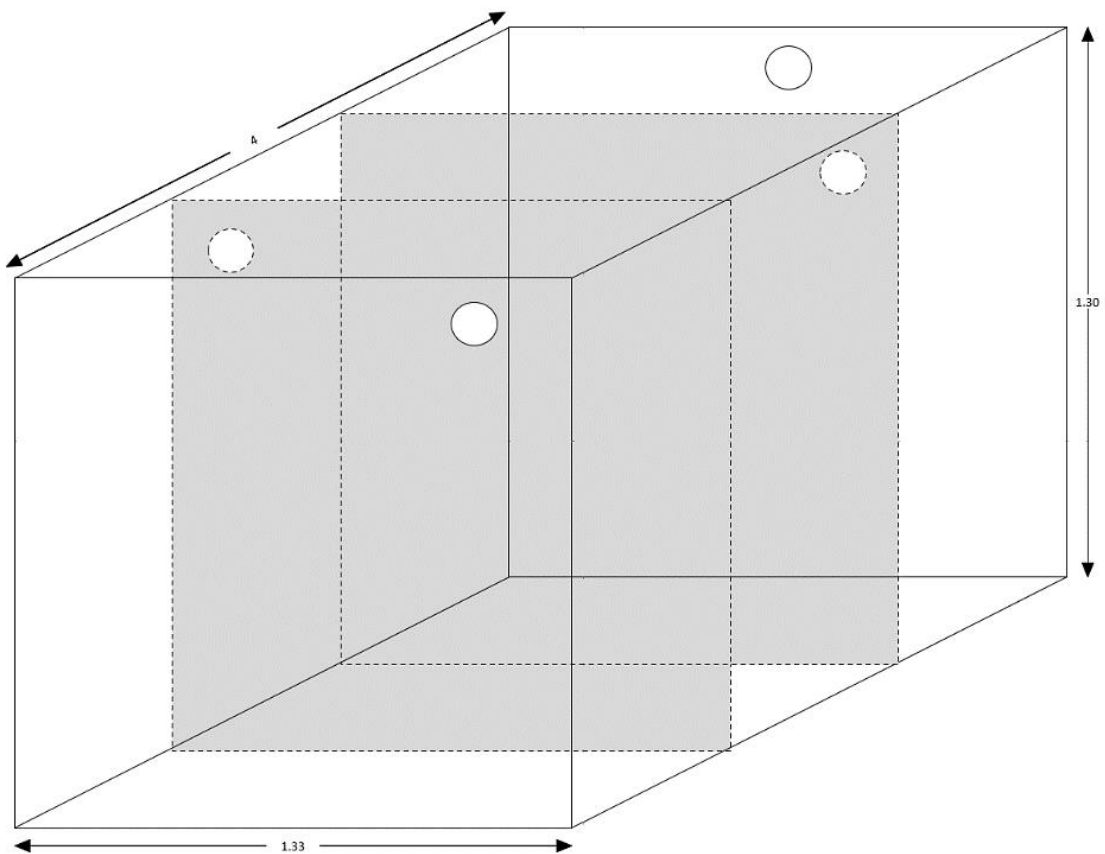
$$Ch = \frac{Q}{A}$$

$$Ch = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \left(\frac{\text{día}}{24 \text{ h}} \right)}{1.77 \text{ m}^2}$$

$$Ch = 0.3 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \cdot \text{h}}$$

Figura 24

Diseño del reactor anaerobio



- Volumen sedimentador secundario

Ecuación (23)

$$V = Q \times Tr$$

$$V = \left(3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ horas}} \right) \right) (1.5 \text{ horas})$$

$$V = 0.7 \text{ m}^3$$

Se asumió la carga hidráulica (S_o), ya que debe ser menor a $1 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

- Área superficial del sedimentador secundario

Ecuación (24)

$$A = \frac{Q}{S_o}$$
$$A = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right)}{0.802 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2.\text{día}}}$$
$$A = 0.59 \text{ m}^2$$

- Ancho del sedimentador secundario

Ecuación (25)

$$W_r = W$$
$$W_r = 1.33 \text{ m}$$

- Largo del sedimentador secundario

Ecuación (26)

$$L = \frac{A}{W_r}$$
$$L = \frac{0.59 \text{ m}^2}{1.33 \text{ m}}$$
$$L = 0.44 \text{ m}$$

- Altura efectiva del sedimentador secundario

Ecuación (27)

$$H_e = \frac{V}{A}$$
$$H_e = \frac{0.7 \text{ m}^3}{0.59 \text{ m}^2}$$
$$H_e = 1.2 \text{ m}$$

- Altura total del sedimentador secundario

Ecuación (28)

$$H = H_e + B_l$$

$$H = 1.2 \text{ m} + 0.1 \text{ m}$$

$$H = 1.3 \text{ m}$$

Se añadió al sedimentador secundario dos baffles a 0.29 m del punto de entrada y 0.15 m; el primer baffle con una altura de 1.30 m para que haya una pérdida de energía al ingreso del sedimentador y el segundo de 0.55 m para prevenir un levantamiento de los sólidos suspendidos del efluente.

Las tres tolvas se diseñaron con una forma piramidal para depositar y retirar los sólidos sedimentables, teniendo un largo de 0.44 m y ancho de 1.33 m, una base cuadrangular cada lado de 0.15 m y se asumió un ángulo de 45°.

- Altura de cada tolva

Ecuación (29)

$$x = \frac{W_s - W_i}{2}$$

$$x = \frac{0.44 \text{ m} - 0.15 \text{ m}}{2}$$

$$x = 0.15 \text{ m}$$

Ecuación (30)

$$H_t = \tan \beta (x)$$

$$H_t = \tan 45^\circ (0.15 \text{ m})$$

$$H_t = 0.15 \text{ m}$$

Se diseñaron vertederos triangulares con el fin de controlar el efluente del sedimentador secundario y asegurar una continua velocidad.

- Número de vertederos

Ecuación (31)

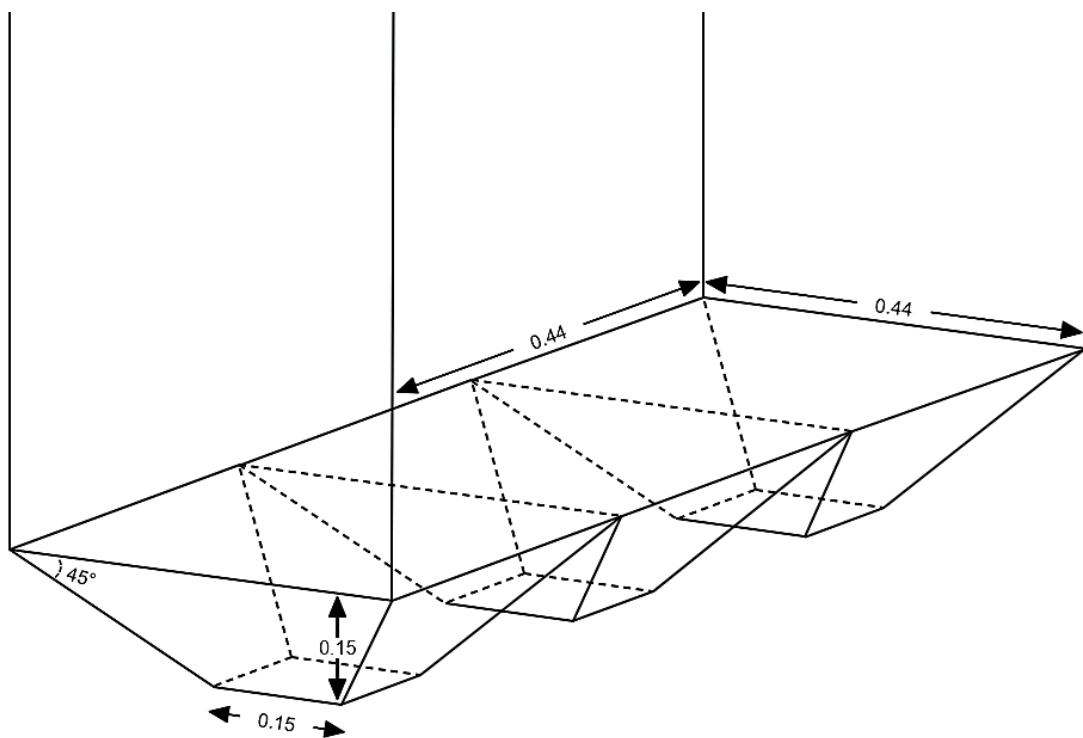
$$N_v = \frac{W}{D}$$

$$N_v = \frac{1.33 \text{ m}}{0.15 \text{ m}}$$

$$N_v = 8.9 = 9 \text{ vertederos}$$

Figura 25

Tolvas del sedimentador secundario



- Caudal unitario

Ecuación (32)

$$q = \frac{Q}{N}$$

$$q = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \right)}{9}$$

$$q = 0.000015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- Altura efectiva de cada vertedero

Ecuación (33)

$$H_v = \left(\frac{q}{1.4 \times \tan \frac{\alpha}{2}} \right)^{0.4}$$

$$H_v = \left(\frac{0.000015 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1.4 \times \frac{\tan 45}{2}} \right)^{0.4}$$

$$H_v = 0.011 \text{ m}$$

- Altura total de cada tolva

Ecuación (34)

$$H_t = H_v + B_l$$

$$H_t = 0.011 \text{ m} + 0.09 \text{ m}$$

$$H_t = 0.10 \text{ m} = 10 \text{ cm}$$

- Altura crítica

Ecuación (35)

$$Y = \left(\frac{(q \times W)^2}{4 \times b^2 \times g} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)}$$

$$Y = \left(\frac{\left(3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \left(\frac{1 \text{ día}}{24 \text{ h}} \right) \left(\frac{\text{h}}{3600 \text{ s}} \right) \right) (1.33 \text{ m})^2}{4 \times (0.15 \text{ m})^2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right)^{\left(\frac{1}{3}\right)}$$

$$Y = 0.0033 \text{ m}$$

- Altura lámina de agua en el cárcamo de salida

Ecuación (36)

$$H = \left(Y^2 + \left(\frac{2 \times q^2 \times W^2}{Y \times b^2 \times g} \right) \right)^{(0.5)}$$

$$H = \left((0.0033 \text{ m})^2 + \left(\frac{2 \times \left(0.000013 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right)^2 (1.33 \text{ m})^2}{0.0033 \text{ m} \times (0.15 \text{ m})^2 \times 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \right) \right)^{(0.5)}$$

$$H = 0.0098 \text{ m}$$

- Altura máxima de la lámina de agua en el cárcamo de salida

Ecuación (37)

$$H_m = H + Y$$

$$H_m = 0.0098 \text{ m} + 0.0033 \text{ m}$$

$$H_m = 0.0130 \text{ m}$$

- Altura total del cárcamo de salida con factor de seguridad y borde libre

Ecuación (38)

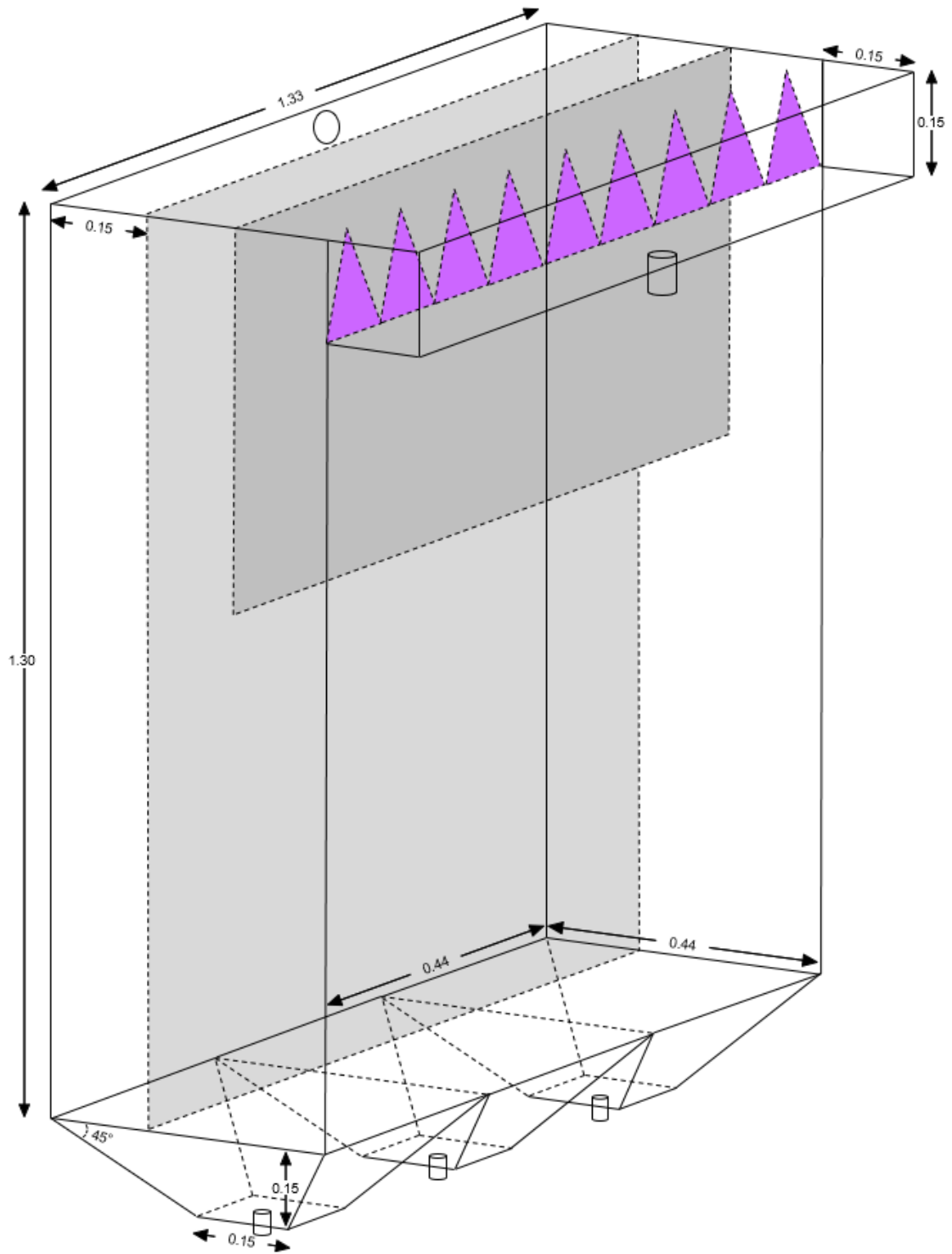
$$H_t = (H_m \times 1.20) + 0,1\text{m} + B_l$$

$$H_t = (0.0098 \times 1.20) + 0,1\text{m} + 0.0026 \text{ m}$$

$$H_m = 0.11 \text{ m}$$

Figura 26

Diseño del sedimentador secundario



Apéndice 6

Diseño del filtro percolador de un reactor anaerobio modular

- Caudal de diseño

Ecuación (39)

$$Q = \frac{Qmh}{N}$$
$$Q = \frac{3000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right)}{3}$$
$$Q = 3.79 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- Caudal de recirculación

Ecuación (40)

$$Q_r = Q \times 2$$
$$Q_r = 3.79 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 2$$
$$Q_r = 7.54 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}$$

- Área del filtro percolador

Ecuación (41)

$$A_t = 2(a + b)h + 2ab$$
$$A_t = 2(1.33 \text{ m} + 1.33 \text{ m})(0.85 \text{ m}) + 2(1.33 \text{ m})(1.33 \text{ m})$$
$$A_t = 8.1 \text{ m}^2$$

- Área Lateral del filtro percolador

Ecuación (42)

$$A_l = 2(a + b)h$$
$$A_l = 2(1.33 \text{ m} + 1.33 \text{ m})(0.85 \text{ m})$$
$$A_l = 4.5 \text{ m}^2$$

- Volumen total del filtro percolador

Ecuación (43)

$$V = abh$$

$$V = (1.33 \text{ m})(1.33 \text{ m})(0.85 \text{ m})$$

$$V = 1.5 \text{ m}^3$$

Con los datos obtenidos, la evaluación de la primera alternativa del reactor anaerobio modular para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta, es viable por la reducida área que se va a necesitar para la implementación del reactor anaerobio modular; ya que la municipalidad distrital cuenta con un área limitada disponible para la construcción de este sistema.

Apéndice 7

Diseño de un humedal artificial

- Volumen del humedal

Ecuación (44)

$$V = Q \times T$$
$$V = \left(9000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}} \right) \right) (1 \text{ día})$$
$$V = 34.11 \text{ m}^3$$

Para agregar el sustrato al humedal artificial, la profundidad aproximada será de 0.9 m:

- Área superficial del humedal

Ecuación (45)

$$As = \frac{V}{Y}$$
$$As = \frac{34.11 \text{ m}^3}{0.9 \text{ m}}$$
$$As = 37.9 \text{ m}^2$$

Con los datos obtenidos, la evaluación de la segunda alternativa del humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta no es viable por la extensa área que se va a necesitar para la implementación del humedal; ya que la municipalidad distrital no cuenta con áreas disponibles para la construcción de este sistema.

Apéndice 8

Diseño de una laguna de estabilización

- Volumen de la laguna facultativa

Ecuación (46)

$$V = 0.035 \times Q \times L \times (1.085)^{(35-T)}$$
$$V = 0.035 \times \left(9000 \frac{\text{gal}}{\text{día}}\right) \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}}\right) \times 500 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times (1.085)^{(35-13)}$$
$$V = 3592.3 \text{ m}^3$$

Se determina el área de la laguna facultativa, con una profundidad de 3 m por presentar una temperatura variable y agua residual municipal con arena y sólidos sedimentables:

- Área de la laguna facultativa

Ecuación (47)

$$A = \frac{V}{P}$$
$$A = \frac{3592.3 \text{ m}^3}{3 \text{ m}}$$
$$A = 1197.4 \text{ m}^2$$

- Tiempo de retención hidráulico de la laguna facultativa

Ecuación (48)

$$\text{Tr} = \frac{V}{Q}$$
$$\text{Tr} = \frac{3592.3 \text{ m}^3}{9000 \frac{\text{gal}}{\text{día}} \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}}\right)}$$
$$\text{Tr} = 105.3 \text{ días}$$

- Volumen de la laguna maduración

Ecuación (49)

$$V = Q \times T$$

$$V = \left(9000 \frac{\text{gal}}{\text{día}}\right) \left(\frac{0.00379 \text{ m}^3}{\text{gal}}\right) \times 1 \text{ día}$$

$$V = 34.11 \text{ m}^3$$

Para agregar el sustrato a la laguna de maduración, la profundidad aproximada será de 0.9 m:

- Área de la laguna maduración

Ecuación (50)

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

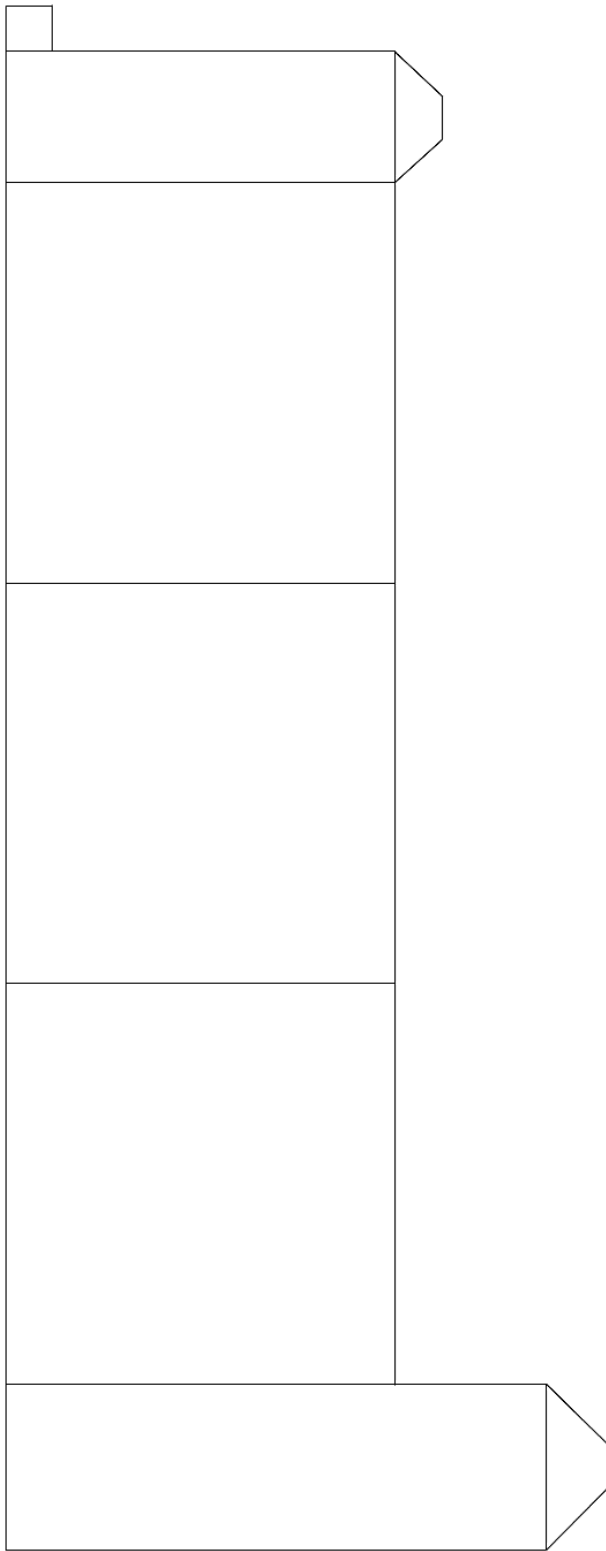
$$A = \frac{34.11 \text{ m}^3}{0.9 \text{ m}}$$

$$A = 37.9 \text{ m}^2$$

Con los datos obtenidos, la evaluación de la tercera alternativa de las lagunas de estabilización para el tratamiento de aguas residuales municipales del distrito de La Punta no es viable por la extensa área que se va a necesitar para la implementación de dos lagunas en serie, es decir una laguna facultativa y una laguna de maduración; ya que la municipalidad distrital no cuenta con áreas disponibles para la construcción de este sistema.

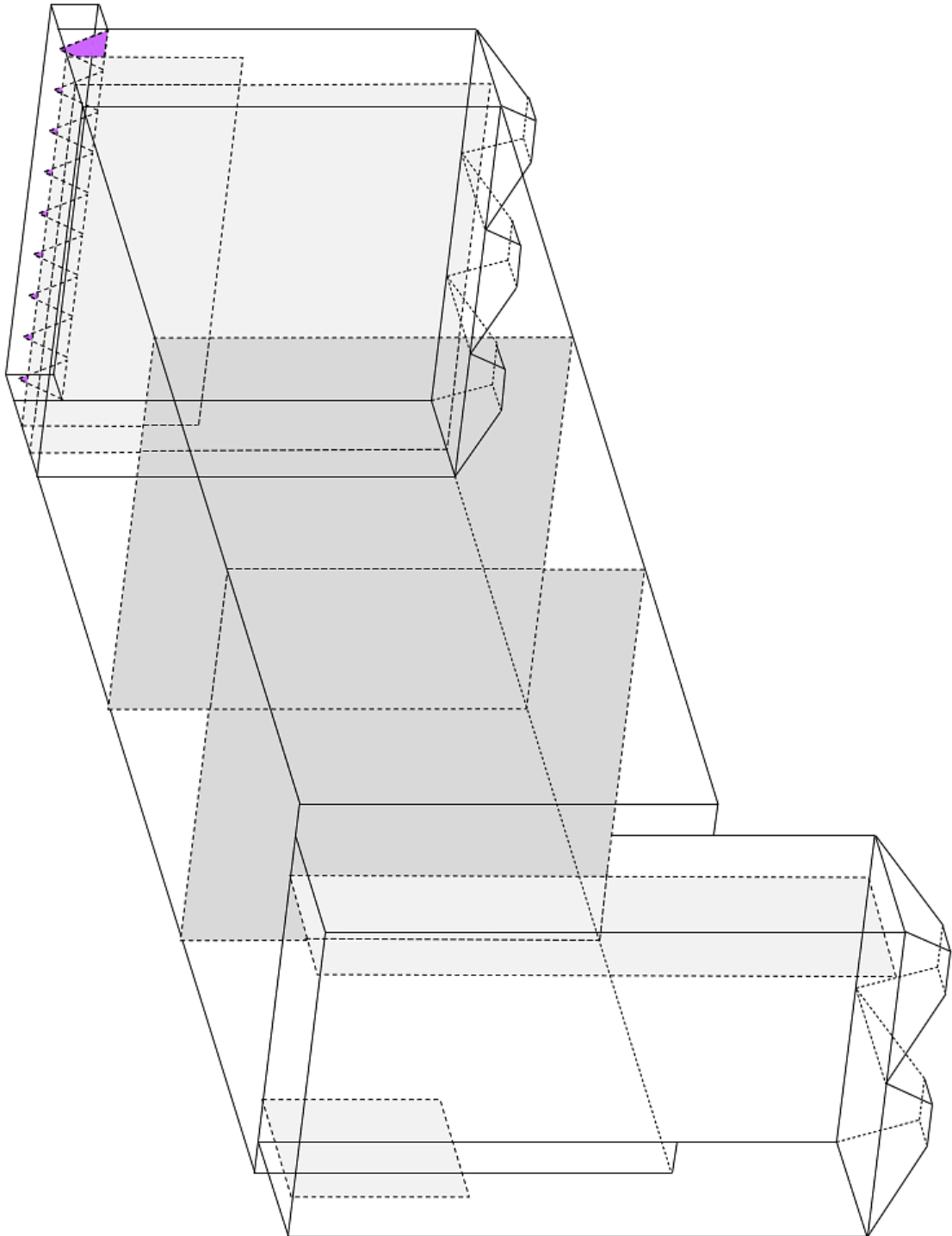
Apéndice 9

Vista derecha del modelo completo del reactor anaerobio modular



Apéndice 10

Vista isométrica superior este del reactor anaerobio modular



Apéndice 11

Registro de cadena de custodia de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.

REGISTRO DE CADENA DE CUSTODIA													
Nombre de la PTAR:													
Muestra No.	Afluente	Efluente	Fecha	Hora toma de muestra	Tipo de frasco	Volumen	Reactivos	PARÁMETRO A SER MEDIDO					Observaciones
								AyG	DBO	DQO	SST	CTT	
1	X		22.09.21	10:24 a.m.	Plastico	1L	N/A				X		
2	X		22.09.21	10:36 a.m.	Plastico	1L	H ₂ SO ₄		X				50 ml. H ₂ SO ₄
3	X		22.09.21	11:24 a.m.	Vacio Ambar	1L	HCL	X					25 ml. HCL
4	X		22.09.21	11:40 a.m.	Plastico	1L	N/A		X				
Hora de entrega al medio de transporte:													

Responsable de la PTAR			Operador del muestreo			Custodio de la muestra			Recepción en laboratorio			
Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Nombre y apellidos	Institución	Firma	Institución	Firma	Hora	Fecha
			TANIA HILARDES HEGO JIRENEZ									
						Moriza Vidal	AREA DE MEDIO AMBIENTE			RECIBIDO 22.9.21 Hora: 13:00		

Nota: Elaboración propia con base en la Resolución Ministerial 273 (2013).

Apéndice 12

Primera página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.



INFORME DE ENSAYO N° AM21019

Pág. 1 de 3

Emitido en Lima, al 15 de Octubre del 2021

Nombre del Solicitante : TANIA MILAGROS MEGO JIMENEZ

Dirección de la Empresa :

Asunto : Análisis Físico-químicos / Microbiológicos.

Tipo de Muestra : Agua Residual

Cantidad de Muestras : 01

Fecha de Recepción : 22-09-2021

Características de la muestra : Frascos PVC y Vidrio x 1L clu.

Fecha de realización del ensayo : Del 22-09-2021 Hasta 14-10-2021

***** DESCRIPCIÓN DE MUESTRAS *****

CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	FECHA DE MONITOREO	HORA DE MONITOREO
Muestra N°1	*****	22/09/2021	10:24 Horas

Nota: Las muestras fueron enviadas por el cliente/Datos proporcionados por el cliente.

EXPERTOS EN LABORATORIO

METODOS DE ENSAYO	
DETERMINACION	METODOLOGIA
Determinación de Aceites y Grasas	EPA – Method 1664 Revision A; 1999, N-Hexane Extractable material (HEM; Oil and Grease) and Silica Gel Treated N-Hexane Extratable Material by Extraction and Gravimetry
Determinación de D.B.O.5	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017. Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minilab SRL, sito en el Jr. España N°931 - La Perla - Callao y si el servicio lo considerara las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minilab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03
Jr. España 931-942 La Perla - Callao - Perú Telfs. (51-1) 420-5955 420-5280 457-6389 457-5173
989 134 386 Gerencia de Operaciones 989 134 397 Gerencia Comercial E-mail: servicioalcliente@minilab.pe / pillmach@minilab.pe
www.minilab.com.pe MINLAB dispone de un sistema de gestión de la calidad conforme con la Norma ISO 9001:2015



Nota: Resultados de laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L.

Apéndice 13

Segunda página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.



INFORME DE ENSAYO
N° AM21019

Pág. 2 de 3

Emitido en Lima, al 15 de Octubre del 2021

METODOS DE ENSAYO

METODOLOGIA

DETERMINACION	METODOS DE ENSAYO	METODOLOGIA
Determinación de DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Titrimetric Method.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 23rd Ed. 2017. Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Titrimetric Method.
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 21ST Edition 2005 Part. 2540 D.Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.	SMEWW-APHA-AWWA-WEF 21ST Edition 2005 Part. 2540 D.Sólidos totales en suspensión secados a 103-105 °C.
Determinación de Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012 part 9223 B, Pag. 9-93 (Colifert).	SMEWW-APHA-AWWA-WEF, 22nd Edition 2012 part 9223 B, Pag. 9-93 (Colifert).



RESULTADO DE ENSAYOS

DETERMINACION DE PARAMETROS FISICOQUIMICOS:

DETERMINACION	UNIDADES	LIMITE DE CUANTIFICACION	RESULTADOS Muestra N°1
Determinación de Acelles y Grasas	mg/L	0.4	41.2
Determinación de D.B.O.5	mg/L O2	2.0	636.0
Determinación de DQO	mg/L O2	2.0	1 780.8
Determinación de Sólidos Totales en Suspensión (TSS)	mg/L	5.0	160.0

• La determinación de D.B.O.5, y DQO fueron realizadas por un tercer laboratorio.

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minilab SRL, sito en el Jr. España N°931, La Perla- Callao y si el servicio lo considera las contramuestra (a) del producto serán conservadas por un período de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen solo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la unidad que lo produce.

Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minilab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03
 Jr. España 931-942 La Perla- Callao - Perú Telfs. (51-1) 420-5955 420-5280 457-6389 457-5173
 989 134 386 Gerencia de Operaciones - 989 134 397 Gerencia Comercial E-mail: servicioalcliente@minilab.pe / plimachi@minilab.pe
www.minilab.com.pe
 MINILAB dispone de un sistema de gestión de la calidad conforme con la Norma ISO 9001:2015



Nota: Resultados de laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L.

Apéndice 14

Tercera página de los resultados de laboratorio de la caracterización inicial del agua residual municipal de La Punta.



INFORME DE ENSAYO
N° AM21019

Emitido en Lima, al 15 de Octubre del 2021

Pág. 3 de 3



Ing. Martin Rivadeneyra Asanza
Jefe de Laboratorio

DETERMINACION DE PARÁMETROS MICROBIOLÓGICOS:

DETERMINACION	UNIDADES	LÍMITE DE CUANTIFICACIÓN	RESULTADOS Muestra N°1
Determinación de Coliformes Fecales	NMP/ 100mL	1.0	26.0



Ing. Pablo Limachi Gómez
Gerente General
PABLO LIMACHI GÓMEZ
INGENIERO QUÍMICO
Reg. CIP N° 120364

Los ensayos se han realizado en los Laboratorios de Minilab SRL, sito en el Jr. España N°931-La Perla- Callao y el servicio lo considera las contramuestra (e) del producto serán conservadas por un periodo de tiempo declarado y/o acordado con el cliente, luego del cual se eliminarán según nuestros procedimientos internos. Los resultados de los ensayos pertenecen sólo a las muestras ensayadas y no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
Este Informe de Ensayo no podrá ser reproducido, excepto en su totalidad, sin aprobación de Minilab SRL.

AM-FR-11/ Versión: 03
Jr. España 931-942 La Perla- Callao - Perú telef. (51-1) 420-5955 420-5280 457-6389 457-5173
989 134 386 Gerencia de Operaciones - 989 134 397 Gerencia Comercial E-mail: servicioalcliente@minilab.pe / plimach@minilab.pe
www.minilab.com.pe
MINIAB dispone de un sistema de gestión de la calidad conforme con la Norma ISO 9001:2015



Nota: Resultados de laboratorio de Minerals of Laboratories S.R.L.

Apéndice 16

Primera página de los resultados de laboratorio del muestreo del agua residual municipal de La Punta.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-056



INFORME DE ENSAYO N° 218174 CON VALOR OFICIAL

Razón Social : TANIA MEGO JIMENEZ
Domicilio Legal : Calle 11 Asoc. Santa Rosa Mza. J lote 02 Callao, Callao, Callao
Solicitado por : TANIA MEGO JIMENEZ
Referencia : Cotización N° 4834-21
Proyecto : TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
Procedencia : Reservado por el cliente
Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
Cantidad de Muestras : 3
Producto : Agua
Fecha de Recepción : 17/11/2021
Fecha de Ensayo : 17/11/2021 al 29/11/2021
Fecha de Emisión : 29/11/2021

I. Resultados

Código de Laboratorio	218174-01	218174-02	218174-03			
Código del Cliente	AR-01	AR-02	AR-03			
Fecha de Muestreo	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021			
Hora de Muestreo (h)	15:40	15:48	16:00			
Ubicación Geográfica (WGS 84)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA			
Tipo de Producto	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual			
Tipo de Ensayo	Unidad	L.D.M.	L.C.M.	Resultados		
Laboratorio Físico Químico						
Aceites y Grasas	mg/L	0,2	0,5	0,7	<0,2	<0,2
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg BOD5/L	0,5	2,0	141,7	145,4	157,2
Demanda Química de Oxígeno	mg O2/L	1,6	5,0	335,7	385,7	425,7
Sólidos Suspendedos Totales	mg STS/L	1	6	113	93	101

Leyenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "rj"=Resolución cuantificable, "rj'" = Límite de Detección de Método, "n" = No analizado

II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Laboratorio Físico Químico		
Aceites y Grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand. Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos Suspendedos Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C

"SMEWW": Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

Nota: Resultados de laboratorio de Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Apéndice 17

Segunda página de los resultados de laboratorio de muestreo del agua residual municipal de La Punta.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-056



Registro N° LE-056

INFORME DE ENSAYO N° 218174 CON VALOR OFICIAL

III. Observaciones

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

IV. Procedimiento de Muestreo

- PM-OPE-01 Requisitos generales de muestreo
- PM-OPE-02 Transporte, almacenamiento y mantenimiento de equipos
- PM-OPE-04 Muestreo de Aguas
- PM-OPE-11 Aseguramiento y Control de Calidad en el Muestreo


Ing. Jessica Tapia C.
Gerente de Calidad, Seguridad,
Salud y Ambiente
C.I.P. N° 238897

Los resultados presentados corresponden sólo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Cada resultado no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de custodia de la muestra es de un mes (referente desde el ingreso de la muestra al Laboratorio). El tiempo de validez del informe de análisis, tanto en digital como en físico es de 6 meses. El tiempo de preservación de la muestra está en función a lo establecido en los métodos normalizados de análisis y éste desde la toma de muestra. Esta probada la reproducción para el presente documento, salvo autorización de Environmental Testing Laboratory S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con las fechas de muestreo. Para verificar las condiciones de los muestreos como se recibieron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo: info@envirotest.com.pe

FIN DEL INFORME

Nota: Resultados de laboratorio de Environmental Testing Laboratory S.A.C.

Apéndice 18

Tercera página de los resultados de laboratorio del muestreo del agua residual municipal de La Punta.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO
INTERNATIONAL ACCREDITATION SERVICE, INC., -IAS
CON REGISTRO TL-659



INFORME DE ENSAYO N° 218174-M CON VALOR OFICIAL

Razón Social : TANIA MEGO JIMENEZ
Domicilio Legal : Calle 11 Asoc. Santa Rosa Mza. J lote 02 Callao, Callao, Callao
Solicitado por : TANIA MEGO JIMENEZ
Referencia : Cotización N° 4834-21
Proyecto : TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL
Procedencia : RESERVADO POR EL CLIENTE
Muestreo Realizado por : EL CLIENTE
Cantidad de Muestras : 3
Condición de Conservación : 5,2 °C
Producto : AGUA
Fecha de Recepción : 17/11/2021
Fecha de Ensayo : 17/11/2021 al 29/11/2021
Fecha de Emisión : 29/11/2021

I. Resultados

Código de Laboratorio	218174-01	218174-02	218174-03
Código del Cliente	AR-01	AR-02	AR-03
Fecha de Muestreo	17/11/2021	17/11/2021	17/11/2021
Hora de Muestreo (h)	15:40	15:48	16:00
Ubicación Geográfica (WGS 84)	NO APLICA	NO APLICA	NO APLICA
Tipo de Producto	Agua Residual	Agua Residual	Agua Residual
Tipo de Ensayo	Unidad	L.C.M.	Resultados
Fecal Coliform (44.5±0.2°C)	NMP/100mL	1,8	1,6E+09
			4,7E+07
			1,4E+09

Legenda: L.C.M. = Límite de cuantificación del método, L.D.M. = Límite de detección del método, "c" = Menor que el L.C.M. o L.D.M. indicado, "1/2" = Resolución cuantificable, "1/2" = Límite de Detección de Métodos, "-" = No analizado

II. Métodos y Referencias

Tipo de Ensayo	Norma Referencia	Título
Fecal Coliform (44.5±0.2°C)	SMEWW 9221E/9221C 23rd Ed. 2017	Thermotolerant (Fecal) Coliform Procedure

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

III. Observaciones

Los resultados se aplican a la muestra como se recibió

IV. Procedimiento de Muestreo

- PM-OPE-01 Requisitos generales de muestreo
- PM-OPE-02 Transporte, almacenamiento y mantenimiento de equipos
- PM-OPE-04 Muestreo de Aguas
- PM-OPE-11 Aseguramiento y Control de Calidad en el Muestreo

Blga. Sissy Alvarez M.
Jefa de Laboratorio Biológico
C.B.P. N° 9928

Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada, según la cadena de custodia correspondiente. Estos resultados no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas del producto. El tiempo de validez de la muestra es de un mes calendario desde el ingreso de la muestra al laboratorio. El tiempo de custodia del informe de ensayo, tanto en digital como en físico es de 6 meses. El tiempo de preservación de la muestra está en función a lo declarado en los métodos normalizados de ensayo y rige desde la toma de muestra. Está prohibido la reproducción parcial del presente documento, salvo autorización de Envirotest S.A.C. Los resultados se relacionan solamente con los ítems de ensayo, bajo las condiciones de los muestreos como se realizaron. Para verificar la autenticidad del presente informe de ensayo solicitar información al correo: info@envirotest.com.pe

FIN DEL INFORME

Calle B. Mz C lote 40 Urb. Panamericana - Lima 31 - Perú, Central Telefónica (511) 522-3758 / 523-1828 980-525856
info@envirotest.com.pe / www.envirotest.com.pe

Código: F01-RG-EM-01, Rev. 11, Fecha: 21/09/2020

Página 1 de 1

Nota: Resultados de laboratorio de Environmental Testing Laboratory S.A.C.