



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS
UNITARIOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS
RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI – CARABAYA, 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. ALEXANDER PAUCAR COLLANQUE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2023



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS
PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA D
E TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALE
S DEL DISTRITO DE AJOYANI-CARABAY
A, 2022.**

AUTOR

ALEXANDER PAUCAR COLLANQUE

RECUESTO DE PALABRAS

31100 Words

RECUESTO DE CARACTERES

166210 Characters

RECUESTO DE PÁGINAS

155 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.1MB

FECHA DE ENTREGA

Dec 5, 2023 6:35 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Dec 5, 2023 6:39 PM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base c

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossr

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)



Ing. Guillermo Néstor Fernández Sila
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 200555



Ing. Emilio Castillo Aroni
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 920514

Resumen



DEDICATORIA

Dedico mi trabajo de investigación a Dios por ser mi fortaleza inquebrantable a lo largo de mi vida.

A mi madre Marta y mi padre Claudio, por darme la vida y permitirme entre tantas batallas, luchar por mis sueños.

A mis hermanas Gabriela, Ruth y Luz Milagros por estar siempre conmigo.

Dedicado a los Ingenieros Civiles de todo el país, que son el motor para salir de las crisis económicas y sociales que sufre nuestro Perú.

Alexander Paucar Collanque



AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura por darme la oportunidad de cumplir y lograr mi formación profesional.

A mi honorable jurado, por ser grandes maestros en la formación ingenieril.

A mi director de tesis, por guiarme con paciencia en este largo proceso y brindarme sus conocimientos durante mi formación profesional.

A las autoridades de la JASS de Ajoyani por permitirme llevar a cabo la presente investigación, mostrando su interés en el desarrollo de estudios y conocimientos de los estudiantes universitarios.

A mi familia que fueron mi soporte durante los momentos difíciles. En especial a mi madre Marta por siempre apoyarme y confiar en mí.

A Dios por llegar a este momento de mi vida.

Alexander Paucar Collanque



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE TABLAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	19
1.2.1. Problema general:.....	19
1.2.2. Problemas específicos:	20
1.3. JUSTIFICACIÓN:	20
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:.....	21
1.4.1. Objetivo general:	21
1.4.2. Objetivos específicos:	21
CAPÍTULO II	
REVISIÓN DE LITERATURA	
2.1. ANTECEDENTES	23
2.1.1 Internacional.....	23
2.1.2 Nacional	26



2.1.3	Local.....	36
2.2.	MARCO NORMATIVO.....	38
2.2.1.	Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos.....	38
2.2.2.	Ley N° 28611 Ley General del Ambiente.....	38
2.2.3.	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	39
2.2.4.	Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	40
2.3.	BASES TEÓRICAS	41
2.3.1	Definición de aguas residuales:.....	41
2.3.2	Planta de tratamiento de aguas residuales	59
CAPÍTULO III		
MATERIALES Y MÉTODOS		
3.1.	ASPECTOS GENERALES	66
3.1.1	Ubicación del área de estudio	66
3.1.2	Límites de la localidad de estudio	67
3.1.3	Esquema de la PTAR existente	67
3.1.4	Descripción de los procesos unitarios de la PTAR de Ajoyani	67
3.2	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	75
3.2.1	Tipo y nivel de estudio:.....	75
3.2.2	Diseño de investigación:	75
3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA	76
3.3.1	Población y muestra	76
3.4	DIAGRAMA DE FLUJO	76
3.5	MATERIALES Y EQUIPOS	77
3.5.1	Materiales	77
3.5.2	Equipos.....	78



3.5.3	Indumentarias de protección	78
3.6	PROCEDIMIENTO	79
3.6.1	Planificación y recopilación	79
3.6.2	Metodología para la medición de caudales y muestreo de aguas.....	79
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1.	RESULTADOS DE LOS MUESTREOS	81
4.1.1	Medición de caudales	84
4.2.	EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES	85
4.2.1.	Eficiencia.....	85
4.2.2.	Evaluación de la eficiencia de la PTAR - afluente y efluente.....	86
4.2.3.	Evaluación de la eficiencia de la remoción de contaminantes en el pretratamiento – cámara de rejillas.....	87
4.2.4.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en el desgrasador.....	91
4.2.5.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en el sedimentador primario	95
4.2.6.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en los filtros verticales.....	99
4.2.7.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de contaminantes en el reactor biológico.....	103
4.2.8.	Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en la nave de macrofitas	107
4.2.9.	Resultados de los muestreos según parámetro evaluado.....	111
4.3.	COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	116



4.4. COMPARACIÓN CON LOS ECA PARA RIEGO.....	117
4.5. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA PTAR.....	118
4.5.1. Situación del servicio	118
4.5.2. Situación de la infraestructura.....	119
4.5.3. Situación de la operación y mantenimiento	130
4.6. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA	131
4.6.1. Pretratamiento	131
4.6.2. Tratamiento primario	131
4.6.3. Tratamiento secundario	133
4.6.4. Tratamiento terciario	133
4.6.5. Tren de tratamiento	133
4.6.6. Presupuesto de la propuesta	134
4.7. DISCUSIÓN.....	137
V. CONCLUSIONES	145
VI. RECOMENDACIONES.....	147
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	148
ANEXOS.....	151

Tema : Tratamiento de aguas residuales.

Área : Hidráulica y medio ambiente.

Línea de investigación: Hidráulica y medio ambiente.

Fecha de sustentación: 13 de diciembre de 2023



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1	Microlocalización de la planta de tratamiento de aguas residuales 66
Figura 2	Esquema de los procesos unitarios de la PTAR existente. 67
Figura 3	Visita a campo realizado por el tesista en la PTAR..... 68
Figura 4	Vista del pretratamiento. 69
Figura 5	Vista de la cámara de rejas..... 70
Figura 6	Vista del sedimentador secundario 71
Figura 7	Vista del digestor de lodos..... 72
Figura 8	Toma de muestra de agua de la nave de macrofitas..... 73
Figura 9	Vista del lecho de secados 74
Figura 10	Laboratorio de la facultad de ingeniería química de la Universidad Nacional del Altiplano..... 75
Figura 11	Diagrama de flujo de la presente investigación 77
Figura 12	Esquema de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales y las muestras realizadas. 82
Figura 13	Vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales indicando los puntos de muestreo para su respectiva caracterización..... 83
Figura 14	Evaluación del parámetro pH en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR 87
Figura 15	Evaluación del parámetro aceites y grasas en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR 88
Figura 16	Evaluación del parámetro sólidos totales en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR 88
Figura 17	Evaluación del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR..... 88
Figura 18	Evaluación del parámetro DQO en la cámara de rejas 89
Figura 19	Evaluación del parámetro coliformes totales en la cámara de rejas 90
Figura 20	Evaluación del parámetro pH en el proceso unitario del desgrasador 91
Figura 21	Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario del desgrasador 91
Figura 22	Evaluación de sólidos totales en el proceso unitario del desgrasador 92
Figura 23	Evaluación de DBO en el proceso unitario del desgrasador 93



Figura 24	Evaluación de DQO en el proceso unitario del desgrasador de la PTAR....	93
Figura 25	Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario del desgrasador	94
Figura 26	Evaluación del parámetro pH en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario	95
Figura 27	Evaluación de aceites y grasas en el sedimentador primario	96
Figura 28	Evaluación de los sólidos totales en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario	96
Figura 29	Evaluación del DBO en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario de la PTAR	97
Figura 30	Evaluación del DQO en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario de la PTAR	97
Figura 31	Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario	97
Figura 32	Evaluación del pH en el proceso unitario de los filtros verticales	99
Figura 33	Evaluación de aceites y grasas en los filtros verticales.....	100
Figura 34	Evaluación de los sólidos totales en los filtros verticales	100
Figura 35	Evaluación del DBO en el proceso unitario de los filtros verticales	101
Figura 36	Evaluación del DQO en el proceso unitario de los filtros verticales	101
Figura 37	Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario de los filtros verticales	102
Figura 38	Evaluación del pH en el proceso unitario del reactor biológico	103
Figura 39	Evaluación de aceites y grasas en el reactor biológico	104
Figura 40	Evaluación de los sólidos totales en el reactor biológico	104
Figura 41	Evaluación del DBO en el proceso unitario del reactor biológico.....	105
Figura 42	Evaluación del DQO en el proceso unitario del reactor biológico	105
Figura 43	Evaluación de los coliformes totales en el reactor biológico.....	106
Figura 44	Evaluación del pH en el proceso unitario de nave de macrofitas	107
Figura 45	Evaluación de aceites y grasas en la nave de macrofitas	108
Figura 46	Evaluación de los sólidos totales en la nave de macrofitas	108
Figura 47	Evaluación del DBO en el proceso unitario de nave de macrofitas.....	109
Figura 48	Evaluación del DQO en el proceso unitario de nave de macrofitas	109
Figura 49	Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario de nave de macrofitas.....	110



Figura 50	Variación del pH a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.	111
Figura 51	Variación del parámetro de aceites y grasas a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.	112
Figura 52	Variación del parámetro de aceites y grasas a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.	113
Figura 53	Variación del DBO a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.	114
Figura 54	Variación del DQO a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.	115
Figura 55	Cobertura del servicio de disposición de excretas.	118
Figura 56	Lagunas de oxidación, infraestructura previa a la PTAR actual, no se encuentra en funcionamiento.	120
Figura 57	Fisura y filtración en sedimentador primario y filtros verticales.	121
Figura 58	Ensayo de esclerometría en los sedimentadores.	123
Figura 59	Fisura en los filtros verticales.	123
Figura 60	Ausencia de plantas de tallo largo en las naves de macrofitas	124
Figura 61	Huellas de nivel de agua en lecho de secados – vista exterior, según entrevista con el trabajador.....	126
Figura 62	Huellas de nivel de agua en lecho de secados – vista interior	126
Figura 63	Huellas de nivel de agua en lecho de secados.....	127
Figura 64	Zanjas rellenadas con lodos manualmente.....	127
Figura 65	Falta de operación y mantenimiento en las conexiones de la PTAR.....	128
Figura 66	Huellas del nivel freático elevado afectando las válvulas.	129
Figura 67	Vista del estado de las válvulas y sus cajas protectoras.....	129
Figura 68	Caseta de guardianía – operaciones sin los servicios básicos.....	130
Figura 69	Plano en planta de la PTAR propuesta por el tesista.	134



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1	Parámetros establecidos como límites máximos permisibles. 39
Tabla 2	Parámetros de las aguas residuales y sus orígenes..... 43
Tabla 3	Efectos indeseables de la polución de las aguas según el contaminante. 45
Tabla 4	Efectos producidos por las diferentes categorías de contaminación en las AR. 46
Tabla 5	Eficiencia promedio de la planta de tratamiento de aguas residuales..... 86
Tabla 6	Resultados de la caracterización para el proceso unitario del pretratamiento 87
Tabla 7	Resultados de la caracterización para el desgrasador de la PTAR. 91
Tabla 8	Resultados de la caracterización del sedimentador primario y secundario.. 95
Tabla 9	Resultados de la caracterización de los filtros verticales. 99
Tabla 10	Resultados de la caracterización para el reactor biológico. 103
Tabla 11	Resultados de la caracterización para la nave de macrofitas 107
Tabla 12	Comparación del efluente con los LMP..... 116
Tabla 13	Comparación del efluente con los ECA..... 117
Tabla 14	Datos censales de la población del distrito de Ajoyani..... 119
Tabla 15	Antigüedad, estado de conservación, operatividad y estado de la PTAR.. 120
Tabla 16	Número de rebotes en los sedimentadores..... 122
Tabla 17	Esquema de los procesos unitarios de la PTAR existente. 122
Tabla 18	Número de rebotes en la nave de macrofitas. 125
Tabla 19	Esquema de los procesos unitarios de la PTAR existente. 125
Tabla 20	Rangos de aplicación para sistemas de tratamiento de aguas residuales. .. 132



ACRÓNIMOS

AR:	Agua residual
ARD:	Agua residual doméstica
AS:	Aguas servidas
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
JASS:	Junta Administradora de Servicios de Saneamiento
MVCS:	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento
pH:	Potencial de Hidrógeno
PTAR:	Planta de tratamiento de agua residual
SUNASS:	Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente



RESUMEN

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes en los procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del Distrito de Ajoyani. Se adopta un enfoque cuantitativo con un propósito aplicado y un nivel descriptivo transversal. La metodología incluyó la toma de muestras en cada proceso unitario de la PTAR tanto en el afluente como en el efluente, evaluando los parámetros especificados en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: aceites y grasas, coliformes totales, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), potencial de hidrógeno (pH) y sólidos totales. Los resultados indican que los procesos unitarios de la PTAR del distrito de Ajoyani presentan una eficiencia del 55.63% en sólidos totales, 49.21% en DBO, 56.88% en DQO, 11.23% en aceites y grasas y -110.53% en coliformes totales. Se concluyó que los procesos del pretratamiento, filtros verticales y la nave de macrófagos poseen mayor eficiencia para la remoción de sólidos totales, por otro lado, el reactor biológico posee mayor eficiencia en cuanto a DBO y DQO, mientras que el sedimentador mostró la menor eficiencia en la PTAR; el pH y conductividad eléctrica cumple con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA 3) y los Límites Máximos Permisibles (LMP). En base a estos hallazgos, se plantea una propuesta de mejora que cumple con las normativas de vertimiento para la PTAR del Distrito de Ajoyani.

Palabras clave: Aguas residuales, Evaluación, Eficiencia, Planta de tratamiento de aguas residuales.



ABSTRACT

This research aims to evaluate the efficiency of contaminant removal in the unit processes of the Wastewater Treatment Plant (WWTP) of the Ajoyani District. A quantitative approach is adopted with an applied purpose and a transversal descriptive level. The methodology included taking samples in each unit process of the WWTP in both the influent and the effluent, evaluating the parameters specified in Supreme Decree No. 003-2010-MINAM: oils and fats, total coliforms, biochemical oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD), hydrogen potential (pH) and total solids. The results indicate that the unit processes of the WWTP of the Ajoyani district present an efficiency of 55.63% in total solids, 49.21% in BOD, 56.88% in COD, 11.23% in oils and fats and -110.53% in total coliforms. It was concluded that the pretreatment processes, vertical filters and the macrophyte warehouse have greater efficiency for the removal of total solids, on the other hand, the biological reactor has greater efficiency in terms of BOD and COD, while the settler showed the lowest efficiency. at the WWTP; The pH and electrical conductivity comply with the Environmental Quality Standards (ECA 3) and the Maximum Permissible Limits (LMP). Based on these findings, an improvement proposal is proposed that complies with the discharge regulations for the WWTP of the Ajoyani District.

Keywords: Sewage water, Evaluation, Efficiency, WWTP.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El propósito del tratamiento de aguas residuales es asegurar la disposición adecuada y satisfactoria de los desagües domésticos, lo cual requiere una depuración previa antes de su vertido para prevenir la contaminación del cuerpo receptor y cumplir con las disposiciones legales y normativas correspondientes. Esta investigación se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la eficiencia en la remoción de contaminantes en los diferentes procesos unitarios de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del distrito de Ajoyani, esto permitió identificar los componentes del sistema de tratamiento, caracterizar las aguas residuales tanto en la entrada como en la salida de cada proceso unitario, y posteriormente analizar y evaluar estos datos para plantear una propuesta de mejora.

Con el fin de facilitar la comprensión, la tesis se estructura en siete capítulos:

Capítulo I: Introducción, se presenta los aspectos generales de la investigación, como el planteamiento y la formulación del problema, la justificación y los objetivos.

Capítulo II: Revisión de la literatura, se incluye los antecedentes relacionados con la investigación, el marco normativo y la base teórica, donde se describen los conceptos generales que fundamentan el estudio.

Capítulo III: Materiales y métodos, se detallan las características de los materiales utilizados y se describe el procedimiento empleado para obtener los resultados de la investigación.



Capítulo IV: Resultados y discusión, se exponen los resultados obtenidos de las pruebas realizadas tanto in situ como en laboratorio, junto con su interpretación en contraste con la teoría.

Capítulo V: Conclusiones, se presentan las conclusiones alcanzadas en función de los objetivos planteados.

Capítulo VI: Recomendaciones, se proponen medidas para mantener las conclusiones establecidas y se sugieren posibilidades de mejora para futuras investigaciones.

Capítulo VII: Revisión bibliográfica, se detalla la lista de investigaciones, textos y artículos consultados durante el desarrollo de la tesis.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El tratamiento de aguas residuales tiene como finalidad salvaguardar la salud pública y preservar el medio ambiente, en este sentido, los procesos unitarios de una PTAR representan infraestructuras necesarias que permiten depurar los desagües domésticos mediante procesos físicos y químicos, se clasifican en tratamiento preliminar, primario, secundario y terciario. La evaluación de la eficiencia en la remoción de contaminantes de estos procesos es fundamental para verificar si la PTAR cumple con las normativas de vertimiento establecidas.

Para la OMS & UNICEF (2020), la ausencia de sistemas adecuados de saneamiento conlleva efectos perjudiciales, enfermedades tropicales, diarrea, trastornos transmitidos por vectores, anemia y abortos, estos problemas de salud pública resultaron en 1.9 millones de muertes a nivel mundial en el año 2016. También señalan que la falta de adecuados sistemas de saneamiento ocasiona la contaminación del agua provocando



aproximadamente 830,000 muertes por año, generando la necesidad de atención médica para el tratamiento de enfermedades, además, estas carencias han resultado en pérdidas económicas, por ejemplo, para el año 2012 la Organización Mundial de la Salud (2012) calculó que los costos de no invertir en agua y saneamiento en 135 países de bajo y mediano ingreso, incluido el Perú, trajo consigo pérdidas económicas equivalentes entre el 0.5% y el 3.2% del PBI de los países estudiados.

Según el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026 del MVCS, la cobertura de población que cuenta con algún sistema de tratamiento de aguas residuales para el año 2020 alcanzó el 70.40% a nivel nacional, el 29.60% restante se localizaba mayormente en distritos alejados y áreas rurales, poniendo en riesgo la salud de las poblaciones locales. Al respecto, la SUNASS (2020), señala que uno de los mayores desafíos de las PTAR son los requisitos normativos sobre la calidad de los efluentes, dificultando su control debido a la falta de estudios de calidad de las fuentes hídricas a nivel nacional, como evidencia la ausencia de antecedentes de estudios en la zona del río Achasiri.

En el ámbito local, un estudio realizado por Díaz et al. (2020) sobre la operación y mantenimiento de 16 sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas alrededor del lago Titicaca reveló que el 56.25% de estas plantas no habían recibido mantenimiento y el 43.75% restante había recibido un mantenimiento insuficiente en los últimos cinco años, por lo cual no operan al 100%, provocado en su mayoría por el factor económico, ante ello concluyen que la falta de recursos económicos destinados al mantenimiento de estas PTAR ha llevado a un funcionamiento deficiente, lo que podría incumplir con la normativa ambiental, específicamente la Ley de Recursos Hídricos N° 29338, que prohíbe el vertido de aguas residuales sin tratamiento adecuado.



En el año 2010, comenzó a funcionar la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, con la finalidad de mejorar el nivel de vida del poblador y evitar contaminación ambiental, sin embargo, la Autoridad Local del Agua notifica la Resolución Directoral Nro. 873-2016-ANA-AAA.TTT a la municipalidad distrital de Ajoyani, sancionando con una multa de 10.1 UIT por el vertimiento inadecuado de las aguas residuales al cuerpo receptor, a la fecha el efluente tratado de la planta es usado para riego de pastizales, es por ello que se necesita la evaluación de la eficiencia de la PTAR, puesto que el vertimiento de desagües domésticos sin el tratamiento adecuado ocasionará que en zonas ubicadas cerca al distrito de Ajoyani se utilicen aguas contaminadas para el riego lo que produciría la ingesta de alimentos contaminados provocando problemas de salud.

La planta de tratamiento de aguas residuales cuenta con cámara de rejillas, trampa de grasas, sedimentadores, reactor biológico y nave de macrofitas, de los cuales no existen investigaciones relacionadas al tren de tratamiento, también se desconoce la eficiencia de remoción de contaminantes por cada proceso unitario, si ello continúa, se seguirá construyendo plantas de este tipo sin conocer la eficiencia para las características propias del distrito de Ajoyani, es por ello que se necesita realizar la evaluación de la eficiencia de remoción de contaminantes de cada proceso unitario.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes de los procesos unitarios en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, Provincia de Carabaya?



1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes del pretratamiento?
- ¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes del sedimentador primario y secundario?
- ¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes del filtro vertical?
- ¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes del reactor biológico?
- ¿Cuál es la eficiencia en la remoción de contaminantes de la nave de macrófagos?
- ¿Cuál es el estado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani?

1.3. JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se realizó porque la actual PTAR presenta deficiencias en su funcionamiento, que se manifiesta en el inadecuado tratamiento de los desagües domésticos, lo cual representa un riesgo para la salud de la población del distrito de Ajoyani y para los ecosistemas adyacentes.

El conocimiento de la eficiencia en el tratamiento de aguas residuales proporciona la base para proponer mejoras en los procesos, lo que conlleva a una operación más efectiva de la planta. Los resultados obtenidos son fundamentales para determinar si la PTAR cumple con la normativa relacionada al vertimiento de aguas residuales, además, estos resultados sirven como punto de partida esencial para futuras investigaciones de naturaleza similar, dado que en la región de Puno no existen estudios previos acerca del funcionamiento del tren de tratamiento de la PTAR, considerando las condiciones en las



que se encuentra la zona de estudio. Este conocimiento evitará la construcción de Plantas de características similares sin conocer la eficiencia de remoción de contaminantes

En el área social, la investigación sirve para informar a la población del distrito de Ajoyani sobre la calidad del efluente de la planta de tratamiento y así fomentar la participación comunitaria en la gestión del agua residual.

En el área ambiental, el tratamiento inadecuado de las aguas residuales puede afectar los cuerpos receptores y los ecosistemas circundantes, por eso identificar la eficiencia permitirá tomar acciones para minimizar impactos, proteger el medio ambiente y conservar la biodiversidad, finalmente el estudio permite la concientización de los efectos nocivos que producen al medio ambiente el inadecuado tratamiento de aguas, permite a la sociedad abogar por prácticas más sostenibles del agua y contribuir a la planificación a largo plazo de infraestructuras de tratamientos que se encuentren en condiciones similares al distrito de Ajoyani.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN:

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los procesos unitarios en la remoción de contaminantes de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, Carabaya.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar la eficiencia en la remoción de contaminantes del pretratamiento.
- Identificar la eficiencia en la remoción de contaminantes del sedimentador primario y secundario.
- Identificar la eficiencia en la remoción de contaminantes del filtro vertical.



- Identificar la eficiencia en la remoción de contaminantes del reactor biológico.
- Identificar la remoción de contaminantes de la nave de macrofitas.
- Comparar los parámetros del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales que cumplen con los LMP y los estándares de calidad ambiental para riego.
- Describir el estado de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani.
- Plantear una propuesta de mejora que cumpla con la normativa de vertimiento para la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Internacional

Gallardo & Jiménez (2023) realizaron su investigación con el objetivo de diseñar el sistema de alcantarillado sanitario y la planta de tratamiento de aguas residuales en el barrio Bellavista del cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi en Ecuador; para tal fin usan una metodología de enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo, según el tiempo de investigación es transversal con un diseño no experimental; del desarrollo de la tesis obtienen como resultados que el agua puede ser tratada mediante procesos biológicos por la relación de 0.765 entre la DBO (248 mg/l) y la DQO (324 mg/l), también halló el caudal de diseño de la PTAR, y en función a ello recalculó los procesos unitarios del canal de entrada, cribado, desarenador, tanque Imhoff, sedimentador, digestor y lecho de secado. Finalmente concluye en el planteamiento de un nuevo modelo de tren de tratamiento óptimo iniciando por un cribado de separación de 2 y 5 mm para un posterior desarenador del cual parte la línea de lodos llegando hacia el lecho de secados, el caudal continúa transportándose hacia el siguiente componente (tanque Imhoff y filtro anaerobio de flujo ascendente).

Izurieta (2020) en su trabajo de tesis tiene como finalidad evaluar la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, cantón Patate, provincia de Tungurahua, Ecuador, también realizar el levantamiento de información de la planta para posteriormente realizar el análisis del agua del influente y efluente. La



metodología presenta un enfoque cuantitativo, según su finalidad es investigación aplicada con un nivel descriptivo y según el tiempo de estudio es una investigación transversal. Así Izurieta obtiene como resultado que los porcentajes de remoción de la PTAR para DBO es (27%), DQO (43%), sólidos suspendidos (12%), fósforo total (17%), nitrógeno total (85%); así también de la comparación con los parámetros permitidos para descargas de aguas residual tratada el fósforo total, sólidos suspendidos, nitrógeno total, nitrógeno amoniacal cumplen con la TULSMA, sin embargo, los parámetros DQO y DBO no cumplen con la normativa de vertimiento. Finalmente concluye que la calidad de agua residual que ingresa a la planta de tratamiento contiene elevadas concentraciones de DBO y DQO, además el agua residual tratada tiene una remoción de alrededor de 27% y 43% respectivamente, lo que indica que el agua tratada sale con concentraciones que no cumplen con la normativa del TULSMA 2015 para descargas en cuerpos de agua dulce. También concluye del análisis de la PTAR, esta no cumple con los parámetros y recomendaciones establecidas en los manuales de diseño y que es necesario la intervención civil en sus estructuras hidráulicas para su funcionamiento eficiente.

Urbina (2018) en su investigación evaluó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la universidad de las fuerzas armadas en Ecuador, como también monitorear acerca de los parámetros fisicoquímicos y biológicos para determinar la capacidad de remoción de materia orgánica de la PTAR. El investigador presenta una metodología con un enfoque mixto cualitativo y cuantitativo, su finalidad es investigación aplicada con un nivel descriptivo y según el tiempo de estudio es una investigación transversal. En su tesis obtiene como resultados que los porcentajes de remoción de la PTAR para



sulfatos es (95.96%), nitratos (21.71%), fosfatos (97.94%), coliformes totales (99.93%), DQO (93.13%) y DBO (88.89%); los cuales se consideran dentro de lo esperado para este tipo de sistemas de tratamiento, también como resultado obtiene el índice de biodegradabilidad calculado de 1.55. Finalmente concluye que todos los parámetros, excepto el valor de coliformes totales, se encuentran bajo los límites máximos permitidos por la normativa local vigente - Acuerdo Ministerial 061, haciendo factible su vertimiento al Río Santa Clara, así también que por el cálculo de biodegradabilidad se puede considerar sistemas biológicos como fangos activos o lechos bacterianos para su tratamiento.

Espitia (2017) planteó mejoras en los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) del municipio de Buenavista Boyacá en Colombia, teniendo como objetivo realizar un diagnóstico que permita identificar cual es el actual funcionamiento de los componentes de la planta de tratamiento verificando si el vertimiento cumple con la normativa colombiana. El investigador presenta una metodología con un enfoque cuantitativo, según su finalidad es investigación aplicada con un nivel descriptivo y según el tiempo de estudio es una investigación transversal. En su tesis tiene como resultados la caracterización del afluente y efluente de la planta obteniendo valores de DBO (312.2 mg/l con un valor límite de 90 mg/l), DQO (460.8 mg/l con un valor límite de 180 mg/l) y sólidos suspendidos (750 mg/l con un valor límite de 90 mg/l) los cuales no cumplen los límites exigidos por la resolución 631 de 2015. Finalmente concluye que la PTAR incumple con los parámetros establecidos para realizar vertimientos en la fuente receptora, según el investigador la baja eficiencia se presenta por fallas en equipos, bajos tiempos de aireación, poco mantenimiento a las estructuras y bajo conocimiento del operador, puesto que ninguna de las unidades



del sistema de lodos activados cumple con la reglamentación RAS 2000.

Vargas (2016) en su tesis plantea como objetivo generar un diagnóstico del funcionamiento de la PTAR de la Inspección de Pueblo Nuevo del Municipio de Nilo Cundinamarca en Colombia, también recolectar y analizar información existente, realizar los procedimientos y estudios necesarios donde se identifique falencias para generar una comparación de resultados de las estructuras actuales con las estructuras proyectadas. El investigador presenta una metodología con un enfoque cuantitativo, según el tiempo de estudio es transversal con un diseño experimental por el análisis de información y trabajo de campo; en su tesis obtuvo como resultados la comparación para los siguientes procesos unitarios, la rejilla o cámara de rejas posee un diseño el cual contempla dimensiones para su periodo de diseño según los cálculos del investigador, sin embargo la trampa de grasas, el reactor UASB o RAFA y el filtro anaerobio de flujo ascensional no cumplen con las dimensiones para su periodo de diseño según los cálculos. Finalmente concluye que la planta de tratamiento cuenta con estructuras hidráulicas que a la fecha de la investigación cumplen con un funcionamiento adecuado, pero que para el año 2041, se deben realizar ajustes para su correcto desempeño, también concluye que a pesar de la falta de mantenimiento de la planta esta funciona en óptimas condiciones y que cumple con su objetivo principal.

2.1.2. Nacional

Socorro (2023) en su trabajo de investigación tiene por objetivo principal evaluar los impactos ambientales de la planta de tratamiento de aguas residuales Catacaos en Piura, también realizar el diagnóstico; para tal fin la tesista presenta una metodología de enfoque mixto, cualitativo a través de la observación y cuantitativo realizando un análisis matemático, con un nivel descriptivo, diseño



no experimental y por el tiempo de investigación fue transversal; del desarrollo de la tesis obtiene los siguientes resultados: El sistema de tratamiento lo conforman cuatro (4) lagunas de forma irregular, las cuales son primarias y una (1) laguna secundaria de menor dimensión, el área que ocupa todo el sistema de tratamiento es de 3.8 hectáreas, cada laguna cuenta con 01 ingreso y 02 estructuras de salida, acerca de la evaluación los parámetros se tiene que la DBO (112.3 mg/l) no cumple con los LMP (100 mg/l), DQO (250 mg/l) no cumple con los LMP (200 mg/l), los SST (34 mg/l) cumple con los LMP (150 mg/l). Finalmente la investigadora concluye que la planta de tratamiento de aguas residuales Catacaos está funcionando dentro de su periodo de diseño, asimismo, la eficiencia de los tratamientos es parcial en ciertos parámetros, finalmente de la evaluación in situ concluye que la PTAR tiene infraestructura en mal estado.

Villar (2023) en su tesis evaluó la planta de tratamiento de aguas residuales N° 02 de la Ciudad de Cajabamba en la región de Cajamarca, a nivel de descontaminación en todos sus componentes y realizar la descripción de todas las estructuras presentes; para tal fin el investigador usa una metodología con un enfoque cuantitativo, de nivel descriptivo, por el diseño se trata de una investigación no experimental de corte transversal, tipo aplicada; del desarrollo de su investigación obtiene los siguientes resultados: Se detectó los componentes de la planta que son pretratamiento (cribado y desarenador), tanques Imhoff, filtros percoladores y sedimentadores secundarios, de las inspecciones in situ se detectó grietas en las paredes del pretratamiento, fisuras en la cámara de repartición de caudal, deterioro de la pintura en la parte lateral del tanque Imhoff y agrietamiento en el filtro percolador N° 01 y 02, del monitoreo los parámetros de DBO (118 mg/l), DQO (245 mg/l) y coliformes termotolerantes (4000000



NMP/100 ml) no cumplen con los límites máximos permisibles. Finalmente concluye que la planta de tratamiento de aguas residuales mediante tanques Imhoff es eficiente en la remoción de DQO, sin embargo los filtros percoladores no son eficientes en la remoción de sólidos suspendidos totales y en materia orgánica, también concluye que a nivel visual se evidencia patologías en la infraestructura de la PTAR.

Alfaro & Nina (2022) proponen como objetivo en su investigación el realizar el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina Llaspay en Cusco, también hallar la caracterización de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos de las aguas residuales vertidas; para el cumplimiento del objetivo los investigadores usan una metodología de enfoque cuantitativo, según su finalidad es una investigación aplicada, nivel descriptivo, con un diseño no experimental y según el tiempo de estudio es transaccional; del desarrollo tienen los siguientes resultados: DBO con 229.33 mg/l, DQO con un valor de 405.63 mg/l, potencial de hidrógeno pH con un valor de 7.85, sólidos totales en suspensión con un valor de 458.33 mg/l, aceites y grasas con un valor de 38 mg/l, coliformes totales con un valor de 14E05 NMP/100 ml, así también identificaron que el diseño de la PTAR se basa en tratamiento preliminar, cámara de rejillas y desarenador, tanque Imhoff y lecho de secado. Finalmente concluyen que las aguas residuales vertidas por la población de la C.C. Llaspay presentan en los parámetros estudiados valores que en su mayoría sobrepasan los límites máximos permisibles, acerca del diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales se concluye que la PTAR está ceñido a la Norma OS 090.



Cayllahua (2022) realizó la evaluación de la PTAR de la ciudad de Sicuani y su impacto en la calidad del agua en el río Vilcanota en la provincia de Canchis, región Cusco, cuyo objetivo era cumplir con las exigencias necesarias establecidas en la Norma Técnica OS.090 del RNE, para tal fin el tesista utiliza una metodología con un enfoque cuantitativo, por la finalidad del estudio fue aplicada, según el tiempo de investigación es transversal con un diseño no experimental; en su tesis obtiene los siguientes resultados: De la evaluación del porcentaje de remoción en la PTAR de la ciudad de Sicuani desde el ingreso hasta el vertimiento del agua residual tratado, se determinó una eficiencia de remoción que varía entre un máximo 90.49% a un mínimo 98.53% en la remoción del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno, de un 86.47% a 96.91% para el parámetro de demanda química de oxígeno, un 83.17% a 98.22% para aceites y grasas, un 73.80% a 88.75% para el parámetro de sólidos totales en suspensión y un 99.99% a 100% para los coliformes termotolerantes. Finalmente concluye que la PTAR Sicuani cumple con las etapas básicas establecidas en la Norma Técnica OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, excepto con la distancia mínima (entre planta y centro poblado), el cual se considera 500 m como mínimo para tratamiento anaerobio y el tiempo de retención de aguas en las lagunas anaerobias; así también, acerca de la eficiencia del tratamiento, la investigadora concluye que la infraestructura cuenta con una capacidad de remoción muy alta y cumple con los límites máximos permisibles solicitados en el DS N° 003-2010-MINAM para efluentes de plantas de tratamiento.

Aristi & Calderón (2021) realizaron su investigación siendo su objetivo evaluar la eficiencia del pretratamiento en la PTAR de una industria láctea de Los Baños del Inca - Cajamarca, así como determinar los valores después del



pretratamiento para los parámetros de pH, temperatura, conductividad y turbiedad y compararlos con los valores obtenidos con la normativa vigente, para tal fin el investigador utilizó una metodología con una investigación cuasi - experimental, por la finalidad de la tesis fue aplicada, según el tiempo de estudio es longitudinal con un diseño no experimental; de la investigación tiene como resultados los valores de los parámetros pH, temperatura y conductividad de la PTAR, en los días 01,11,12,21 y 22 de junio, 01,11,21,21 y 23 de julio y los días 01, 03, 05 y 28 poseen un comportamiento irregular por debajo y sobre los rangos establecidos en la normativa vigente DS 004-2017-MINAM ECA categoría 3. Finalmente concluye que los parámetros de pH, temperatura y conductividad de las muestras obtenidas cumplen con lo establecido en la normativa vigente de los estándares de calidad ambiental para agua, demostrando la eficiencia en el pretratamiento con valor de 7.9 de pH y conductividad con un valor de 1178.05.

Cueva & García (2021) evaluaron la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de una empresa minera en Cajamarca en su tesis de pregrado, así como la composición del agua residual doméstica en el ingreso y salida de la PTAR para compararlos con los límites máximos permisibles (LMP) y finalmente implementar una propuesta de reutilización para las aguas residuales domésticas, para tal fin los investigadores usan una metodología con un enfoque cuantitativo, por la finalidad fue una tesis aplicada, por el tiempo de estudio es transversal y con un diseño no experimental; del desarrollo de la tesis obtienen los siguientes resultados: Los porcentajes de remoción para aceites y grasas es (99.213%), conductividad (38.433%), demanda química de oxígeno (94.035%), demanda bioquímica de oxígeno (99.487%), detergentes (93.277%) y sólidos totales en suspensión (89.399%). Finalmente concluyen que comparando los



resultados obtenidos, promedio por cada parámetro, con el D.S. N° 003-2010-MINAM, se concluye que los parámetros evaluados no sobrepasan a los valores establecidos en los límites máximos permisibles, y que por ello se planteó implementar una propuesta de reutilización. Balvin (2020) en su tesis tiene como objetivo elaborar una propuesta para el mejoramiento en la eficiencia de la PTAR Chilpina, distrito Socabaya, provincia de Arequipa, así también evaluar la data del afluente de la planta de tratamiento, para tal fin el tesista usa una metodología con un enfoque cuantitativo, según la finalidad es aplicada, descriptivo, según el tiempo de investigación es longitudinal con un diseño no experimental; del desarrollo de su investigación obtiene los siguientes resultados: Se propone el cambio de la unidad hidráulica tanque Imhoff a RAFA (reactor anaerobio de flujo ascendente) y el rediseño de los biofiltros así como el cambio de lecho de filtración por uno de mayor carga orgánica lo cual permitirá obtener una eficiencia teórica aproximada del 95%, asimismo hace énfasis que la tecnología planteada es funcional y fácil de operar en relación a un reactor biológico (lodos activados o MBR) puesto que no requiere energía eléctrica las 24 horas al día que elevaría el costo al tratamiento. Finalmente concluye que se planteó una propuesta para la mejora del funcionamiento y la eficiencia de la PTAR Chilpina, puesto que se observó el problema surgido por la falta de mantenimiento, cambio de características a través de los años del afluente y el deterioro de las unidades, asimismo el investigador concluyó que es necesario el correcto funcionamiento en la zona porque cumple un rol importante en la actividad agrícola, puesto que pone en riesgo de abandono y desertización 187 hectáreas por la falta de agua.

Chirinos & Ubaldo (2020) se propusieron como principal objetivo de su investigación el conocer los resultados de la evaluación de la planta de tratamiento



de aguas residuales del caserío de Huaripampa en Ancash, para posterior plantear una propuesta de mejora para un óptimo funcionamiento, para ello usan una metodología con un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo, por el diseño se trata de una investigación no experimental de corte transversal, tipo aplicada, con un diseño de investigación no experimental; del desarrollo y evaluación correspondiente tienen los siguientes resultados: Las patologías evidenciadas son desconchado (8.09%), agrietamiento (13.57%), corrosión (6.6%), fisuras lineales (5.94%) y fisuras de esquina (4.23%) los cuales se identificaron al analizar la superficie. Finalmente concluye que La PTAR de Huaripampa cumple con las especificaciones de acuerdo a los parámetros de diseño en concordancia con la norma técnica peruana OS.090 del Reglamento Nacional de Edificaciones, sin embargo de la evaluación in situ se verifica el colapso de la planta a consecuencia de un mal mantenimiento preventivo por parte de la población, ello a falta de capacitación y organización.

Núñez (2019) determinó la eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cajabamba, región de Cajamarca, en la remoción de DBO, DQO, SST, aceites y grasas y coliformes termotolerantes siendo este su objetivo principal de su tesis, para ello el investigador usa una metodología con un enfoque cuantitativo, según la finalidad de la investigación fue aplicada, nivel descriptivo, según el tiempo de investigación es transversal y con un diseño no experimental; del desarrollo y evaluación tiene los siguientes resultados: Los parámetros que no cumplen los límites máximos permisibles son el DBO con un valor de 196.7 mg/l, DQO con un valor de 363.4 mg/l y coliformes termotolerantes con el valor de 80.5×10^5 NMP/100mL, y los parámetros que cumplen los LMP son los SST y aceites y grasas. Finalmente concluye que la PTAR mediante filtros



percoladores no es eficiente en remoción de materia orgánica en los parámetros de DBO y DQO los cuales tenían valores de 23.20% y 27.63% respectivamente, los cuales están muy por debajo de los aceptables para este tipo de tratamiento, así también no es eficiente en la remoción de coliformes termotolerantes con una eficiencia del 65.62%, solamente el parámetro de aceites y grasas se encuentra dentro del promedio de eficiencia para este tipo de tratamiento de aguas residuales.

Días (2018) en su tesis de pregrado plantea como objetivo proponer un estudio para lograr optimizar el funcionamiento de la planta de tratamiento San José, provincia de Chiclayo en Lambayeque, tomar medidas de solución a los problemas de contaminación que presentan las aguas residuales domésticas, provenientes de los comedores, oficinas y campamentos de los trabajadores de la Empresa Minera Pan American Silver S.A.C. Unidad Operativa Huaron, para ello el investigador usa una metodología con un enfoque mixto, cuantitativo y cualitativo, según la investigación fue aplicada, nivel correlacional, según el tiempo de investigación es longitudinal y con un diseño experimental; del desarrollo de la investigación obtiene los siguiente resultados: El parámetro de pH dio una concentración en el ingreso una media de 8.39 y 7.92 en la salida; la temperatura muestra valores por debajo del límite máximo permisible; la conductividad media de los resultados al ingreso es de 438.33 uS/cm y en la salida de 427 uS/cm; los coliformes termotolerantes al ingreso de la PTAR tiene una media de 2.41×10^4 NMP/100ml y los resultados a la salida fueron de 3.53 NMP/100ml, para el parámetro de la DBO se obtiene una media en el ingreso de 65.15 mg/l y en la salida de 3.79 mg/l, del parámetro de sólidos suspendidos totales se tiene una media en el ingreso de 21.35 mg/l y en la salida de 5.75 mg/l.



Finalmente concluye que los parámetros pH, Conductividad, Temperatura y Oxígeno Disuelto se encuentran en concentraciones por debajo Límites Máximos Permisibles establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Medina (2018) en su estudio evaluó física y operativamente la PTAR Río Seco en la Joya - Arequipa, con el objetivo de que el efluente, cumpla con los criterios de remoción de contaminantes y eficiencia de tratamiento para así finalmente rediseñar el sistema de tratamiento existente; para lograr los objetivos el tesista usa una metodología con un enfoque cuantitativo, con un nivel descriptivo, por el diseño se trata de una investigación no experimental de corte transversal, tipo aplicada, con un diseño de investigación no experimental; de la evaluación realizada en su tesis tiene los siguientes resultados: De los análisis de laboratorio se evidencia un alto grado de remoción de aceites y grasas y sólidos suspendidos, sin embargo, se observa remoción del DBO de 66.1% el cual es menor al valor mínimo de eficiencia de remoción que presenta el RNE, así también bajo porcentaje de remoción de sólidos totales y sólidos disueltos. Finalmente concluye que La PTAR Río Seco no cumple con los LMP para efluentes de PTAR para aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno, también concluye que los cultivos que son regados con el efluente representan un riesgo para la salud de los consumidores y por lo descrito, el investigador plantea el sistema de zanjas de oxidación por ser técnicamente favorable para medianas y pequeñas poblaciones.

Cedrón & Cribilleros (2017) realizaron su investigación teniendo como objetivo elaborar el diagnóstico del sistema de tratamiento de aguas residuales en los distritos de Moche y Salaverry, provincia de Trujillo, región de La Libertad y plantear un sistema que reemplace a las lagunas de estabilización existentes, así



como la reutilización del efluente; para ello los investigadores presentan una metodología con un enfoque cuantitativo, por la finalidad de investigación fue aplicada, con un nivel descriptivo, por el tiempo de investigación fue longitudinal y con un diseño no experimental; del desarrollo del diagnóstico en su tesis se obtuvieron los siguientes resultados: El tratamiento de aguas residuales de los Distritos de Moche y Salaverry son tratadas en un 54.7% de capacidad, tratadas por 3 lagunas de estabilización, las cuales se encuentran con graves problemas, como la falta de área para el sistema de tratamiento existente, el 47.3 % restante son evacuadas directamente a ríos, acequias o pozos sépticos, respecto a la infraestructura de la PTAR estas se encuentran subdimensionadas con respecto a la población, por lo que su rendimiento no supera el 50% de eficiencia con respecto a su carga de caudal, también cuenta con tecnología insuficiente, evidenciándose en la falta de tratamiento preliminar (rejas y desarenadores) y falta de medidores del afluente y efluente, acerca de los parámetros en el efluente la DBO presenta un valor de 356mg/L y los coliformes termotolerantes de 1.7E+06mg/L, incumpliendo los LMP de DBO de 100 mg/L y de coliformes termotolerantes de 1E mg/L, además el efluente mencionado es evacuado por un canal abierto hacia el mar, contaminando las zonas aledañas. Finalmente concluye que Las PTAR actualmente en funcionamiento no cuenta con la tecnología adecuada para descontaminar el afluente, asimismo su efluente incumple los LMP de DBO y coliformes termotolerantes, dichas PTAR generan mayores recursos para su operación y mantenimiento por lo que las investigadoras proponen unificar el tratamiento de las aguas residuales mediante una sola planta y seis cámaras de bombeo.



2.1.1. Local

Candia & Ventura (2023) evaluaron los factores climatológicos, mantenimiento, tipo de planta de tratamiento de aguas residuales, y su incidencia en la eficiencia y operatividad en la zona sur altiplánica de la región Puno; para alcanzar los objetivos descritos los investigadores usan una metodología con un enfoque cuantitativo, según su finalidad es investigación aplicada con un nivel descriptivo y según el tiempo de estudio es una investigación transversal; del desarrollo de su investigación tienen como resultados: Descripción de los componentes de las PTAR's investigadas: Chucuito norte (rejillas, desarenador, medidor Parshall, desengrasador, sedimentador primario, filtro de arena y grava, filtros biológicos, humedales artificiales y cámara de contacto), Capachica (cámara de rejillas, medidor Parshall, tanque Imhoff, filtros biológicos, filtro intermitente de arena y cámara de cloración), Juli (lagunas facultativas primarias y secundarias), Cabana (cámara de rejillas, repartidor de caudal, lagunas facultativas primarias, lagunas facultativas secundarias y cámara de contacto); acerca de las eficiencias de las plantas evaluadas, estas poseen alta eficiencia en aceites y grasas, coliformes termotolerantes, DBO, DQO y sólidos totales en suspensión. Finalmente concluyen acerca del factor climatológico determinaron que la temperatura tiene una incidencia directa sobre la eficiencia y operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales, con respecto a la operatividad, determinaron que ninguna PTAR cuenta con un adecuado plan de mantenimiento, carecen de personal encargado con el suficiente conocimiento referente al tema, mucho menos con asignación presupuestal para tal plan y finalmente existe un grado de contaminación a los cuerpos receptores en toda las PTAR al no cumplir con lo establecido en los ECA.



Pariccahua (2018) evaluó la operatividad de la PTAR de la ciudad de Ayaviri, siendo su objetivo principal evaluar el afluente y efluente según los parámetros físico - químicos y microbiológicos; para ello usa una metodología con un enfoque mixto cualitativo y cuantitativo, aplicada por su finalidad, nivel descriptivo, según el tiempo de investigación fue transversal y con un diseño no experimental; del desarrollo de su tesis tiene los siguientes resultados: De la etapa de evaluación los parámetros de DBO (67.58 mg/l) cumple con los LMP (100 mg/l), DQO (184.57 mg/l) cumple con los LMP (200 mg/l), los SST (132.43 mg/l) cumple con los LMP (150 mg/l) sin embargo el parámetro coliformes termotolerantes ($1.5E+06$ NMP/100 ml) no cumple con los LMP ($1.0E+04$) de vertimiento. Finalmente concluye que la PTAR de la localidad de Ayaviri vierte un efluente tratado parcialmente que cumple con la norma vigente - LMP's y ECA's, así también la planta no está funcionando en óptimas condiciones, a causa de las estructuras colapsadas y a la falta de operación y mantenimiento el cual es muy necesario, finalmente el tesista propone una alternativa de solución que se basa en los siguientes procesos unitarios: Cámara de rejillas, desarenador, medidor Parshall, sedimentadores, disposición de lodos, lagunas de maduración y cámara de contacto.

Mamani (2017) diagnosticó la operatividad de la PTAR de la ciudad de Illave en su investigación teniendo como objetivo verificar el cumplimiento de las exigencias necesarias y requeridas por las normas para el vertimiento de las aguas residuales, así también estudiar el sistema de lagunas para el tratamiento desde su diseño original y dimensiones físicas para rediseñar una alternativa de solución hidráulica para un funcionamiento óptimo; para tal fin el tesista usa una metodología con un enfoque cualitativo y cuantitativo, nivel descriptivo, el trabajo



de investigación es del tipo no experimental y según el tiempo de investigación es transeccional o transversal. En su tesis tiene como resultados: A la salida de la PTAR la presencia de coliformes termotolerantes es de $1.1E+05$ NMP/100ml, la DBO es de 240 mg/l, la DQO es de 600 mg/l, por lo que los parámetros descritos no cumplen con los límites máximos permisibles, solamente el parámetro de sólidos totales cumple con un valor de 120 mg/l. Finalmente concluye que La PTAR de la localidad de Ilave vierte un efluente que incumple con la normativa vigente que son los límites máximos permisibles y los estándares de calidad ambiental para agua, asimismo, el tesista plantea un rediseño mediante lagunas facultativas y diseño de lagunas de maduración, también que en los sistemas de tratamiento el principal problema es la falta de operación y mantenimiento a las diferentes estructuras.

2.2. MARCO NORMATIVO

2.2.1. Ley N° 29338 Ley de Recursos Hídricos

Artículo 83°. – Prohibición de vertimiento de algunas sustancias, prohíbe el vertimiento de sustancias contaminantes así también residuos de todo tipo en el agua y los bienes asociados a esta los cuales atenten los criterios de toxicidad, persistencia y bioacumulación.

2.2.2. Ley N° 28611 Ley General del Ambiente

Artículo 31.- Del estándar de calidad ambiental – ECA, define el ECA como la medida para establecer el nivel de concentración de elementos, sustancias, parámetros fisicoquímicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo siendo estos cuerpos receptores, los cuales su cumplimiento garantizan el nulo riesgo a la salud de las personas y del ambiente, la evaluación de los ECAs

es obligatoria para el diseño y aplicación de los instrumentos de gestión ambiental como lo es La Ley del Sistema Nacional de Evaluación del Impacto Ambiental.

Artículo 32.- Del límite máximo permisible – LMP, define los LMP como la medida de la concentración o grado de elementos, sustancias, parámetros fisicoquímicos y biológicos que caracterizan el efluente de un cuerpo receptor, puesto que estos al ser excedidos provocan daños a la salud y desfavorecen el bienestar humano, así como el ambiente. El organismo que exige legalmente su cumplimiento es el Ministerio del Ambiente y los entes que forman parte del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, así mismo establecen criterios para la determinación de la supervisión y posibles sanciones.

2.2.3. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Artículo 1.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR, según los parámetros que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Parámetros establecidos como límites máximos permisibles.

Parámetro	Unidad	LMP
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	10000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	unidad	6,5-8,5
Sólidos suspendidos totales	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: Parámetros aprobados según el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM



Artículo 3. - Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR, los titulares de las PTAR que se encuentran en operación y no posean con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años para presentar al MVCS su programa de adecuación y control ambiental.

2.2.4. Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Artículo 3. - Categorías de los ECA para agua, establece rangos de los ECA para agua, siendo la Categoría 3: Riego de vegetales y bebidas de animales y la Categoría 4: Conservación del ambiente acuático, asimismo denota las siguientes precisiones a tener en cuenta:

Agua para riego no restringido: Se infiere como las aguas que poseen una calidad que permite su uso en el riego de cultivos que se consumen crudos; cultivos de árboles o arbustos frutales que poseen como sistema de riego la aspersión, se caracteriza porque el fruto se sitúa en contacto directo con el agua de riego inclusive aun siendo de tallo alto.

Agua para riego restringido: A diferencia del agua para riego no restringido, el agua para riego restringido permite su utilización en el riego de cultivos que se consumen cocidos, de tallo alto en los que el agua de riego no entra en contacto con el fruto, así mismo se ubican en esta subcategoría los cultivos que son procesados, envasados y/o proceso industrial, que son no comestibles y cultivos forestales, forrajes, entre otros.



2.3. BASES TEÓRICAS

2.3.1. Definición de aguas residuales:

La OMS (2013) lo define como los desechos líquidos vertidos desde viviendas, locales comerciales y fuentes similares a sistemas de disposición individuales o a tuberías de alcantarillado municipal, y que contienen principalmente excrementos humanos y agua usada.

Panca (2016) indica que las aguas residuales son aguas desechadas consecuencia de las actividades humanas y poseen material orgánico, sólidos, nutrientes, material inorgánico de acuerdo con su origen para ser después dirigido a un lugar para su tratamiento y vertimiento, también menciona que el parámetro de temperatura es superior a las aguas de consumo humano consecuencia del aporte de líquidos calientes.

Para Alvarez (2004) todas las aguas residuales afectan la composición de la fuente o del cuerpo receptor. Además, deja claro que causan contaminación si las aguas residuales introducen elementos que harían inaceptable el uso previsto.

Según Hernández (1998) indica que se considera a un curso de agua contaminado o polucionado, cuando en su formación son directa o indirectamente modificadas por las actividades del hombre, lo cual disminuye la facilidad de uso del cuerpo receptor para los fines planteados, sin embargo, también menciona que los lagos, ríos y mares tienen en su composición impurezas las cuales no se incorporan dentro del concepto de contaminación, puesto que al atravesar el ciclo del agua mediante precipitación, la atmósfera y discurrir a la superficie se adiciona elementos o partículas que dan origen a lo que se entiende como impurezas, esto



siempre y cuando no resulte debido a vertidos del provenientes de la fisiología o de las actividades del hombre.

Como afirma Lozano (2012) las aguas residuales se producen del desecho de las actividades domésticas las cuales contienen gran cantidad de carga contaminante producto de actividades fisiológicas, industriales y agropecuarios.

2.3.1.1. Clasificación de las aguas residuales:

Según Alvarez (2004), clasifica las aguas residuales teniendo como argumento su origen, puesto que estas resultan de la mezcla de diversas procedencias: De viviendas, edificios públicos y otras instalaciones donde habitan seres humanos (Aguas residuales domésticas); de locales comerciales e instituciones públicas o privadas; se asume que su composición es semejante a las de origen doméstico, acerca de las aguas residuales de las fábricas las cuales sus sistemas de alcantarillado que recolectan es de uso doméstico, relacionado a servicios higiénicos y cocinas, precisa que sus procesos industriales se denominan aguas residuales industriales; de las actividades agropecuarias, las cuales provienen del uso en actividades de riego y drenaje, cuyas características son distintas a las domésticas e industriales, puesto que suelen poseer productos químicos como plaguicida e insecticidas; de las actividades ganaderas las cuales son aguas de peculiaridad distintas a las mencionadas, debido a que contienen en su composición componentes del producto del lavado de ganado o cualquier uso en ese rubro; las aguas subterráneas infiltradas al alcantarillado son producidos por un alto nivel de la capa freática mayormente cuando existe excesivas precipitaciones en temporadas estacionarias.

Acerca del origen, se pueden clasificar las aguas residuales, según la composición de la descarga, particularmente a los parámetros físicos, químicos y biológicos como se detalla en la tabla 2.

Tabla 2

Parámetros de las aguas residuales y sus orígenes.

Parámetros	Origen y Composición de las Aguas Residuales			
	Domésticos	Comerciales	Industriales	Agropecuarios
Sólidos	x	x	x	x
Temperatura	x	x	x	
Color	x	x	x	
Olor	x	x	x	x
Proteínas	x	x		
Carbohidratos	x	x		
Grasas animales	x	x		
Aceites y grasas minerales	x	x	x	
Agentes tenso-activos		x	x	
Fenoles			x	
Pesticidas				x
pH	x	x	x	x
Cloruros	x	x	x	x
Alcalinidad	x	x	x	x
Nitrógeno	x	x	x	x
Fósforo	x	x	x	x
Azufre	x	x	x	
Compuestos tóxicos			x	x
Metales pesados			x	
Oxígeno	x	x	x	x



Parámetros	Origen y Composición de las Aguas Residuales			
	Domésticos	Comerciales	Industriales	Agropecuarios
Sulfuro hidrógeno	x	x	x	
Metano	x	x	x	
Protistas	x	x		
Virus	x	x		

Nota: Parámetros evaluados según el origen de las aguas domésticas.

Para Romero (2001) la clasificación de las aguas residuales se encuentran las de origen doméstico, provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institutos; aguas residuales municipales, son líquidos residuales transportados por el sistema de alcantarillado de una ciudad o población, tratados en una planta de tratamiento municipal; aguas residuales industriales, los cuales son aguas que provienen de industrias de manufactura, también indica que se habitúa llamar aguas negras a las aguas residuales que provienen de inodoros y aguas grises a las aguas residuales que provienen de duchas, tinas, lavamanos y lavadoras.

Según el Informe de las Naciones Unidas (2017) aclara acerca de las aguas residuales municipales y urbanas, indicando que estas poseen diferencias, reflejando la pluralidad de carga contaminante liberado por las distintas fuentes como lo son de origen doméstico, industrial, comercial e institucional, asimismo indica que las aguas residuales domésticas generalmente están libres de sustancias peligrosas, sin embargo, también precisa la preocupación del aumento de contaminantes emergentes. Finalmente realiza una precisión acerca de las industrias indicando que la toxicidad, movilidad y carga de los contaminantes pueden producir consecuencias más graves en los recursos hídricos, el hombre y medio ambiente.



Para Zambrano (2010) indica que las aguas naturales conforme a la contaminación pueden ser consideradas como impurificación artificial, directa o indirecta, producto del hombre y/o sus actividades, por consecuente, se torna regular el estudio de la contaminación enfocándonos en las causas o actividades que la originaron, también menciona como las aguas residuales más comunes: AR domésticas, AR pecuarias, AR de origen agrícola, AR industriales y AR de escorrentía urbana.

2.3.1.2. Efectos de las aguas residuales:

Romero (2001) indica que toda agua residual provoca la afectación en cierta forma de la calidad del agua de la fuente receptora, asimismo, presenta en la tabla 3 los efectos indeseables de la polución de las aguas.

Tabla 3

Efectos indeseables de la polución de las aguas según el contaminante.

Contaminante	Efecto
Materia orgánica biodegradable	Desoxigenación del agua, muerte de peces y olores desagradables.
Materia suspendida	Deposición en los lechos de los ríos, si es orgánica se descompone y flota mediante el empuje de los gases; cubre el fondo e interfiere con la reproducción de los peces o trastorna la cadena alimenticia.
Sustancias corrosivas, cianuros, metales, fenoles	Extinción de peces y vida acuática, destrucción de bacterias, interrupción de la auto purificación.
Microorganismos patógenos	Las ARD pueden transportar organismos patógenos.
Sustancias que causan turbiedad, temperatura, color, olor.	El incremento de temperatura afecta a los peces, el color, olor y turbiedad hacen estéticamente inaceptable el agua para uso público.
Sustancias o factores que trastornan el equilibrio biológico	Pueden causar crecimiento excesivo de hongos, plantas acuáticas, las cuales alteran el ecosistema acuático, causan olores, entre otros.

Contaminante	Efecto
Constituyentes minerales	Aumentan la dureza, limitan los usos industriales sin tratamiento especial, incrementan el contenido de sólidos disueltos a niveles perjudiciales para los peces o la vegetación.

Nota: Efectos que producen las aguas residuales.

Hernandez (1998) definió y cuantificó fuentes contaminantes urbanas y los efectos producidos por los distintos tipos de contaminación teniendo como resultado la siguiente tabla:

Tabla 4

Efectos producidos por las diferentes categorías de contaminación en las AR.

Principales categorías de contaminación	Categorías generales de efectos causados.				
	Daños a los recursos vivos	Peligros para la salud humana	Impedimentos para riego e industria	Reducción de los lugares de distracción.	
Desague de aguas residuales domésticas	Microbiana directa	-	XX	-	X
	Microbiana indirecta	-	XX	X	-
	Eutrofización y procesos afines	XX	X	X	XX
Productos de desecho industriales	Metales pesados	X	XX	X	-
	Petroquímicos	XX	X	X	-
	Aceites	-	-	X	XX
	Desperdicios de la fabricación de pasta y papel	XX	-	-	X
	Plaguicidas	X	XX	-	-
	Detergentes	X	-	-	X

Principales categorías de contaminación	Categorías generales de efectos causados.				
	Daños a los recursos vivientes	Peligros para la salud humana	Impedimentos para riego e industria	Reducción de los lugares de distracción.	
Productos de desecho industriales	Sustancias radiactivas	X	XX	X	-
	Calor	XX	-	X	-
	Objetos sólidos	-	-	X	X
	Materias extraídas en el dragado	XX	-	X	-
Actividad agrícola	Abonos	XX	X	-	X
	Pesticidas	X	XX	X	-

Nota: X Categoría general de efectos más frecuentes asociados con esta clase de contaminación, XX La categoría más importante de los efectos del tipo concreto de contaminación.

2.3.1.3. Características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales:

Alianza por el Agua (2008) precisa que los principales contaminantes encontradas en las aguas residuales son: Objetos gruesos, arenas, grasas y aceites, sólidos en suspensión, sustancias con requerimientos de oxígeno, nutrientes, agentes patógenos y contaminantes emergentes los cuales se generan debido a los actuales hábitos de consumo de la sociedad, se caracterizan por ser sustancias relacionadas a la limpieza doméstica, productos farmacéuticos, etc.

También indica que el tratamiento convencional de las aguas residuales, la reducción de contaminantes se hace de manera secuencial.

Según Romero (2001) indica que la caracterización de aguas residuales es posible realizarlo de diferentes formas, dependiendo del fin en específico, sin



embargo, resalta que la caracterización de aguas residuales implica un programa de muestreo adecuado que logre asegurar la correcta representatividad de la muestra y el apropiado análisis de laboratorio, haciendo uso de pruebas estándar que aseguren la precisión y exactitud en los resultados alcanzados.

También indica que existe en la práctica, caracterizaciones típicas y estándar de aguas residuales, las cuales son importantes como referencia para los parámetros estudiados, aclara que se debe tener en cuenta que cada agua residual tiene características únicas y los parámetros se evalúan específicamente por cada agua residual por separado.

Para Alvarez (2004), las aguas residuales poseen en su composición agua, sólidos disueltos en ella y sólidos suspendidos, la cantidad de sólidos presentes casi siempre es menos de 0.1 por ciento en peso, sin embargo, es la fracción que representa el mayor problema para su tratamiento y adecuada disposición. Los desperdicios de las viviendas se unen dentro del sistema de alcantarillado con los desechos de edificios comerciales y contribuyen con cantidades de sólidos en suspensión, materia orgánica en términos de DQO y DBO relativamente constantes en concentraciones, así como de sustancias de interés especial en la disposición de aguas servidas.

García et al (2006) indican que para realizar una correcta gestión de aguas servidas, es menester el disponer de información lo más detallada posible su naturaleza y las características.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Para la Organización Panamericana de la Salud (OPS, 2012) la demanda bioquímica de oxígeno indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que



usa las bacterias para poder descomponer la materia orgánica presente en las aguas residuales (1 litro), también indica que es la medida cuantitativa de la contaminación del agua por materia orgánica.

Según Menéndez (2007) indica que la demanda bioquímica de oxígeno es uno de los parámetros más utilizado para la caracterización de aguas servidas y sus componentes inorgánicos, proporciona el estimado de oxígeno disuelto que es requerido por los microorganismos para la degradación de los elementos biodegradables del agua residual; el mecanismo usado durante el ensayo de laboratorio es biológico y no depende solamente del oxígeno presente y usado en un momento dado, también de la velocidad a la que se consume, después, es necesario determinar un tiempo y temperatura de incubación que frecuentemente es a 20° de temperatura de referencia y en el transcurso de cinco días

Jimeno (1998) define la DBO como la dosis de oxígeno necesario para que las bacterias estabilicen la materia orgánica descomponible bajo condiciones aeróbicas; la demanda de oxígeno de las aguas residuales se da a través de tres clases de materiales: materiales orgánicos carbonosos, materiales nitrogenados oxidables y posibles compuestos químicos reductores.

Alvarez (2004) indica que el parámetro de contaminación orgánica más usado es la DBO a los 5 días (DBO₅), es menester para el tratamiento de aguas residuales y para la administración técnica de calidad de agua superficial, se infiere como la cantidad aproximada de oxígeno que necesita el agua residual para estabilizar biológicamente la materia orgánica presente, asimismo con los datos de la DBO puede calcularse la velocidad de estabilización a la que se requiere.



Martinez (1999) precisa que los microorganismos degradan la materia orgánica soluble en agua servida la cual sigue una cinética definida. La materia orgánica se puede expresar como demanda bioquímica de oxígeno (DBO) soluble; asimismo menciona que de los modelos más comunes de cinética de remoción de DBO soluble destacan el de primer orden, el de orden variable o monod y el de Grau, los datos obtenidos se acomodan a modelos de cinética de remoción, que bien puede ser de los antes señalados o tendrá que probarse.

Cuba (2004) indica que el análisis mediante DBO se acomoda a ciertas limitaciones y realiza la cuestión ¿Por qué se le dedica tanto espacio, si el análisis del DBO posee serias limitaciones?, seguidamente menciona que la explicación acerca de los resultados de DBO sirven para: Determinar la cantidad aproximada necesaria de oxígeno para poder estabilizar biológicamente la materia orgánica presente; realizar el dimensionamiento de estructuras que forman parte de plantas de tratamiento de aguas residuales; medir la eficacia de procesos unitarios de tratamiento y finalmente sirve para controlar el cumplimiento de la normativa de limitaciones a las que se encuentran sujeto el vertimiento de los efluentes de las aguas residuales.

Alianza por el Agua (2008) menciona que la demanda bioquímica de oxígeno es la cantidad equivalente necesaria para oxidar biológicamente los contaminantes de un agua servida. En el transcurso de cinco días del ensayo se tiene previsto que se consuma el 70% de sustancias biodegradables.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Cuba (2004) indica que el ensayo DQO se emplea para cuantificar el contenido de materia orgánica de las aguas naturales y residuales; así también en



aguas industriales y municipales que en su composición se localice compuestos tóxicos para la vida biológica, suele ser mayor que la DBO, esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación es por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica, sin embargo, se puede llegar a instituir una relación entre los valores de la DBO y la DQO, lo cual resulta práctico por el tiempo, puesto que para determinar la DQO se realiza en un tiempo de 3 horas frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO, finalmente y estableciendo la correlación entre ambos parámetros, puede establecerse medidas para el funcionamiento y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

Para Alvarez (2004) la DQO equivale al oxígeno necesario para que la materia orgánica pueda oxidarse y su medición se realiza usando un agente químico oxidante en medio ácido – dicromato de potasio, también precisa que el ensayo se realiza a temperaturas muy altas.

Romero (2001) indica que la DQO se usa para medir el oxígeno equivalente a la materia orgánica oxidable químicamente y que para la oxidación de compuestos orgánicos resistentes se usa un catalizador como el sulfato de plata; asimismo aclara que existen ciertos compuestos inorgánicos que interfieren en el ensayo, como lo son los cloruros, que ocasionan resultados erróneos de la DBO, esta interferencia se soluciona usando sulfato mercúrico. En general se espera que la DQO sea similar a la DBO última, solo en casos de aguas residuales industriales la afirmación no se cumpliría.

Alianza por el Agua (2008) menciona que la demanda química de agua equivale a la cantidad de oxígeno (mg/l) necesaria para la oxidación de los componentes orgánicos del agua servida usando agentes químicas.



pH

La OMS (2013) lo define como la expresión de la intensidad de la condición básica o ácida de un líquido.

Para la OPS (2012) el potencial de hidrógeno es el logaritmo base 10, producto de la actividad molar de iones de hidrógeno de una solución, lo cual determina la acidez o alcalinidad del agua residual.

Para Jimeno (1998) el pH es un término universalmente usado para expresar la magnitud en condiciones ácidas o alcalinas de una solución en concreto, para ser más precisos, la manera de expresar la concentración de iones de hidrógeno en el campo de abastecimiento de agua influye en la coagulación química, desinfección, ablandamiento y control de corrosión; en desagües y tratamientos de aguas residuales industriales requiere su control para favorecer los organismos envueltos y para coagular desechos desagües, desechos industriales, deshidratación de lodos y oxidación de ciertas sustancias.

Cuba (2004) indica que la forma habitual de expresar la concentración de ion hidrógeno es como el pH, el cual define como el logaritmo decimal cambiado de signo de la concentración del ion hidrógeno, en los sistemas acuosos puede cuantificarse mediante un pHmetro, también existen procedimientos y técnicas que emplean soluciones indicadoras y papeles pH que cambian de color a determinados valores del pH. Finalmente recalca que el intervalo de concentraciones correcto para la adecuada propagación y desarrollo de la mayor parte de la vida biológica es bastante reducido y crítico.



Vázquez y Rojas (2016) delimita que las soluciones con un pH menor a 7 son ácidas y mayores a 7 son alcalinas o básicas. También recalcan que un agua pura tiene un pH de 7, que infiere que es neutral.

Amaya, Cañón y Aviles (2004) precisan que el pH es una magnitud en un sin número de procesos biotecnológicos, como en la neutralización de desperdicios alimenticios.

Color

Romero (2001) indica que las aguas residuales frescas resultante del uso doméstico presentan coloración mayormente gris y a medida que envejece cambia a color gris oscuro para finalmente optar un color negro, lo cual es fruto de la formación de sulfuros metálicos. Asimismo, precisa que para aguas industriales el color puede indicar el origen de la contaminación, como también el buen estado y deterioro de los procesos de tratamientos.

Quispe, Piñas, Del Valle y Aguirre (2020) precisan que el color, está relacionado a la turbidez y se le atribuye a la presencia de diferentes tipos de ácidos y descomposición de la materia orgánica, asimismo, indica que el agua suele cambiar su coloración cuando en su composición existe óxidos metálicos tal es el caso del óxido de hierro y otros metales en exceso.

Cuba (2004) indica que históricamente, para realizar la explicación de un agua residual se empleaba el término condición junto con la composición y la concentración. Este término hace referencia a la edad del agua que puede estar en función a su color y olor, puesto que un agua residual reciente adopta el color grisáceo que al pasar el tiempo desarrolla condiciones más próximas a las



anaerobias, tornando paulatinamente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro clasificándose el agua residual como séptica.

Olor

Romero (2001) indica que las aguas residuales nuevas poseen un olor desagradable y las aguas sépticas presentan un olor muy ofensivo producto del ácido sulfhídrico presente, el cual proviene de la descomposición anaerobia de sulfatos o sulfuros, dichos olores representan una de las principales objeciones ambientales y es menester su control en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Cuba (2004) precisa que para la adecuada representación de un olor se sugiere cuatro factores independientes: La intensidad, el carácter, la sensación de desagrado y la detectabilidad, sin embargo, actualmente el único factor tenido en cuenta en el desarrollo de normativas reguladoras de olores ofensivos es la detectabilidad puesto que, en condiciones controladas, la medida sensorial de los olores, usando el olfato humano da resultados fiables y significativos.

Quispe et al. (2020) según su explicación, el sabor es lo que hace que las personas beban agua y, dado que el sabor está relacionado con el olor, el agua inodora es una buena señal de que no hay contaminantes presentes.

Espigares y Pérez (2003) precisan que la presencia de malos olores y sabores en las aguas residuales, son producto de la diversidad de sustancias que portan, así también de la descomposición de éstas, mayormente en procesos anaerobios a la materia orgánica con desprendimiento de gases, finalmente se añade a ello, la proliferación de microorganismos, procesos de descomposición, vegetación acuática, moho, hongos, entre otros. También indican que, en



condiciones anóxicas, la reducción de sulfatos a sulfuros produce el olor a el agua séptica.

Turbiedad

De acuerdo a la OPS (2012) la presencia en el agua es causada por la presencia de masa suspendida y disuelta en forma de gases, líquidos y sólidos (orgánicos e inorgánicos) pudiendo ser macroscópicas hasta partículas coloidales en función a su tamaño y el grado de turbulencia presente.

Romero (2001) constituye una medida óptica del material suspendido en las aguas servidas, mayormente estas son turbias y para aguas residuales tratadas suele ser un factor de control de calidad e inspección.

Espigares y Pérez (2003) indican que la turbidez es producto a la cantidad de materia en suspensión que existe en las aguas residuales (limo, materia orgánica y los microorganismos), esta concentración de masa en las aguas afecta a la penetración de la luz, lo que provocaría una menor productividad primaria.

Grasas y aceites

En concordancia con Taopanta (2019) son compuestos orgánicos que lo constituyen mayormente ácidos grasos de origen animal y vegetal, como también los hidrocarburos del petróleo. Las sustancias grasas presentes en las aguas residuales se clasifican en: Grasas animales como los tejidos adiposos de bovinos y ovinos, aceites animales provenientes de peces o patas de vacunos y aceites vegetales el cual es el grupo mas numeroso entre los cuales se halla aceites de girasol, algodón, maní, soja, oliva, uva, maíz entre otros.



Vidales, Leos y Campos (2010) indica que las grasas son compuestos orgánicos formados a partir de carbono, hidrógeno y oxígeno, de los cuales la vía mas concentrada de energía en los alimentos, pertenecen a los grupos de los lípidos de forma líquida o sólida, también indican que todas las grasas son combinaciones de ácidos grasos saturados y no saturados.

Cuba (2004) precisa que las grasas animales y los aceites son el tercer componente sustancial de los alimentos. El término grasa abarca las grasas animales, aceites y ceras entre otros constituyentes presentes en las aguas servidas. Es factible la extracción de aceites minerales como los aceites lubricantes y aceites de materiales bituminosos empleados en la construcción de vías y carreteras, las grasas animales y aceites se caracterizan por ser compuestos de alcohol, glicerol y ácidos grasos. También indica que las grasas se encuentran entre los compuestos orgánicos de mayor estabilidad, y la descomposición por acción bacteriana no resulta sencilla, sin embargo, sufren el ataque de ácidos minerales lo cual conduce a la formación de glicerina y ácidos grasos.

Coliformes

OPS (2012) hace referencia que parte del grupo de coliformes son las bacterias coliformes fecales, definidos como bacilos gram-negativos, no esporulados que fermentan la lactosa con producción de ácido y gas. La presencia de coliformes en el suministro de agua, es un indicio de contaminación con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición, finalmente indica que las bacterias coliformes se encuentran en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos ubicados en el fondo.



Para Romero (2001) los organismos patógenos que puedan existir en las aguas residuales usualmente son pocos, difíciles de aislar e identificar, por ello en consecuencia se usa los coliformes como organismos indicadores de contaminación o en otras palabras como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedades. Cada día el hombre diariamente arroja 10^9 y 4×10^{11} coliformes en sus excrementos, por ello su presencia en las aguas residuales es fácil de detectar y de usarse como norma de control sanitario. Las bacterias coliformes son bacilos gran-negativos, aerobios y facultativos anaerobios no formadores de esporas, los cuales fermentan la lactosa con producción de gas 48 ± 3 h a 35 o 37°C .

Díaz et al. (2003) establecen que las bacterias encontradas con mayor frecuencia en el agua son las bacterias entéricas que colonizan el tracto gastrointestinal y que son eliminadas mediante la materia fecal, al introducirse en el agua la capacidad de reproducirse y de sobrevivir son limitadas por las condiciones ambientales. El grupo mas llamado es el de las bacterias coliformes, el grupo de microorganismos coliformes es indicador de contaminación bacteriana puesto que los coliformes son contaminantes del tracto gastrointestinal del hombre como de los animales de sangre caliente, permanecen por más tiempo en el agua que las bacterias patógenas y se comportan de igual manera que los patógenos en los sistemas de desinfección.

Alianza por el Agua (2008) aclara acerca de organismos patógenos, los cuales se encuentran en las aguas residuales en muy pequeñas cantidades siendo muy difícil su aislamiento, por lo descrito, se usa los coliformes como organismo indicador de contaminación.



Sólidos

OPS (2012) indica que los sólidos son producto de la erosión de los suelos, detritus orgánico y plancton, estos son responsables de impurezas visibles. También aclara que la materia suspendida son partículas muy pequeñas las cuales no se pueden quitar mediante deposición, se pueden identificar mediante la descripción de características visibles del agua, el cual incluye turbidez y claridad, gusto, color y olor.

Para Romero (2001) la cuantía de sólidos presentes en las aguas servidas, se enlaza directamente con la cantidad de lodos que ocasiona la planta de tratamiento, examina los sólidos totales de un agua el residuo de evaporación y secado a 103 – 105 °C; asimismo esclarece que los sólidos sedimentables son la cuantificación del volumen de sólidos asentados en el lecho de un frasco denominado Cono Imhoff en un señalado tiempo (una hora) y representa la cantidad de lodo removible por sedimentación simple.

Alianza por el Agua (2008) denomina los sólidos a la fracción de masa que queda retenido por una membrana filtrante de un tamaño determinado, dentro de los sólidos se tienen: Sólidos sedimentables y no sedimentables. También indica que un rango habitual de sólidos es de 150 a 300 mg/l.

Castanares (2023) aclara que los métodos específicos para la reducción de los sólidos de las aguas residuales dependen del tipo y de la cuantificación de los sólidos, así como de la presencia de otro tipo de contaminantes, también de la eficiencia del tratamiento requerido, entre los métodos más usados para la eliminación de sólidos se tiene: Cribado mediante tamices, sedimentación,



coagulación, floculación, tratamientos biológicos, flotación por aire disuelto y filtración.

2.3.2. Planta de tratamiento de aguas residuales

Según el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2009) es la infraestructura y los procesos que permiten la depuración de las aguas residuales.

La OPS (2012) lo define como las instalaciones diseñadas para recibir, tratar y finalmente disponer o reutilizar las aguas servidas. Estas instalaciones son críticas para proteger la salud pública, preservar el medio ambiente y garantizar el suministro sostenible de agua. Además, indica que son esenciales para cumplir con los estándares de calidad del agua y contribuir al desarrollo sostenible.

2.3.2.1. Tratamiento de aguas residuales:

Para la Alianza por el Agua (2008) precisa que el tratamiento de aguas residuales consta de operaciones físicas, biológicas y químicas cuya finalidad es reducir la mayor cantidad posible de contaminantes previo vertido, y así los efluentes cumplan los límites legales vigentes y sean asimilados de manera natural por los cuerpos receptores.

De acuerdo con el Ministerio del Ambiente (2009) los sistemas de tratamientos de aguas residuales son un conjunto integrado de operaciones y procesos físicos, químicos y biológicos, que se usan con la finalidad de purificar las aguas residuales hasta un nivel tal que permita lograr la calidad requerida para su vertimiento final, o su aprovechamiento mediante el reúso.



Asimismo, acerca de los niveles de tratamientos y depuración, establece que la complejidad de tratamiento está en función de los objetivos que se establezca para el efluente resultante de dicho tratamiento.

Romero (2001) indica que el objetivo básico del tratamiento de aguas es salvaguardar la salud y fomentar el bienestar de los individuos miembros de la sociedad, así también, para tener en cuenta la restitución de las aguas servidas a nuestros ríos o lagos nos convierte en usuarios directos e indirectos de las mismas, lo cual está relacionado con el aumento de la población mediante la tasa de crecimiento poblacional, puesto que también aumenta la necesidad de proveer sistemas de tratamiento o renovación que permitan eliminar los riesgos para la salud y minimizar los daños al ambiente.

En opinión a García et al. (2006) manifiestan que durante el proceso de depuración de aguas residuales generadas existe dos factores a tener en cuenta cuando se realiza el tratamiento, primeramente, los componentes de las aguas residuales y posterior el orden de depuración durante el proceso de tratamiento.

2.3.2.2. Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales:

Oakley (2015) plantea que para evaluar e inspeccionar una laguna de estabilización se debe estimar las características ambientales de la zona, además del tipo de obras presentes dentro del sistema como estructuras para la medición de caudales, rejillas, desarenadores, tipos de entradas y salidas, interconexiones, etc. acompañando a esto estudios topográficos y batimétricos para poder definir adecuadamente el área y los volúmenes de lagunas así también los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales.



2.3.2.3. Procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales:

Tratamiento preliminar o pretratamiento:

Para el Ministerio del Ambiente (2009) tiene como objetivo el retenimiento de sólidos gruesos y sólidos finos con peso específico mayor al agua y arenas, para poder favorecer el tratamiento posterior, para este fin son usuales el empleo de canales con rejas gruesas y finas, desarenadores y en casos especiales se emplean tamices.

Ramalho (1990) indica que el pretratamiento de aguas servidas implica la disminución de sólidos en suspensión y así acondicionar las aguas servidas para su descarga en los receptores o para pasar a un tratamiento secundario a través de neutralización; los procesos unitarios primarios principales son el cribado, la sedimentación, flotación y neutralización.

Alianza por el Agua (2008) precisa que las aguas residuales se someten a un pretratamiento antes del tratamiento, que consiste en una serie de manipulaciones físicas y mecánicas encaminadas a separar de las aguas residuales la mayor cantidad de sustancias posibles, que por su propia naturaleza, o el tamaño puede conducir a etapas posteriores del tratamiento. Se muestra el problema. Es muy importante el correcto diseño y posterior mantenimiento de las etapas de pretratamiento, ya que cualquier defecto en las mismas puede afectar negativamente al resto de la planta, provocando taponamientos de tuberías, válvulas y bombas, desgaste de equipos, decaído, etc. El pretratamiento incluye operaciones como la remoción de sólidos grandes, lavado, tamizado y triturado, y desengrasado.



Tratamiento primario:

La OMS (2013) lo define como el proceso inicial usado para eliminar sólidos orgánicos e inorgánicos sedimentables y sustancias flotantes, dentro de esta clasificación se incluye la sedimentación primaria, reactores anaeróbicos de flujo ascendente de manto de lodos.

Para el Ministerio del Ambiente (2009) establece que se considera como unidad de tratamiento primario a todo sistema que permite deponer material en suspensión, con excepción de la materia coloidal o sustancias disueltas presentes en el agua, la remoción del tratamiento primario permite depurar entre el 60 a 70% de sólidos suspendidos totales y hasta un 30% de la DBO orgánica sedimentable. En zonas rurales es habitual el uso de tanque séptico como unidad fundamental para la depuración es la disposición final por infiltración, seguidamente el uso de tanque Imhoff para localidades de mediano tamaño es una alternativa correcta de tratamiento primario.

Cuba (2004) indica que, en este tratamiento, la mayor parte de los sólidos suspendidos en las aguas residuales son separados o removidos por el proceso de decantación física en el tanque de sedimentación, es decir, alrededor del 40% al 60%. Cuando se agregan ciertos productos químicos al tratamiento primario, se eliminan casi todos los sólidos coloidales, junto con los sólidos sedimentables, o un total del 80 % al 90 % de los sólidos en suspensión. El objetivo principal de los procesos primarios es reducir la velocidad de las aguas residuales lo suficiente como para permitir que los sólidos se asienten. Por lo tanto, estas unidades se pueden distinguir por el nombre de tanques de sedimentación.



Alianza por el Agua (2008) define el tratamiento primario como el tratamiento de aguas servidas urbanas mediante procesos fisicoquímicos que incluyen la sedimentación de sólidos en suspensión y otros procesos en los que la DBO se reduzca por lo menos en un 20% previo al vertido; asimismo, los sólidos suspendidos de entrada se reduzcan en un 50%.

Para García et al (2006) los tratamientos primarios mas habituales son la decantación primaria cuyo objetivo es eliminar la mayor cantidad de sólidos sedimentables, tratamiento fisicoquímicos en los cuales se consigue la reducción de sólidos en suspensión y otros tanques de sedimentación con dos cámaras, tal es el caso del Tanque Imhoff.

Tratamiento secundario:

Según el Ministerio del Ambiente (2009) el tratamiento secundario posee como fundamento la inclusión de procesos biológicos en los que predominan reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de entre el 50% y el 95% de la DBO, entre las unidades más usadas se tiene: Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos, lodos activados, lagunas de estabilización de tipo facultativa y aireada.

Alianza por el Agua (2008) define el tratamiento secundario como la depuración de aguas residuales urbanas mediante un proceso unitario el cual incluye tratamientos biológicos con sedimentación secundaria con la finalidad de reducir materia orgánica. Esto es posible haciendo uso de microorganismos (principalmente bacterias) que en condiciones aerobias actúan sobre la materia



orgánica, también indica parte de la materia orgánica se oxida producto de la flora bacteriana, la cual obtiene la energía necesaria para el mantenimiento celular.

Para García et al (2006) los tratamientos secundarios deben poseer un porcentaje de reducción del 70% al 90% de la DBO de entrada al proceso unitario, así como del 75% de la DQO, finalmente un porcentaje de reducción de sólidos en suspensión del 90%.

Noyola, Morgan y Guereca (2013) indica que en este tratamiento se usa para eliminar mayormente la materia orgánica biodegradable (sobretudo las soluble) por medios biológicos puesto que el costo de implementar estos procesos debido a su bajo costo y alta eficacia de remoción.

Tratamiento terciario:

Según el Ministerio del Ambiente (2009) el implementar un tratamiento terciario depende de la disposición final o el uso a la cual se pretenda dar a las aguas residuales tratadas, fundamentalmente tiene como objetivo lograr la remoción de nutrientes como nitrógeno y fósforo, así también tiene finalidad evitar la eutroficación o crecimiento generalizado de algas en lagos, lagunas o cuerpos de aguas que hagan de cuerpos receptores.

Finalmente aclara que el uso del efluente de aguas residuales con tratamiento terciario puede aplicarse al riego de áreas agrícolas, crianza de peces y otras actividades productivas. Algunos de los tratamientos más usados son la precipitación química, procesos de filtración, flotación, osmosis inversa, entre otros.



Noyola, Morgan y Guereca (2013) indica que el tratamiento terciario es el siguiente al secundario y su finalidad es reducir compuestos tales como sólidos suspendidos, nutrientes y la materia orgánica o biodegradable; asimismo indica que es necesario cuando debe cumplir con ciertas condiciones de vertimiento (remoción de nutrientes) o para un uso específico del agua tratada, lo que generaría que el tratamiento terciario sea el adecuado para el caso específico.

Ramalho (1990) expresa que el tratamiento terciario se refiere a los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios; tanto para los procesos aerobios como para los anaerobios la solución que se usa son ecuaciones planteadas por Eckenfelder tanto para la formulación matemática y el procedimiento seguido para obtener para la obtención de datos de diseño, lo cual se consiguió mediante unidades semipiloto.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ASPECTOS GENERALES

3.1.1. Ubicación del área de estudio

Región	: Puno
Provincia	: Carabaya
Distrito	: Ajoyani
Código de ubigeo	: 217230
Zona	: Urbana
Región natural	: Sierra
Coordenadas UTM	: 8426523 norte, 367981este
Altitud	: 4276 m.s.n.m.

Figura 1

Microlocalización de la planta de tratamiento de aguas residuales



Nota: Localización satelital (Google Earth) de la PTAR del distrito de Ajoyani

3.1.2. Límites de la localidad de estudio

Norte : Distritos de Ituata y de Ayapata.

Sur : Provincia de Melgar.

Este : Distritos de Usicayos y de Crucero.

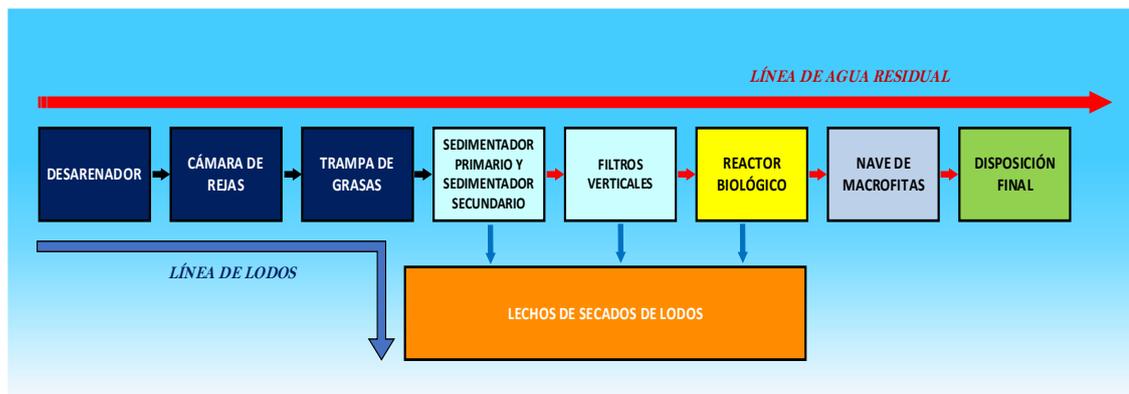
Oeste : Distritos de Macusani y de Corani.

3.1.3. Esquema de la PTAR existente

Se presenta el diagrama de la PTAR existente según el monitoreo realizado en campo:

Figura 2

Esquema de los procesos unitarios de la PTAR existente.



Nota: Tren de tratamiento de la PTAR existente.

3.1.4. Descripción de los procesos unitarios de la PTAR del distrito de Ajoyani

La PTAR del distrito de Ajoyani consiste en los siguientes procesos:

Figura 3

Visita a campo realizado por el tesista en la PTAR.



Nota: Se visualiza los diversos procesos unitarios conformantes de la PTAR.

3.1.4.1. Tubería de entrada

Tubería de material PVC, la cual funciona para conectar la planta de tratamiento de aguas residuales y el emisor del sistema de alcantarillado del distrito de Ajoyani, sus dimensiones son las siguientes:

Diámetro = 200 mm

Largo = 3 m

3.1.4.2. Desarenador

Estructura inicial, que forma parte del pretratamiento, consta de dos canales de concreto armado, sirve para retener arenas o materiales similares, sus dimensiones son las siguiente:

Largo = 6.45m

Ancho = 1.65 m

Número de canales = 2

Canal interior = 0.60 m

Figura 4

Vista del pretratamiento.



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.3. Cámara de rejillas

Estructura del pretratamiento, está ubicado posterior al desarenador, el material es de concreto armado, consiste en tres rejillas con distintos espaciamientos, las cuales poseen un ángulo de inclinación de 60° , los fierros y las platinas se encuentran en condiciones aceptables, no obstante, se aprecia la falta de mantenimiento y la acumulación de residuos sólidos, posee las siguientes dimensiones.

Largo = 4.70 m

Ancho = 1.90 m

Número de rejillas = 03 con ángulos metálicos (35) de diámetro 5/8”
espaciados a 0.95 cm, 1.27 cm y 2.54 cm.

Ángulo de inclinación de rejillas = 60°

Figura 5

Vista de la cámara de rejas.



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.4. Desgrasador

Sirve para separar las natas, aceites y grasas presentes el agua residual, previo al tratamiento primario, está construido de concreto armado, cuyas dimensiones son las siguientes:

Largo = 4.10 m

Ancho = 1.90 m

3.1.4.5. Sedimentador primario y secundario

Posee dos sedimentadores, primario y secundario, ambos de concreto armado, los cuales tienen las siguientes dimensiones:

Largo de sedimentador primario = 8.90 m

Ancho de sedimentador primario = 2.54 m

Largo de sedimentador secundario = 16.90 m

Ancho de sedimentador secundario = 3.95 m

Figura 6

Vista del sedimentador secundario



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.6. Filtros verticales múltiples

Posee tres filtros verticales de concreto armado dividido en canales interiores, las cuales tienen las siguientes dimensiones:

Largo de filtro vertical 01 = 16.90 m

Ancho de filtro vertical 01 = 1.60 m

Número de canales de filtro vertical 01 = 3

Largo de filtro vertical 02 = 17.00 m

Ancho de filtro vertical 02 = 1.95 m

Número de canales de filtro vertical 02 = 3

Largo de filtro vertical 03 = 16.90 m

Ancho de filtro vertical 03 = 2.85 m

Número de canales de filtro vertical 03 = 5

3.1.4.7. Reactor biológico

La PTAR tiene dos reactores biológicos que tienen una cubierta de policarbonato sostenida por una estructura de acero con las siguientes dimensiones:

Largo = 5.80 m

Ancho = 3.60 m

Número de tuberías cribada por reactor = 9

Figura 7

Vista del digestor de lodos.



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.8. Naves de macrofitas

Posee dos tipos de naves de macrofitas, las cuales se diferencian en la planta que sirve para realizar el correspondiente pulimento de las aguas residuales, las dimensiones de los reactores biológicos son:

Largo de nave de macrofitas 01 = 12 m

Ancho de nave de macrofitas 01 = 9.70 m

Número de canales de nave de macrofitas 01= 3

Planta que realiza el pulimento = Totora

Largo de nave de macrofitas 02 = 12 m

Ancho de nave de macrofitas 02 = 9.70 m

Número de canales de nave de macrofitas 02= 3

Planta que realiza el pulimento = Lenteja de agua

Figura 8

Toma de muestra de agua de la nave de macrofitas



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.9. Lecho de secados

Acerca del tratamiento de lodos, actualmente se emplea el lecho de secados el cual posee las siguientes dimensiones:

Largo = 8.25 m

Ancho = 7.40 m

Figura 9

Vista del lecho de secados



Nota: Visitas realizadas a la PTAR por el tesista.

3.1.4.10. Criterios para el aseguramiento de la calidad

Se identificaron ubicaciones que cumplieran con las condiciones necesarias para un muestreo adecuado en la planta de tratamiento de aguas residuales. Durante el proceso de caracterización, se tomaron precauciones para evitar el contacto con el fondo o las paredes, con el propósito de impedir la entrada de sedimentos al recipiente de muestreo.

Se planificó el muestreo para una fecha sin presencia de lluvias, con el objetivo de evitar posibles alteraciones en los resultados obtenidos.

Los ensayos fueron llevados a cabo por el laboratorio de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.

Figura 10

Laboratorio de la facultad de ingeniería química de la UNA Puno



Nota: Se dejó las muestras realizadas in situ al laboratorio.

3.2. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo y nivel de estudio:

La presente tesis de pregrado es de enfoque cuantitativo según Rodríguez et al (2008), por la finalidad es aplicada con un nivel descriptivo y por el tiempo de investigación es transversal.

3.2.2. Diseño de investigación:

La investigación fue no experimental debido a que no se manipuló deliberada las variables y se basó en la observación de fenómenos en su contexto natural para un posterior análisis.



3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. Población y muestra

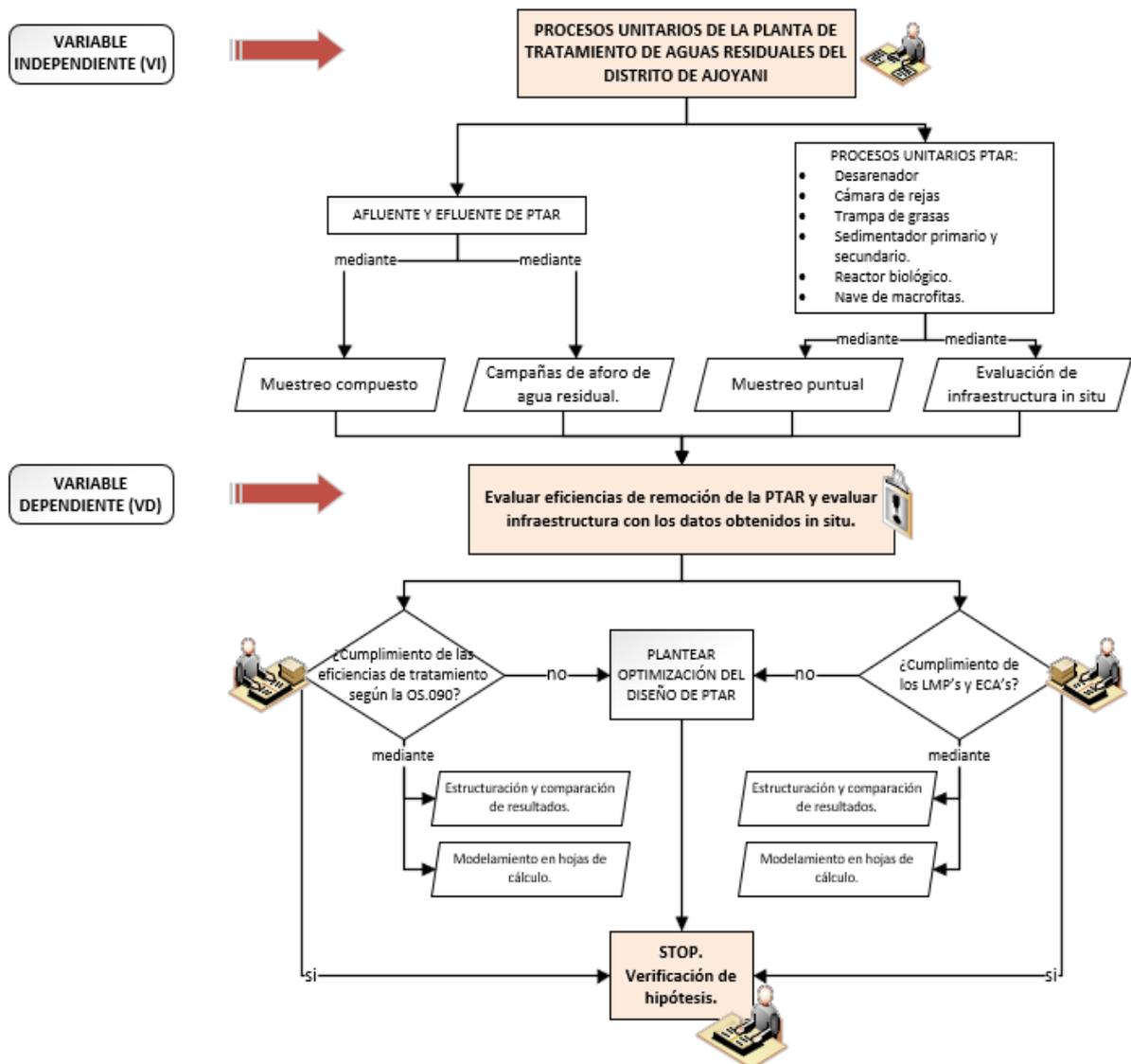
Para el presente estudio la población lo conforman los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, de igual forma, la muestra planteada son los tratamientos de la PTAR: Desarenador, cámara de rejas, trampa de grasas, sedimentador primario y secundario, filtros verticales, reactor biológico, nave de macrofitas puesto que es necesario su evaluación individual para identificar la eficiencia de remoción de contaminantes por proceso.

3.4. DIAGRAMA DE FLUJO

Tras identificar los componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales, se elaboró un diagrama de flujo para describir la secuencia de los procedimientos utilizados en esta investigación.

Figura 11

Diagrama de flujo de la presente investigación



Nota: Se presenta el flujo de trabajo realizado para la presente investigación.

3.5. MATERIALES Y EQUIPOS

3.5.1. Materiales

- Fichas de registro e identificación para el muestreo de agua residual.
- Formato de cadena de custodia.
- Cinta adhesiva.
- Plumón indeleble.



- Frascos debidamente etiquetados.
- Cajas térmicas.
- Hielo.
- Cinta métrica.

3.5.2. Equipos

- Impresora.
- Laptop.
- Cámara fotográfica.
- GPS para la identificación de los puntos de monitoreo.
- Para realizar el diagnóstico de las estructuras se realizó pruebas de martillo de rebote o esclerometría según lo dispuesto en la NTP 339.181:2013.

3.5.3. Indumentarias de protección

- Zapatos de seguridad.
- Guantes de látex descartables.
- Casco.
- Mascarilla descartable.
- Guantes quirúrgicos.

3.6. PROCEDIMIENTO

3.6.1. Planificación y recopilación

Trabajo realizado previo a la toma de datos en campo, se revisó la información acerca de tecnologías y procesos unitarios en plantas de tratamiento de aguas residuales que concuerden con las características de la planta en estudio, condiciones de clima, altitud, entre otros, esto se realizó mediante la consulta de antecedentes y la revisión de bibliografía especializada. A continuación, se efectuó la primera visita al campo, durante la cual el investigador se presentó al presidente de la Junta de Agua y Saneamiento (JASS) y solicitó el permiso correspondiente para llevar a cabo la recolección de datos en la PTAR.

3.6.2. Metodología para la medición de caudales y muestreo de aguas residuales

Para realizar el muestreo, primero se localizó los puntos de monitoreo, los cuales cumplen con lo siguiente:

- Permiten que la muestra sea representativa del flujo.
- Localizados donde existe una mejor mezcla y cerca de los puntos de aforo.
- Acceso fácil y seguro, se evitó vegetación densa y fangos.

Se realizó el muestreo de aguas residuales en la planta de tratamiento según el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” aprobado mediante RJ N° 010-2016-ANA, empleando las técnicas de medición puntual, compuesta y los siguientes instrumentos: Fichas de registro e identificación para el muestreo de agua residual, formato de cadena de custodia,



frascos rotulados, cajas térmicas, hielo, cinta métrica, indumentaria de protección, GPS, cámara para el registro fotográfico.

El muestreo se llevó a cabo en 8 (ocho) puntos estratégicamente ubicados: el último buzón, que representa el afluente de la PTAR, así como en el pretratamiento, desgrasador, sedimentadores, filtros verticales, reactor biológico y nave de macrofitas. Los parámetros evaluados fueron aquellos indicados en la Norma Técnica OS.090, que incluyen aceites y grasas, coliformes totales, DBO, DQO, pH (potencial de hidrógeno) y sólidos totales, los cuales fueron analizados en el laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano; los parámetros del color y olor se evaluaron in situ. Asimismo, para medir el flujo se empleó el método volumétrico. En el anexo C de la presente se adjunta datos de muestreo y los respectivos protocolos de muestra realizados.

Se llevaron a cabo campañas de aforo de caudal durante un total de 5 días, distribuidos en diferentes días de la semana, con el objetivo de determinar el caudal de la planta de tratamiento de aguas residuales. Estas acciones se llevaron a cabo siguiendo las directrices establecidas en la Norma Técnica OS.090.

Tras el muestreo y la caracterización de las aguas residuales, se llevó a cabo una inspección in situ de los procesos unitarios. Durante esta inspección, se registraron deficiencias y posibles patologías de las estructuras existentes, y se realizó el ensayo NTP 339184 de esclerometría.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS DE LOS MUESTREOS

Se presentan los resultados obtenidos del laboratorio de la facultad de Química de la Universidad Nacional del Altiplano; para el muestreo se realizó en el ingreso y salida de la planta de tratamiento de agua residual según el siguiente detalle:

1. Muestra compuesta MC 01, MC 03, MC05 - Afluente de PTAR – ingreso de la planta de tratamiento de aguas residuales.
2. Muestra compuesta MC 02, MC 04, MC06 - Efluente de PTAR – salida de la planta de tratamiento de aguas residuales.

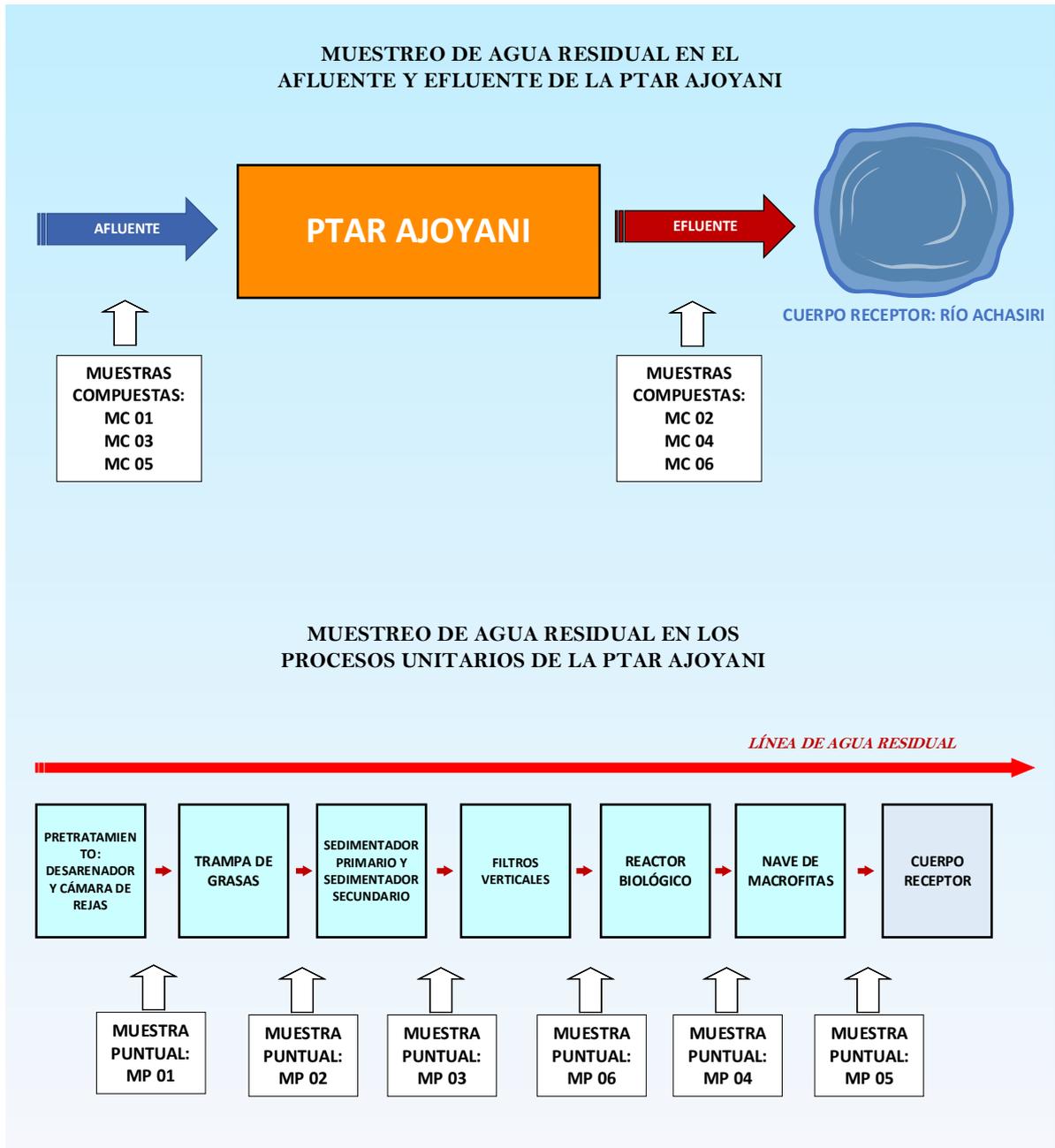
Así mismo se realizó el muestreo en los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales según el siguiente detalle:

3. Muestra puntual MP01- Pretratamiento – salida de la cámara de rejillas.
4. Muestra puntual MP02- Pretratamiento – salida de la trampa de grasas.
5. Muestra puntual MP03- Sedimentador primario
6. Muestra puntual MP06- Sedimentador secundario
7. Muestra puntual MP04- Reactor biológico
8. Muestra puntual MP05- Nave de macrofitas

Se muestra a continuación el esquema de la actual Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), así como los puntos de muestreo seleccionados para esta investigación.

Figura 12

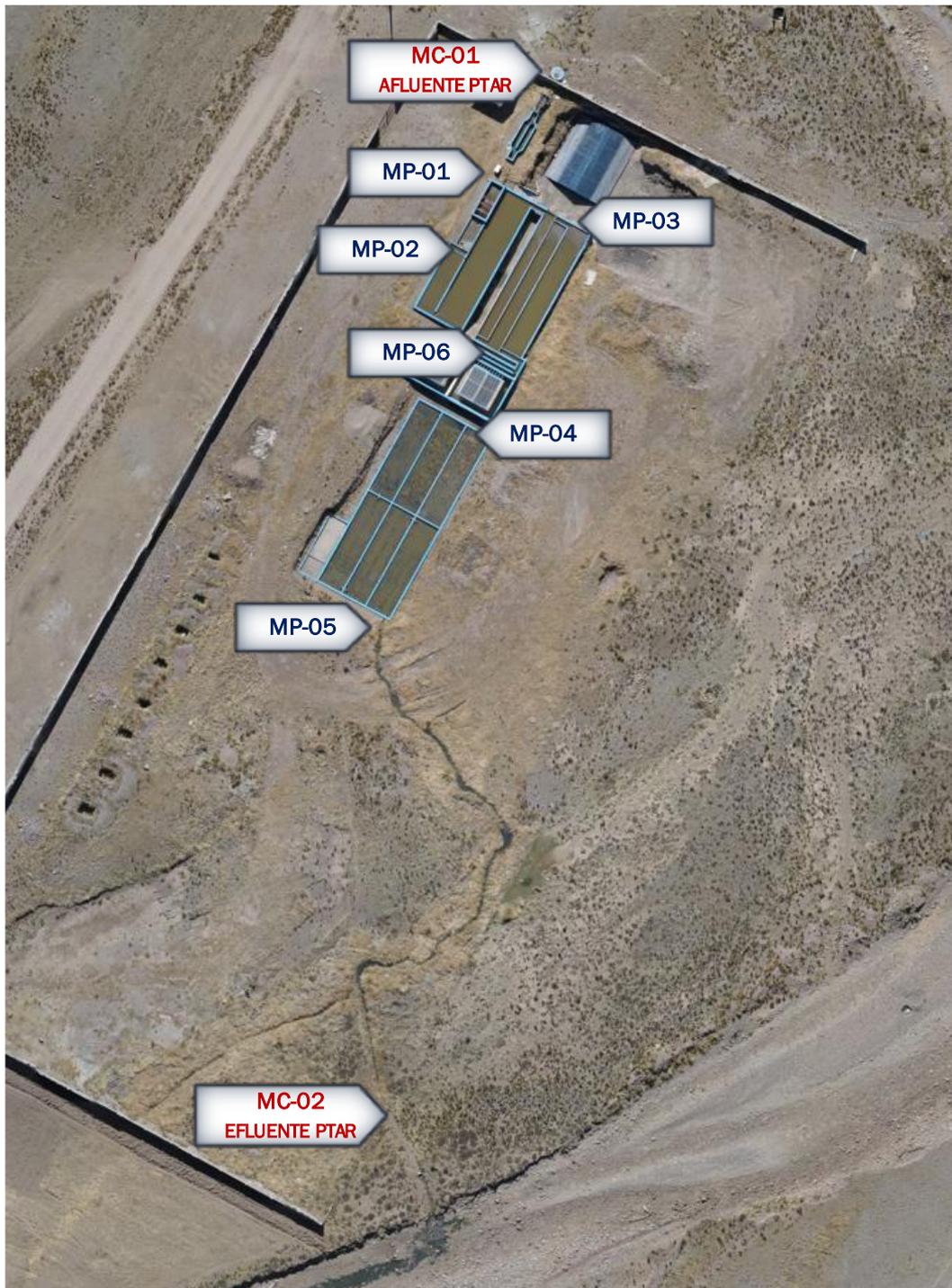
Esquema de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales y las muestras realizadas.



Nota: Programas de muestreo realizado a la PTAR según la normativa relacionada.

Figura 13

Vista satelital de la planta de tratamiento de aguas residuales indicando los puntos de muestreo para su respectiva caracterización.



Nota: Se evidencia la infraestructura de la PTAR, así como el cerco perimétrico circundante.

4.1.1. Medición de caudales

El aforo se realizó en cinco campañas de medición (01/12/2022, 02/12/2022, 30/04/2023, 01/05/2023, 02/05/2023), en concordancia con la NTP OS.090, los días elegidos son diferentes de la semana, a continuación, se presentan los resultados del aforo de caudales:

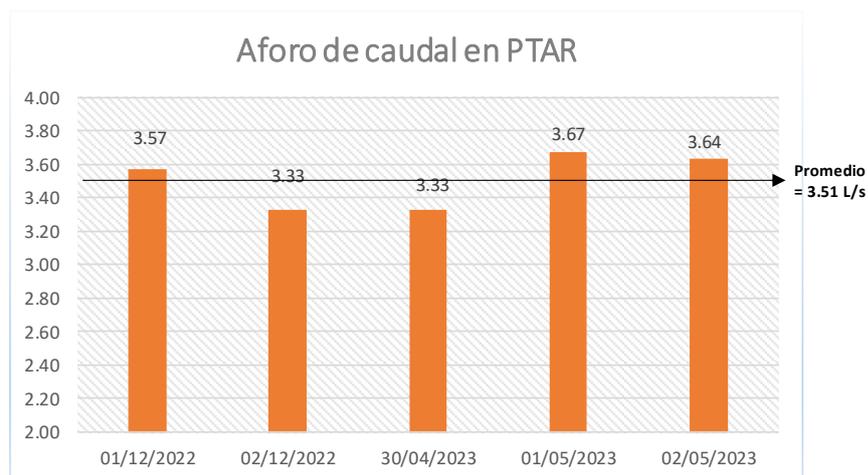
FORMATO DE MEDICIÓN DE CAUDALES - RESUMEN

TESIS: **EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI – CARABAYA. 2022.**



COORDENADAS	ESTE	NORTE	ALTITUD
	366880.2	8425536.35	4233

N° de campaña	UBICACIÓN		TIPO DE FUENTE AFORADO	FECHA	MÉTODO	CAUDAL DE ESTIAJE (l/seg)
	DISTRITO	LOCALIDAD				
001	Ajoyani	Ajoyani	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ajoyani	01/12/2022	Vol	3.57
002	Ajoyani	Ajoyani	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ajoyani	02/12/2022	Vol	3.33
003	Ajoyani	Ajoyani	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ajoyani	30/04/2023	Vol	3.33
004	Ajoyani	Ajoyani	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ajoyani	01/05/2023	Vol	3.67
005	Ajoyani	Ajoyani	Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - Ajoyani	02/05/2023	Vol	3.64
PROMEDIO						3.51



Formato N.º 01: Medición de caudales – Resumen.

Los protocolos usados en campo para el aforo, se adjuntan en el anexo C.



4.2. EFICIENCIA EN LA REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE CADA PROCESO UNITARIO

Los parámetros evaluados en la presente investigación forman parte de los límites máximos permisibles para efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas, establecido en el DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM, los cuales se detallan a continuación:

- Aceites y grasas.
- Coliformes termotolerantes.
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO).
- Demanda química de oxígeno (DQO).
- pH.
- Sólidos totales en suspensión.
- Temperatura.

Los resultados del análisis realizado por el laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química se adjuntan en el anexo A con los parámetros evaluados.

4.2.1. Eficiencia

Apaza (2021) emplea la siguiente fórmula para determinar la eficiencia de cada componente:

$$E = (S_0 - S)/S_0 \times 100$$

Donde:

E = Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%].

S = Carga contaminante de salida

S_0 = Carga contaminante de entrada

4.2.2. Evaluación de la eficiencia de la PTAR - afluente y efluente

Los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en la PTAR para los siguientes parámetros son: conductividad eléctrica de 16.60%, demanda química de oxígeno de 42.45%, demanda bioquímica de oxígeno de 57.27%, sólidos totales de 50.15%, aceites y grasas 8.96% y el parámetro de coliformes totales de -68.97% el cual posee una carga contaminante mayor en el efluente que en el afluente de la PTAR.

Tabla 5

Eficiencia promedio de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Parámetros fisicoquímicos	Unidad	Ubicación del muestreo		Eficiencia promedio
		Afluente promedio	Efluente promedio	
Potencial de Hidrógeno	pH	6.55	6.59	-0.66%
Conductividad eléctrica	$\mu\text{S/cm}$	57.63	48.07	16.60%
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	383.30	220.58	42.45%
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	mg/L	223.50	95.50	57.27%
Aceites y grasas	mg/L	4.95	4.51	8.96%
Sólidos totales	mg/L	456.67	227.66	50.15%
Parámetros microbiológicos				
Coliformes totales	UFC/100 ml	1.93	3.27	-68.97%

Nota: Cálculo de la eficiencia promedio de la PTAR, haciendo uso de los resultados obtenidos.

4.2.3. Evaluación de la eficiencia de la remoción de contaminantes en el pretratamiento – cámara de rejillas

Tabla 6

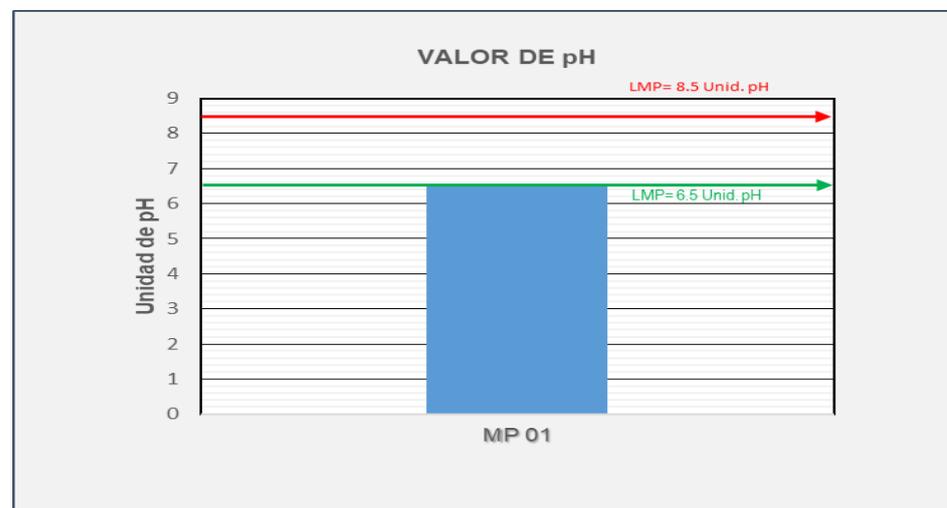
Resultados de la caracterización para el proceso unitario del pretratamiento

MP-01			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	6.49
Conductividad eléctrica	Termómetro	$\mu\text{S}/\text{cm}$	43.50
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	538.78
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	248.80
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	12.58
Sólidos totales	Incineración	mg/L	266.78
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	2.2
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para el pretratamiento de la PTAR, cámara de rejillas.

Figura 14

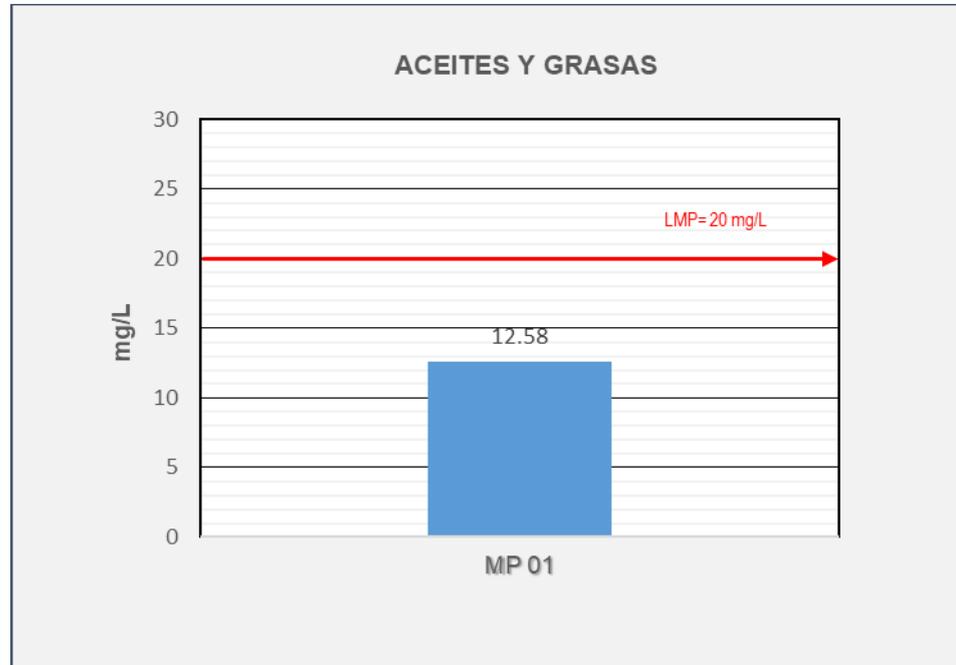
Evaluación del parámetro pH.



Nota: pH en el pretratamiento – cámara de rejillas.

Figura 15

Evaluación del parámetro aceites y grasas en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR



Nota: Aceites y grasas en el pretratamiento – cámara de rejas.

Figura 16

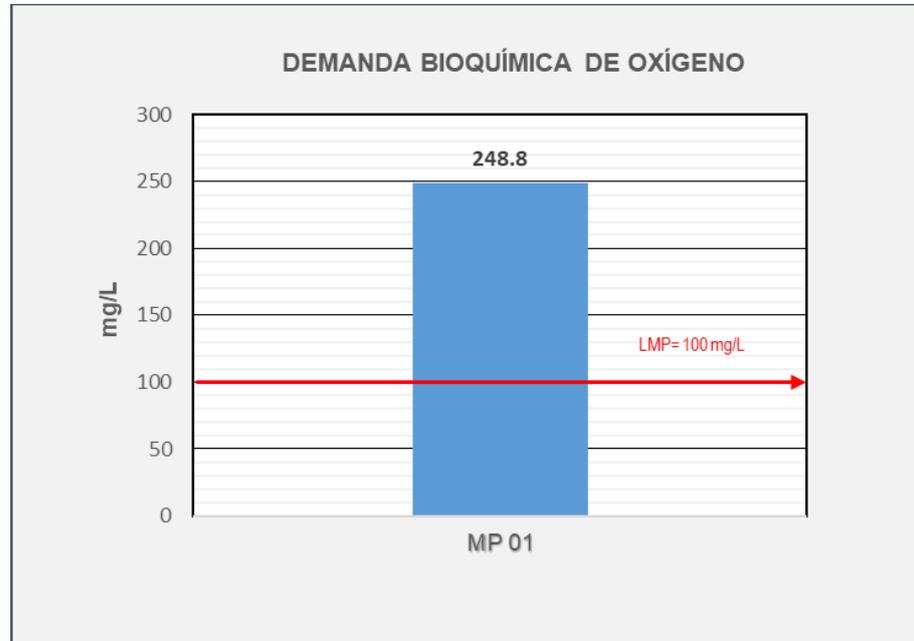
Evaluación del parámetro sólidos totales en el proceso unitario de la cámara de rejas de la PTAR



Nota: Sólidos totales en el pretratamiento – cámara de rejas.

Figura 17

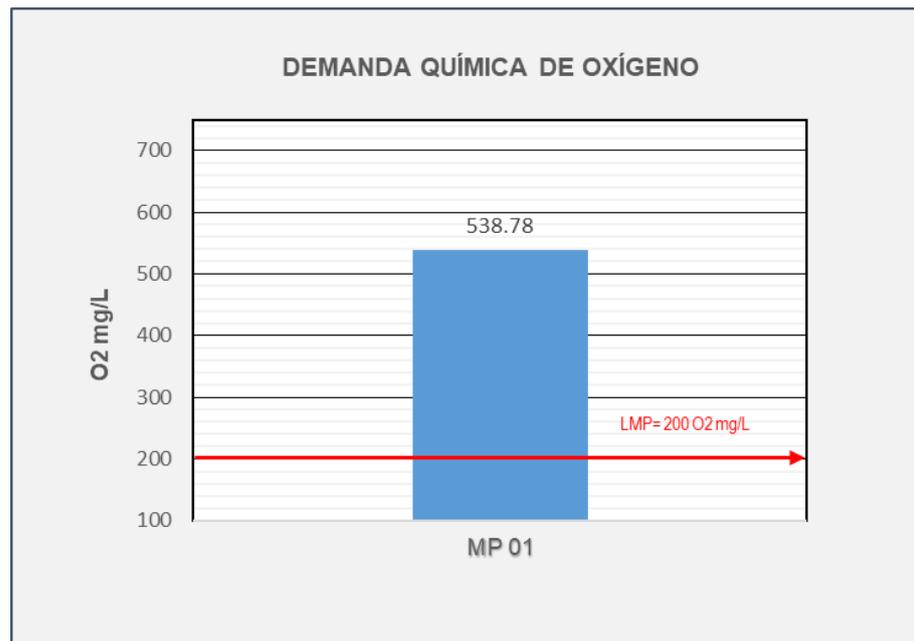
Evaluación del parámetro demanda bioquímica de oxígeno en el proceso unitario de la cámara de rejillas de la PTAR



Nota: DBO en el pretratamiento – cámara de rejillas.

Figura 18

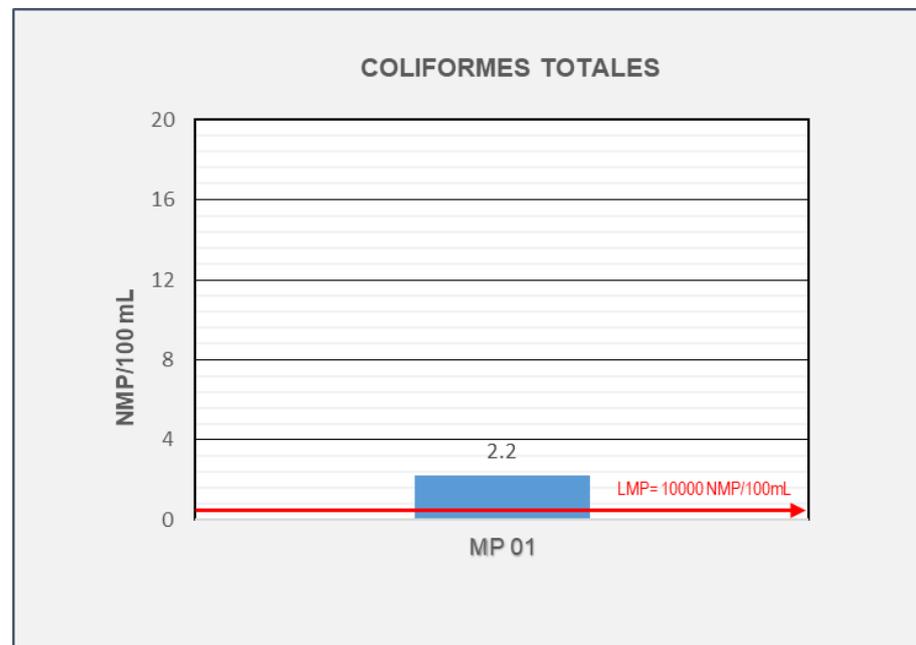
Evaluación del parámetro DQO en el proceso unitario de la cámara de rejillas



Nota: DQO en el pretratamiento – cámara de rejillas.

Figura 19

Evaluación del parámetro coliformes totales en la cámara de rejillas



Nota: Coliformes totales en el pretratamiento – cámara de rejillas.

Para la evaluación de la eficiencia del proceso unitario del pretratamiento, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada, el cual corresponde al afluente de la PTAR muestra código MC-01 y como carga contaminante de salida sería la muestra con código MP - 01, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en el pretratamiento para los siguientes parámetros son: sólidos totales de 79.92%, DBO de 1.93%, DQO de 1.30%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera los parámetros de grasas y aceites con una eficiencia de remoción de -30.60% y coliformes totales de -13.64%, donde se evidencia el aumento de la carga contaminante, generando el incumplimiento de los límites máximos permisibles.

4.2.4. Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en el desgrasador.

Tabla 7

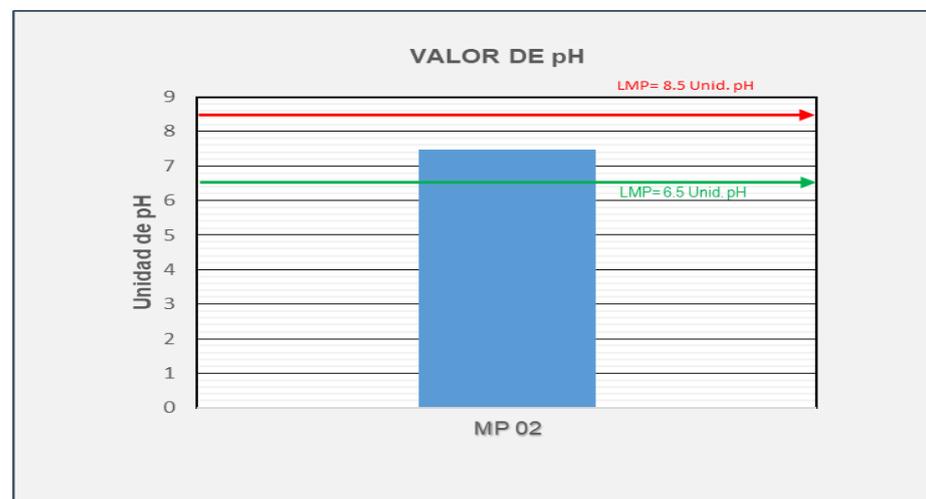
Resultados de la caracterización para el desgrasador de la PTAR.

MP-02			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	7.47
Conductividad eléctrica	Termómetro	$\mu\text{S}/\text{cm}$	18.53
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	493.35
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	258.80
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	9.81
Sólidos totales	Incineración	mg/L	252.01
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	1.9
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para el pretratamiento de la PTAR, desgrasador.

Figura 20

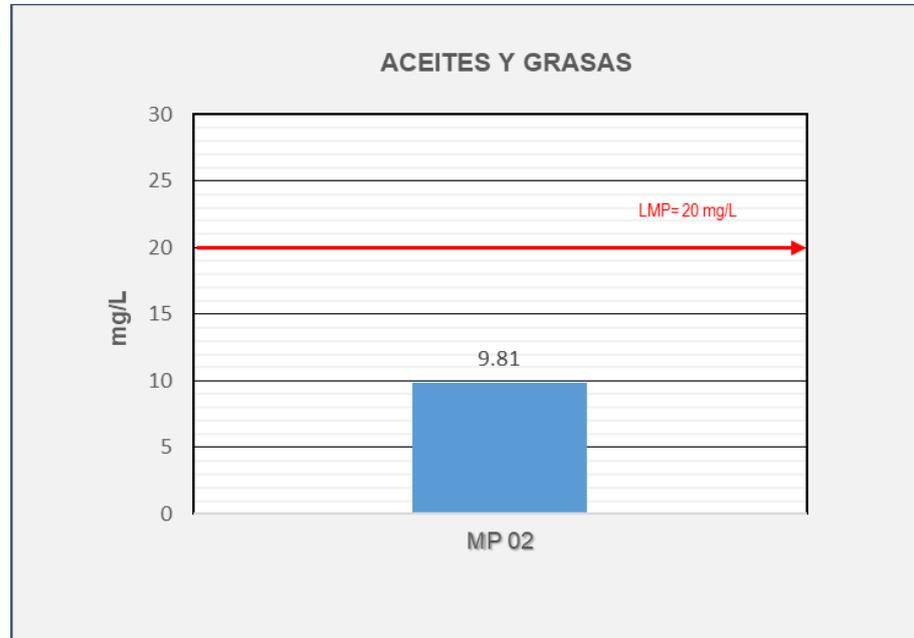
Evaluación del parámetro pH en el proceso unitario del desgrasador.



Nota: pH en el pretratamiento – desgrasador.

Figura 21

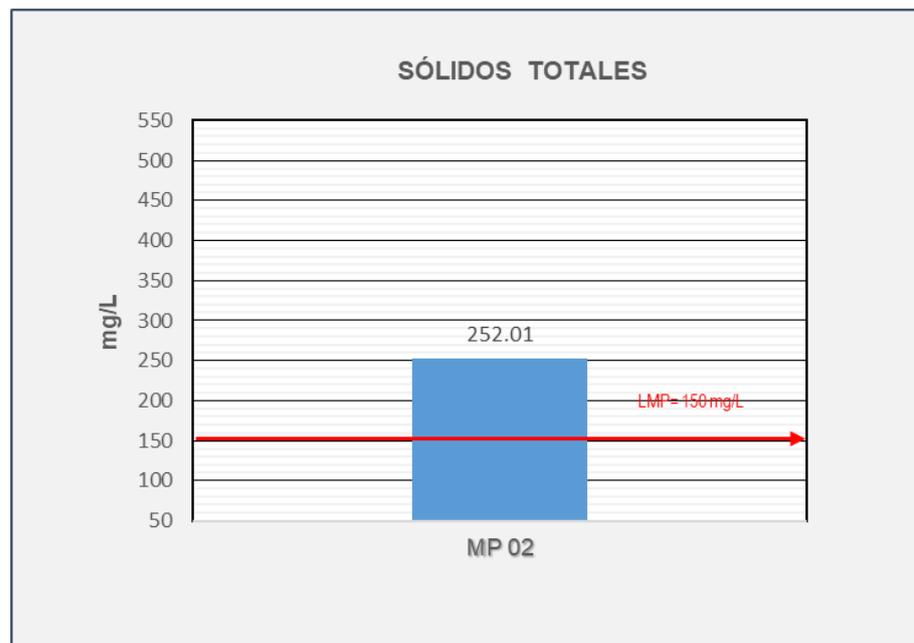
Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario del desgrasador de la PTAR



Nota: Aceites y grasas en el pretratamiento – desgrasador.

Figura 22

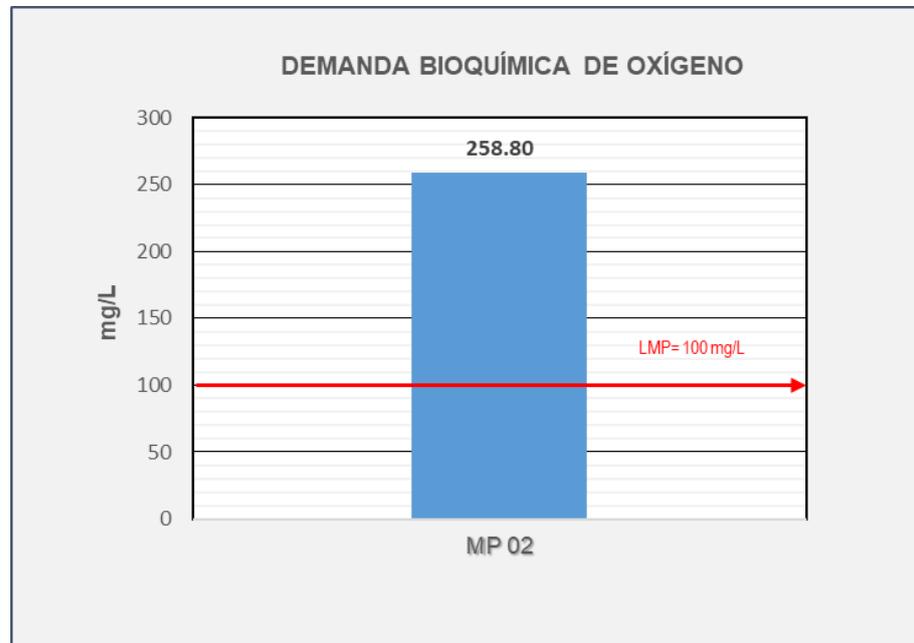
Evaluación de sólidos totales en el proceso unitario del desgrasador



Nota: Sólidos totales en el pretratamiento – desgrasador.

Figura 23

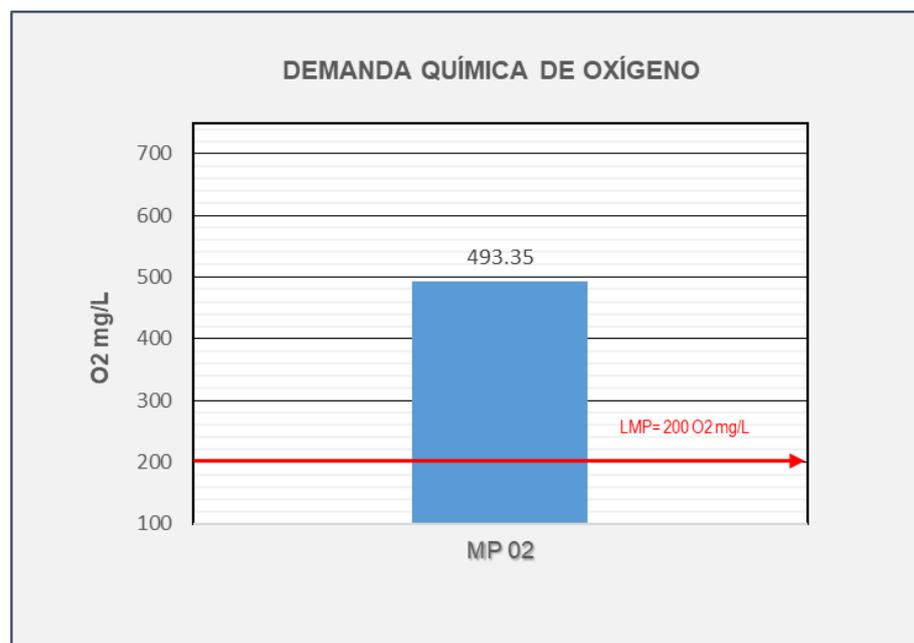
Evaluación de DBO en el proceso unitario del desgrasador



Nota: DBO en el pretratamiento – desgrasador.

Figura 24

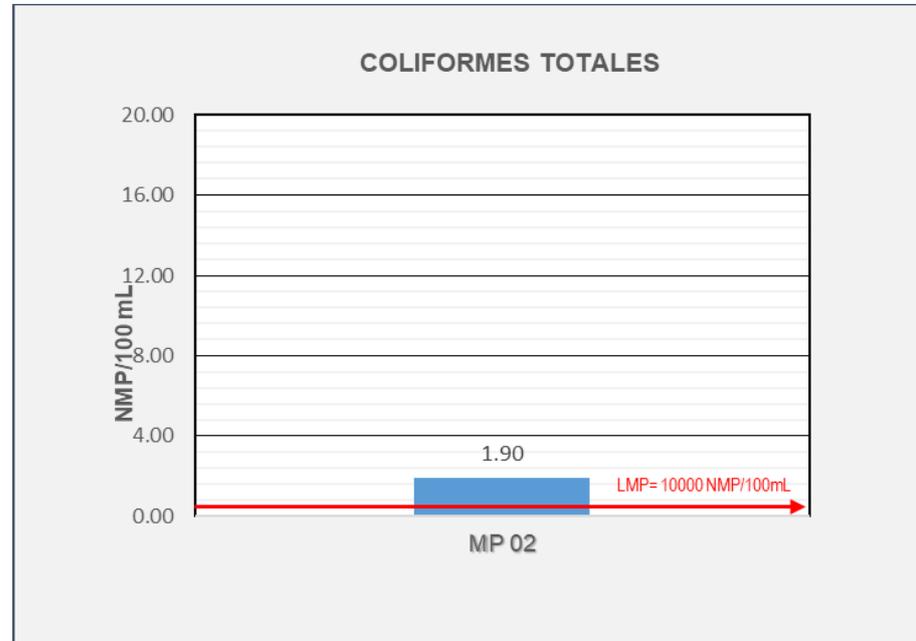
Evaluación de DQO en el proceso unitario del desgrasador de la PTAR



Nota: DQO en el pretratamiento – desgrasador.

Figura 25

Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario del desgrasador



Nota: Coliformes totales en el pretratamiento – desgrasador.

Según la tabla 07 y las figuras 20, 21, 22, 23, 24 y 25, para la evaluación de la eficiencia del proceso unitario del desgrasador, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada del proceso, el cual corresponde a la muestra de la salida de la cámara de rejillas, muestra código MP - 01 y como carga contaminante de salida es la que se ubica posterior al proceso unitario en mención, muestra código MP -02, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en el desgrasador para los siguientes parámetros son: sólidos totales de 5.54%, aceites y grasas de 22.02%, DQO de 8.43% y coliformes totales de 13.64%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera la DBO con una eficiencia de remoción de -4.02% donde se evidencia el aumento de la carga contaminante presente.

4.2.5. Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en el sedimentador primario

Tabla 8

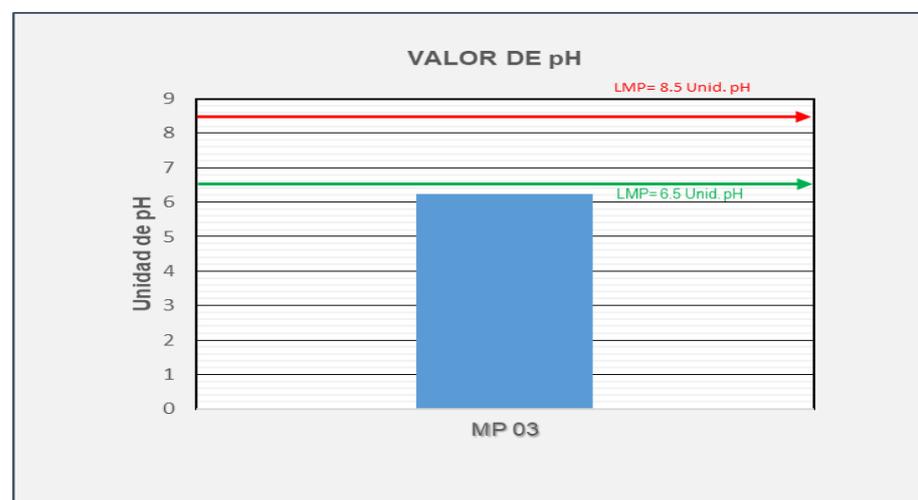
Resultados de la caracterización del sedimentador primario y secundario de la PTAR.

MP-03			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	6.25
Conductividad eléctrica	Termómetro	μS/cm	35.90
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	470.55
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	266.78
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	1.45
Sólidos totales	Incineración	mg/L	248.80
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	1.9
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para los sedimentadores de la PTAR.

Figura 26

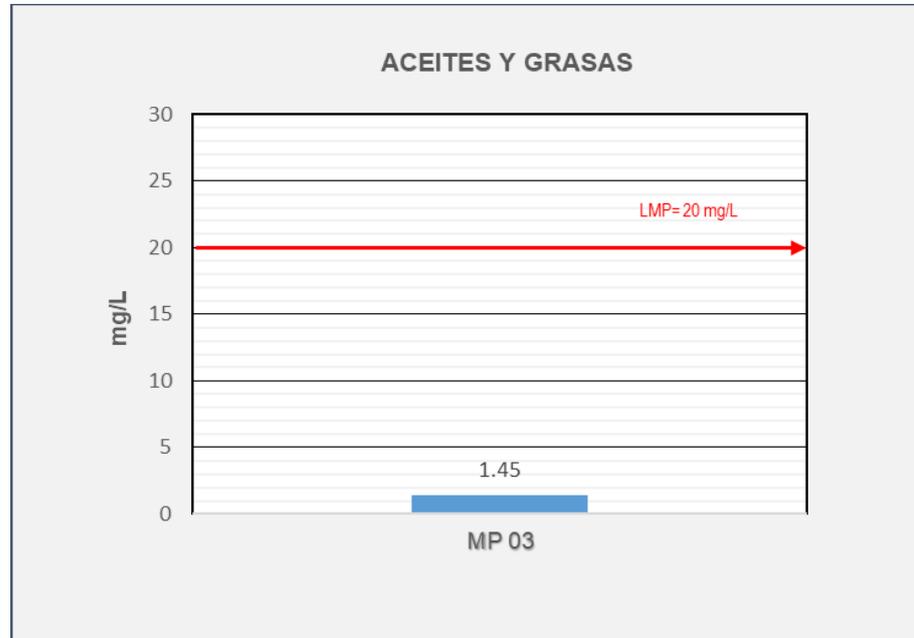
Evaluación del parámetro pH en el sedimentador primario y secundario



Nota: pH en los sedimentadores de la PTAR.

Figura 27

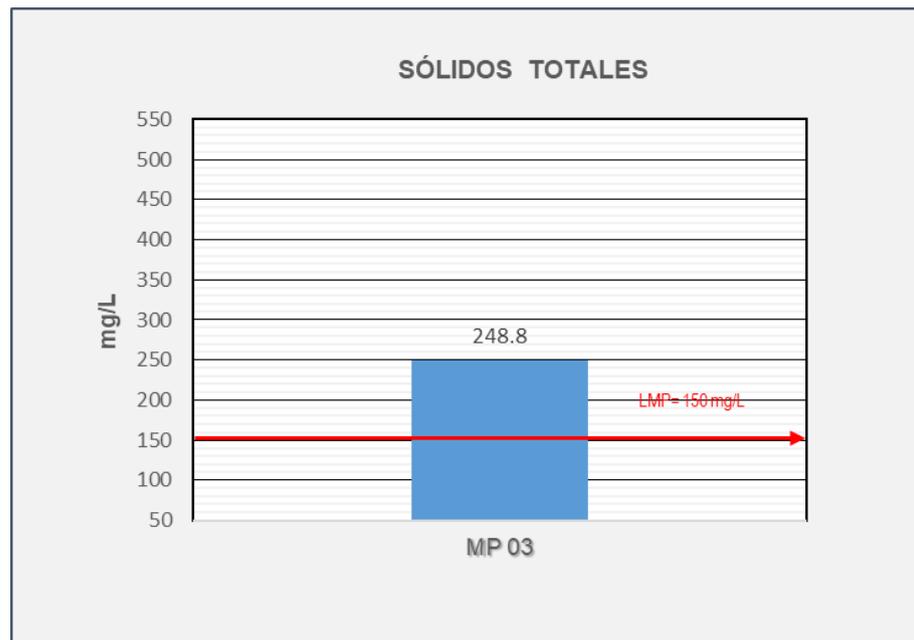
Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario del sedimentador primario



Nota: Aceites y grasas en los sedimentadores de la PTAR.

Figura 28

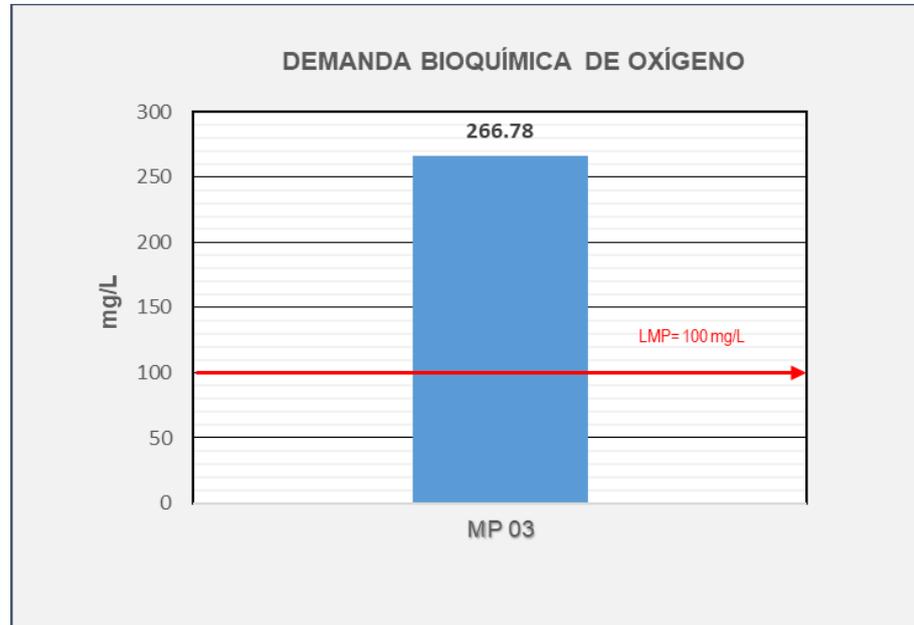
Evaluación de los sólidos totales en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario



Nota: Sólidos totales en los sedimentadores de la PTAR.

Figura 29

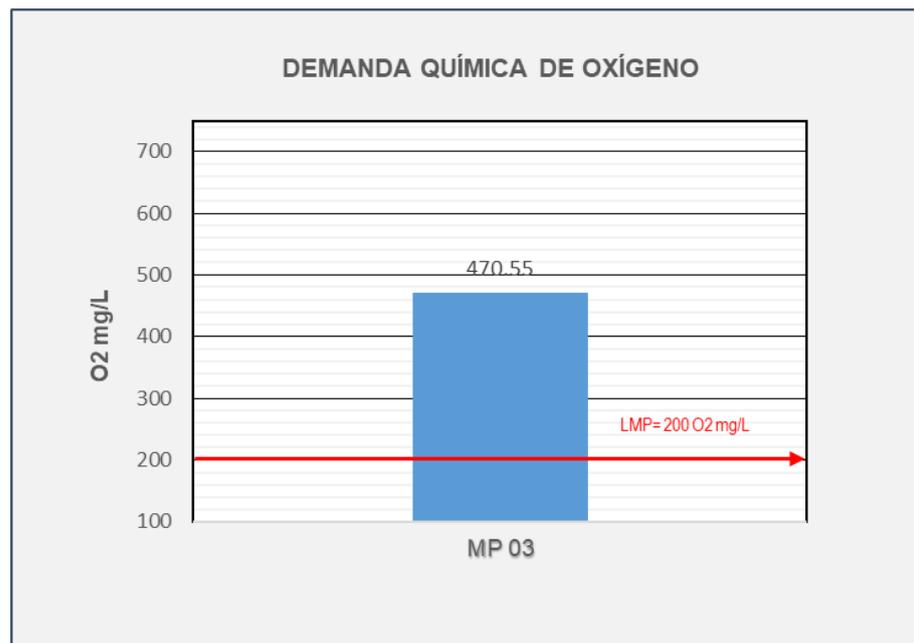
Evaluación del DBO en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario de la PTAR



Nota: DBO en los sedimentadores de la PTAR.

Figura 30

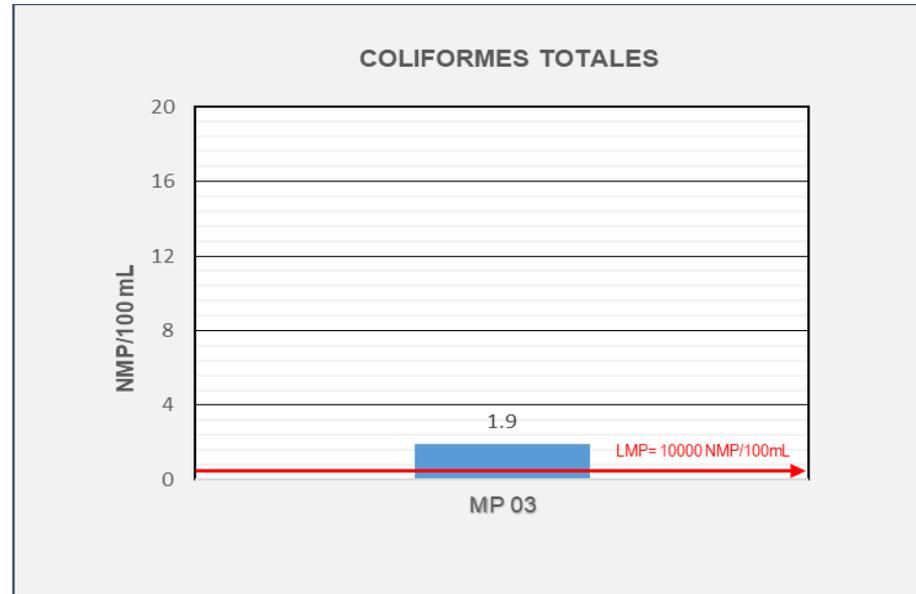
Evaluación del DQO en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario de la PTAR



Nota: DQO en los sedimentadores de la PTAR.

Figura 31

Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario del sedimentador primario y secundario



Nota: Coliformes totales en los sedimentadores de la PTAR.

Según la tabla 8 y las figuras 26, 27, 28, 29, 30 y 31, para la evaluación de la eficiencia del sedimentador primario y secundario, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada del proceso, el cual corresponde a la muestra de la salida del desgrasador, muestra código MP - 02 y como carga contaminante de salida es la que se ubica posterior al proceso unitario, muestra código MP -03, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en el sedimentador primario para los siguientes parámetros son: sólidos totales de 1.27%, aceites y grasas de 85.22%, DQO de 4.62%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera la DBO con una eficiencia de remoción de -3.082% donde se evidencia el aumento de la carga contaminante presente.

4.2.6. Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en los filtros verticales.

Tabla 9

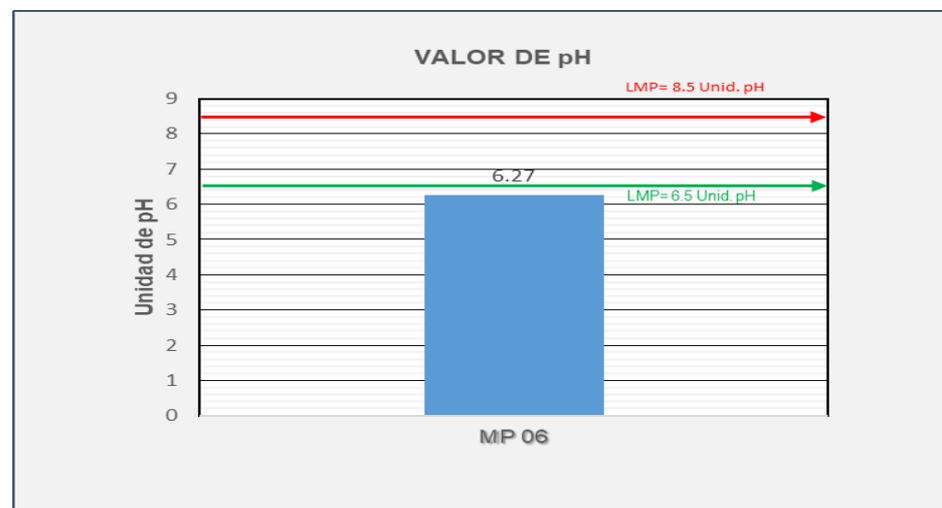
Resultados de la caracterización de los filtros verticales.

MP-06			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	6.27
Conductividad eléctrica	Termómetro	μS/cm	57.70
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	451.81
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	251.20
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	5.71
Sólidos totales	Incineración	mg/L	204.78
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	4.4
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para los filtros verticales de la PTAR.

Figura 32

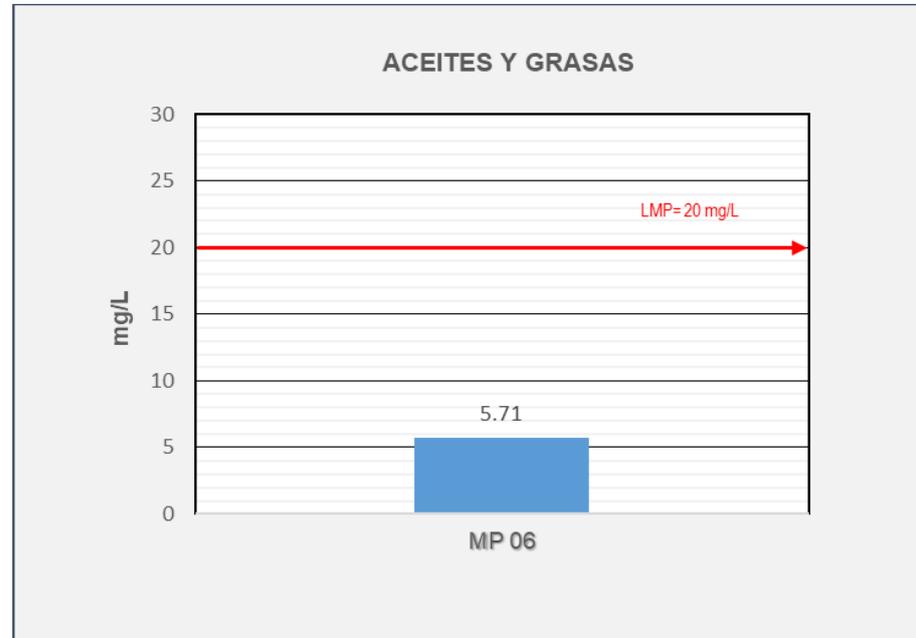
Evaluación del pH en el proceso unitario de los filtros verticales.



Nota: pH en los filtros verticales.

Figura 33

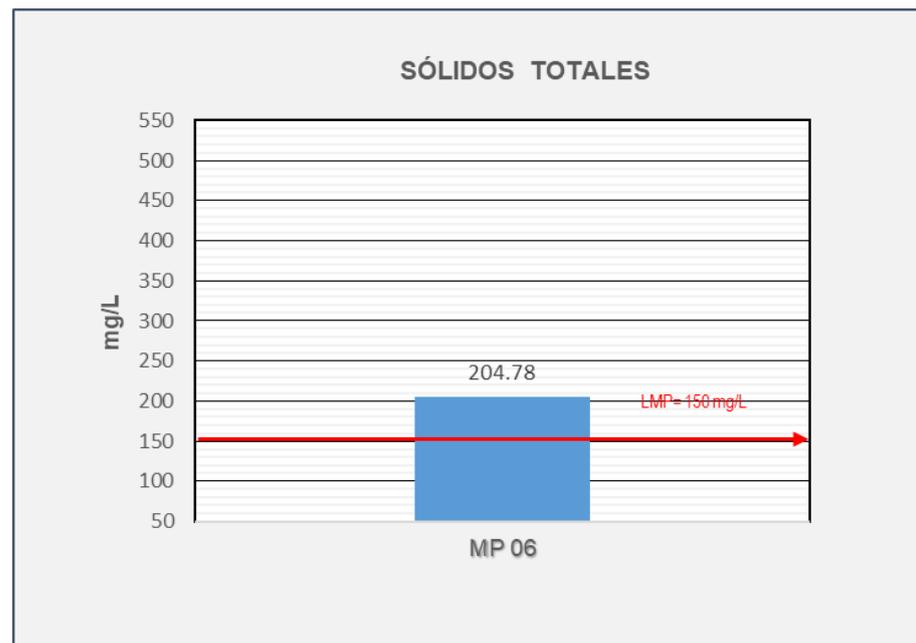
Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario de los filtros verticales



Nota: Aceites y grasas en los filtros verticales.

Figura 34

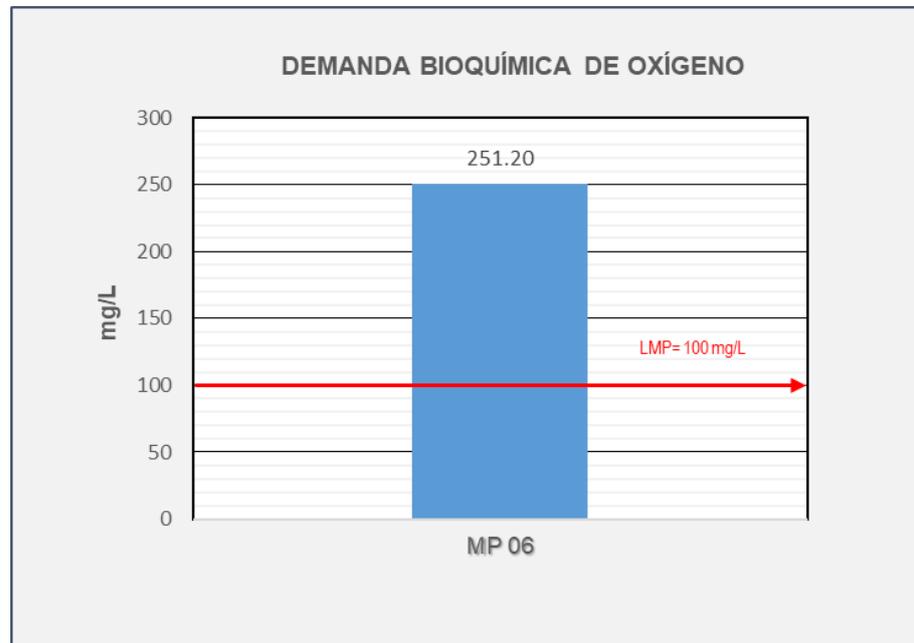
Evaluación de los sólidos totales en el proceso unitario de los filtros verticales



Nota: Sólidos totales en los filtros verticales.

Figura 35

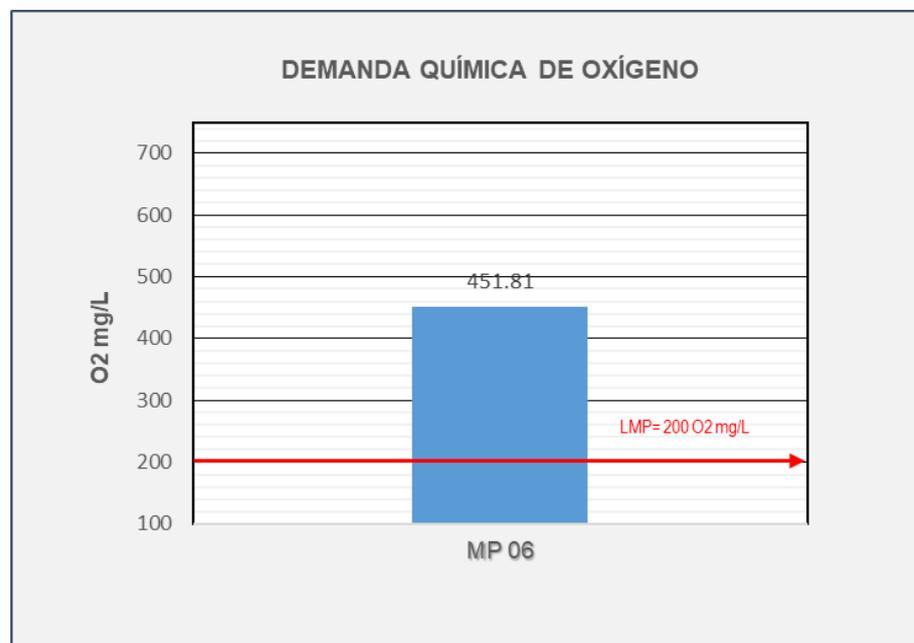
Evaluación del DBO en el proceso unitario de los filtros verticales



Nota: DBO en los filtros verticales.

Figura 36

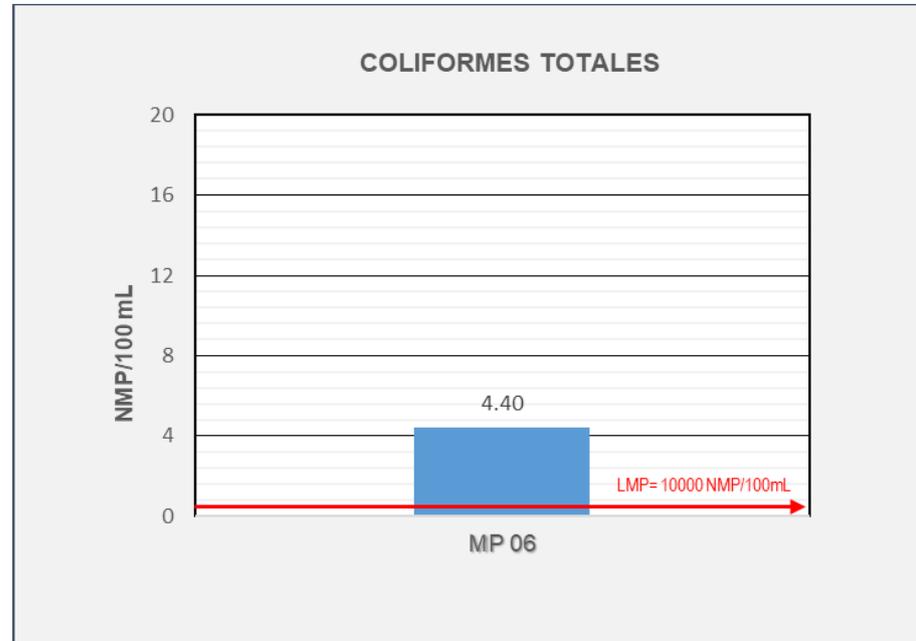
Evaluación del DQO en el proceso unitario de los filtros verticales



Nota: DQO en los filtros verticales.

Figura 37

Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario de los filtros verticales



Nota: Coliformes totales en los filtros verticales.

Según la tabla 9 y las figuras 32, 33, 34, 35, 36 y 37, para la evaluación de la eficiencia de los filtros verticales, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada del proceso, el cual corresponde a la muestra de la salida del sedimentador secundario, muestra código MP - 03 y como carga contaminante de salida es la que se ubica posterior al proceso unitario, muestra código MP -06, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en los filtros verticales para los siguientes parámetros son: sólidos totales de 17.69%, DBO de 5.84%, DQO de 3.98%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera los parámetros de grasas y aceites con una eficiencia de remoción de -293.79% donde se evidencia el aumento de la carga contaminante presente.

4.2.7. Evaluación de la eficiencia en la remoción de contaminantes en el reactor biológico.

Tabla 10

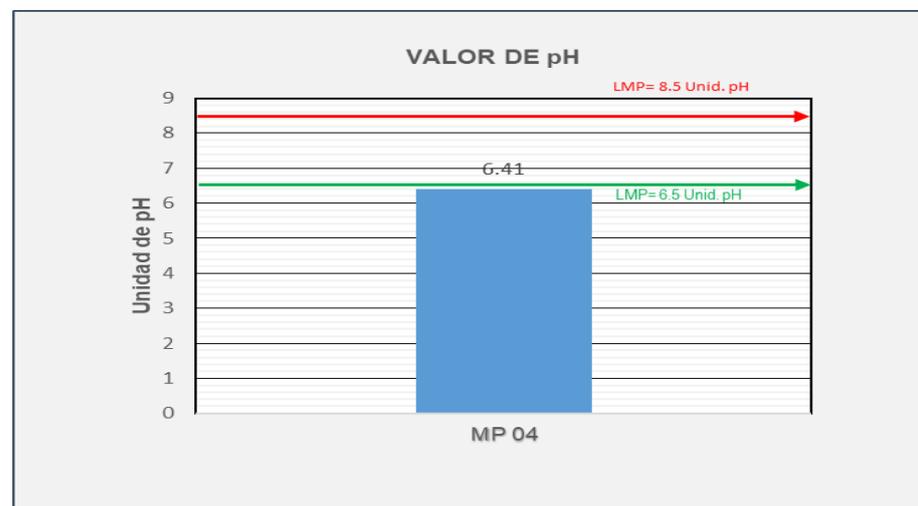
Resultados de la caracterización para el reactor biológico.

MP-04			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Lixiviado
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	6.41
Conductividad eléctrica	Termómetro	μS/cm	78.1
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	422.97
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	166.15
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	10.25
Sólidos totales	Incineración	mg/L	238.95
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para el reactor biológico de la PTAR.

Figura 38

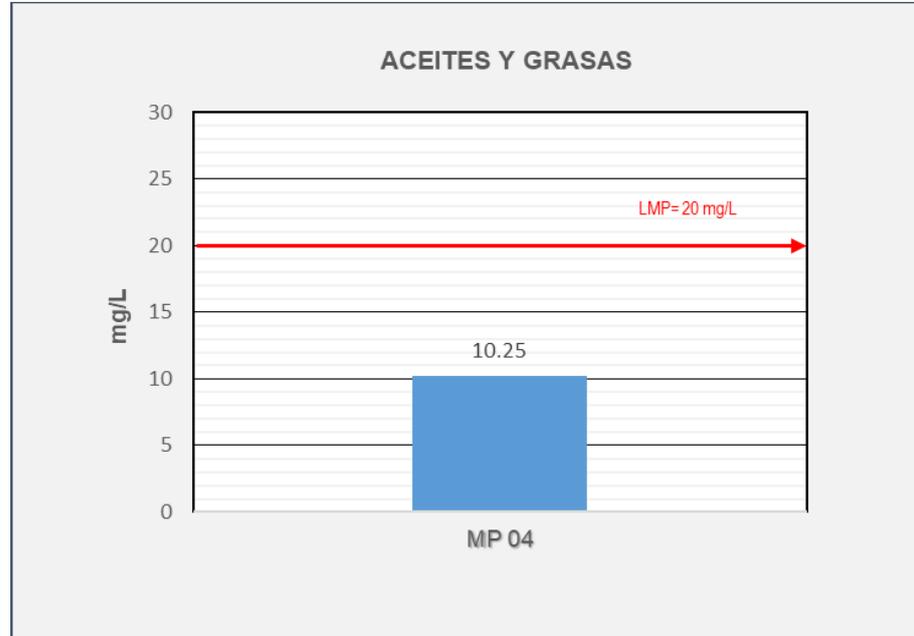
Evaluación del pH en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: pH en el reactor biológico de la PTAR.

Figura 39

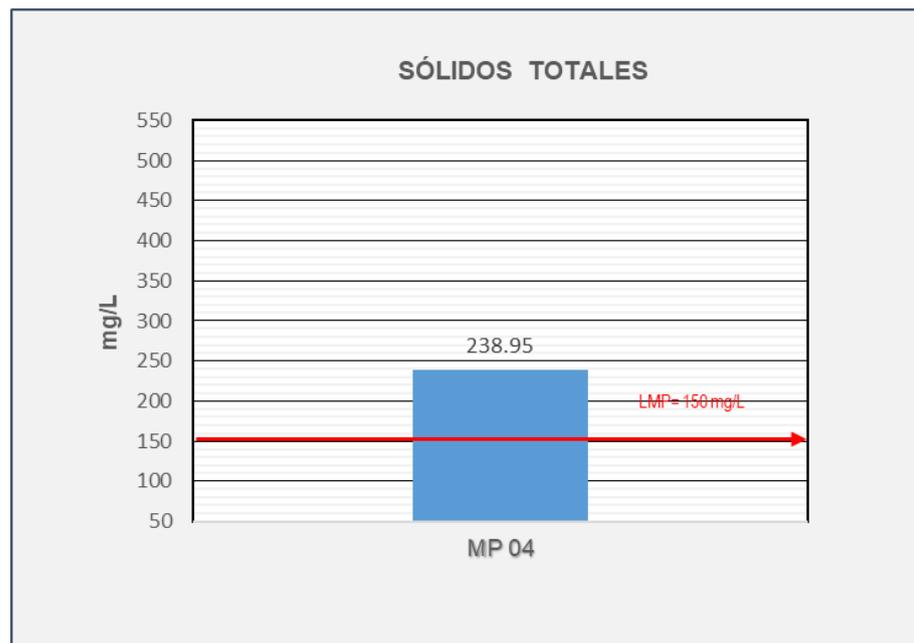
Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: Aceites y grasas en el reactor biológico de la PTAR.

Figura 40

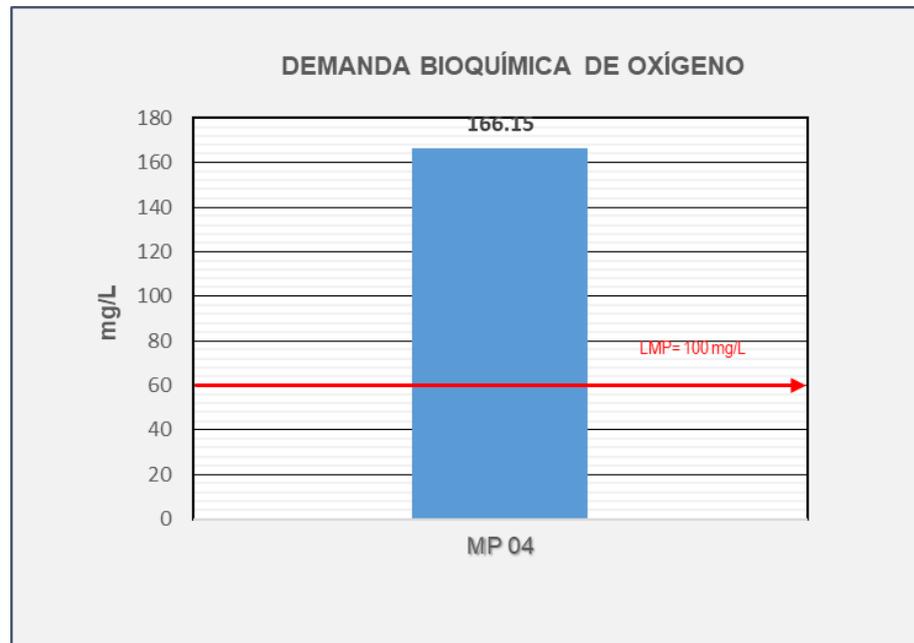
Evaluación de los sólidos totales en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: Sólidos totales en el reactor biológico de la PTAR.

Figura 41

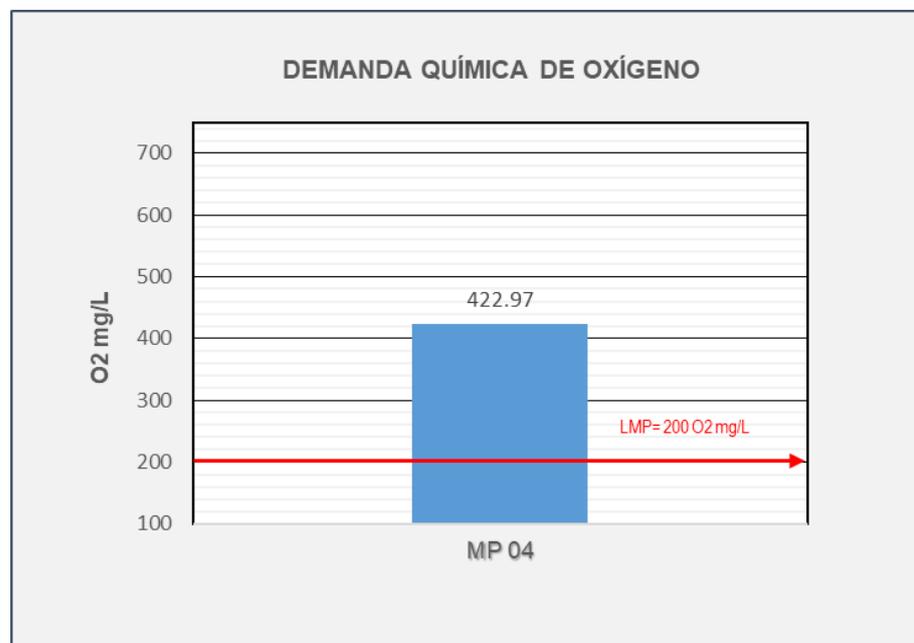
Evaluación del DBO en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: DBO en el reactor biológico de la PTAR.

Figura 42

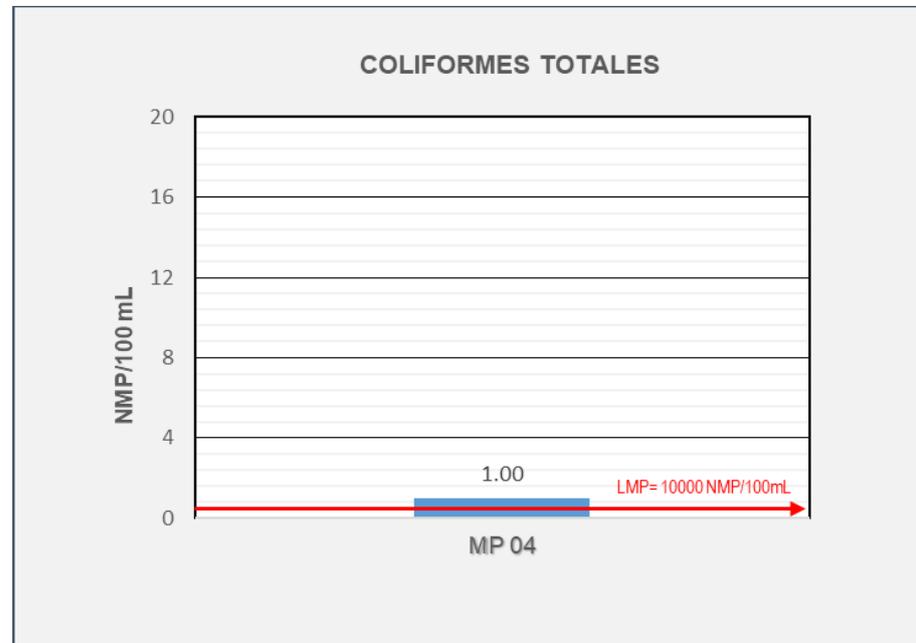
Evaluación del DQO en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: DQO en el reactor biológico de la PTAR.

Figura 43

Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario del reactor biológico



Nota: Coliformes totales en el reactor biológico de la PTAR.

Según la tabla 10 y las figuras 38, 39, 40, 41, 42 y 43, para la evaluación de la eficiencia del reactor biológico, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada del proceso, el cual corresponde a la muestra de la salida de los filtros verticales, muestra código MP - 06 y como carga contaminante de salida es la que se ubica posterior al proceso unitario, muestra código MP -04, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en el reactor biológico para los siguientes parámetros son: DBO de 33.86%, DQO de 6.38% y coliformes totales de 77.27%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera los parámetros de aceites y grasas con una eficiencia de remoción de -79.51% y sólidos totales de -16.69%, donde se evidencia el aumento de la carga contaminante.

4.2.8. Evaluación de la eficiencia en la remoción de los contaminantes en la nave de macrofitas

Tabla 11

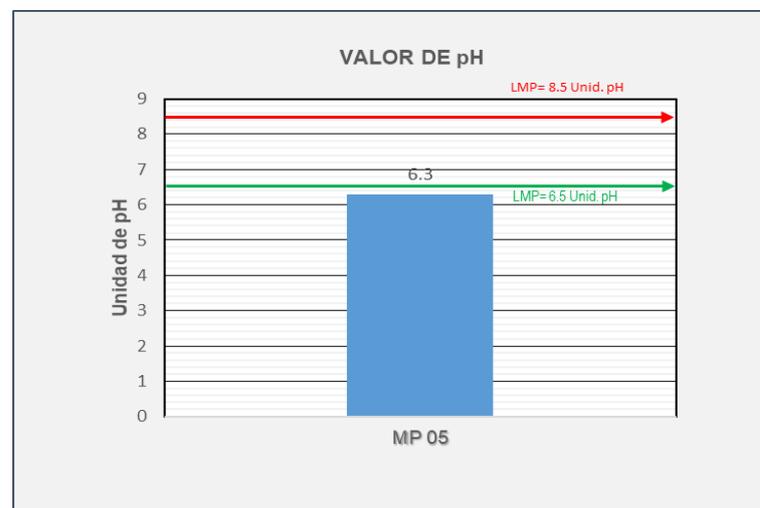
Resultados de la caracterización para la nave de macrofitas

MP-05			
Parámetros físico químicos	Método analítico	Unidad	Valor
Potencial de Hidrógeno	Electrométrico	pH	6.30
Conductividad eléctrica	Termómetro	μS/cm	58.70
Demanda química de oxígeno (DQO)	Digestión cerrada	mg/L	324.05
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)	Digestión cerrada	mg/L	134.60
Aceites y grasas	Soxlet	mg/L	9.81
Sólidos totales	Incineración	mg/L	211.15
Parámetros microbiológicos			
Coliformes totales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	1.9
Coliformes fecales	UFC/100 ml	UFC/100 ml	<1

Nota: Resultados de la caracterización para la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 44

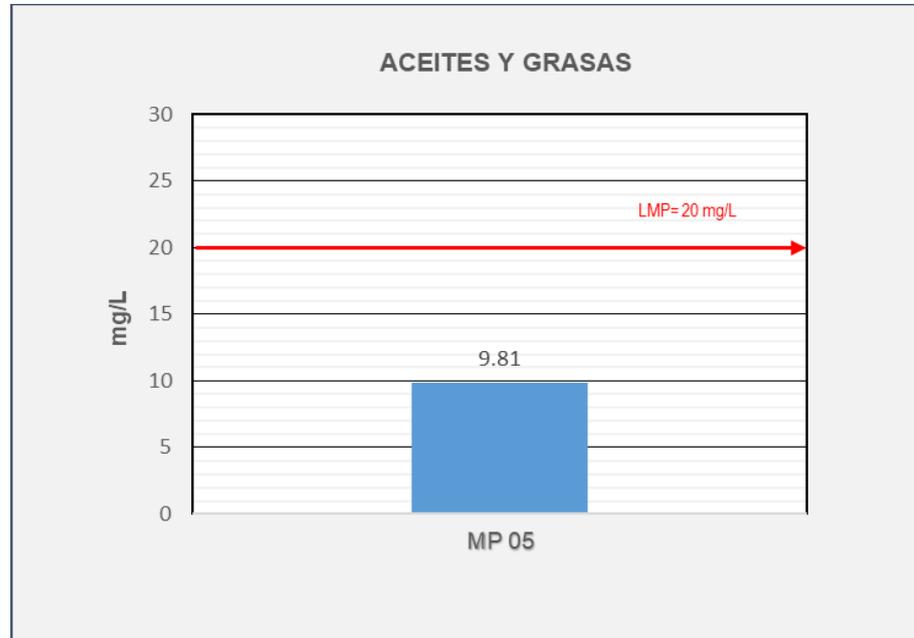
Evaluación del pH en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: pH en la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 45

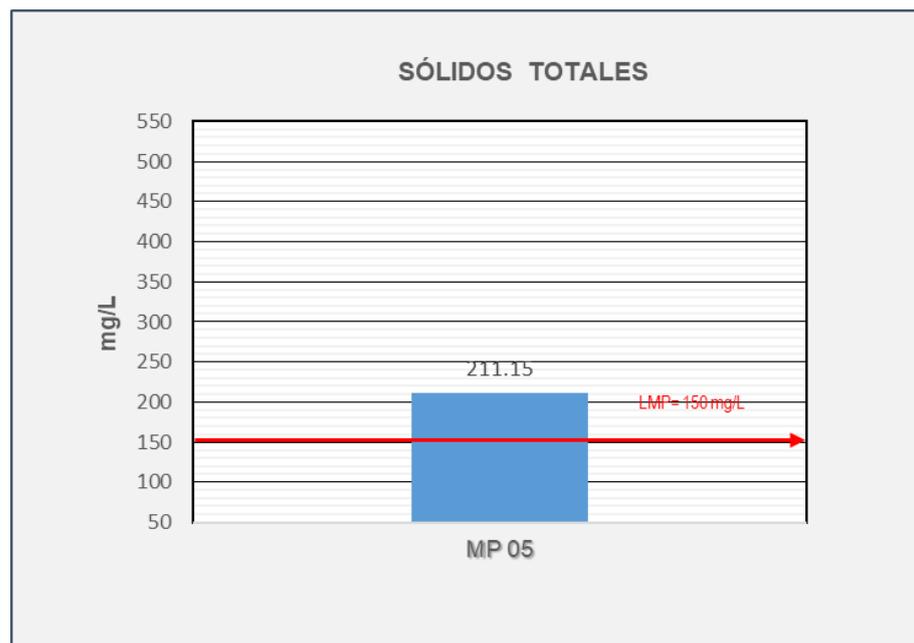
Evaluación de aceites y grasas en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: Aceites y grasas en la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 46

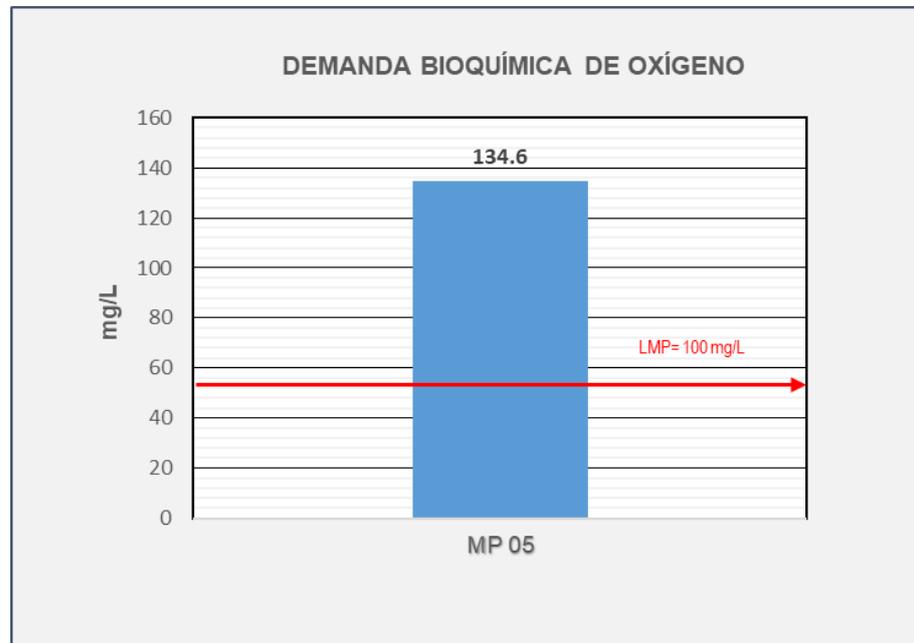
Evaluación de los sólidos totales en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: Sólidos totales en la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 47

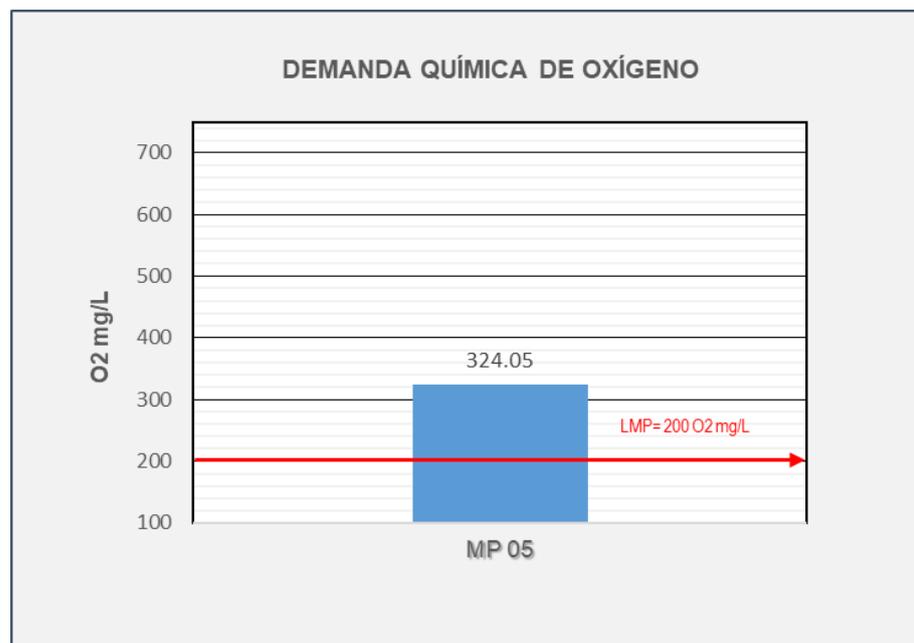
Evaluación del DBO en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: DBO en la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 48

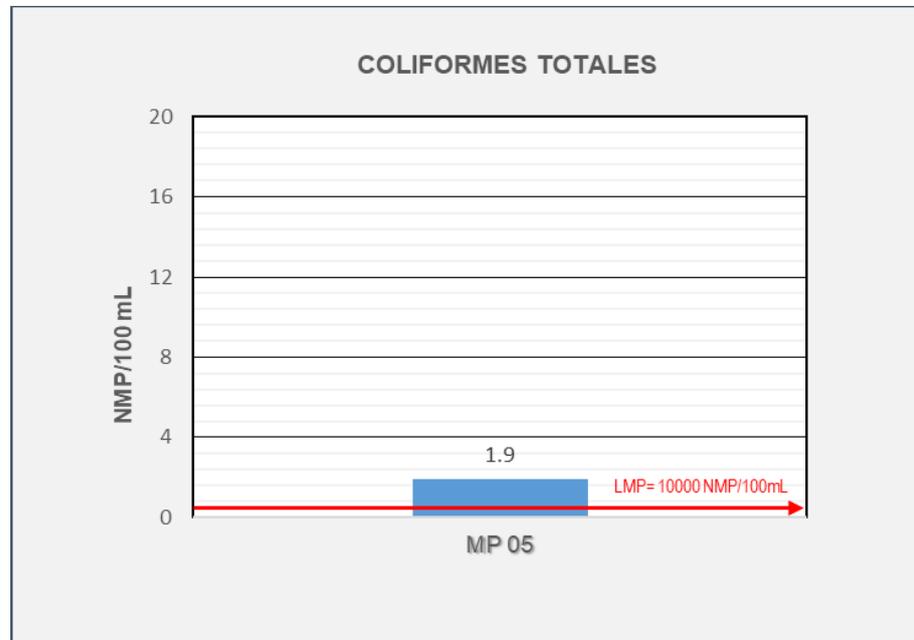
Evaluación del DQO en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: DQO en la nave de macrofitas de la PTAR.

Figura 49

Evaluación de los coliformes totales en el proceso unitario de nave de macrofitas



Nota: Coliformes totales en la nave de macrofitas de la PTAR.

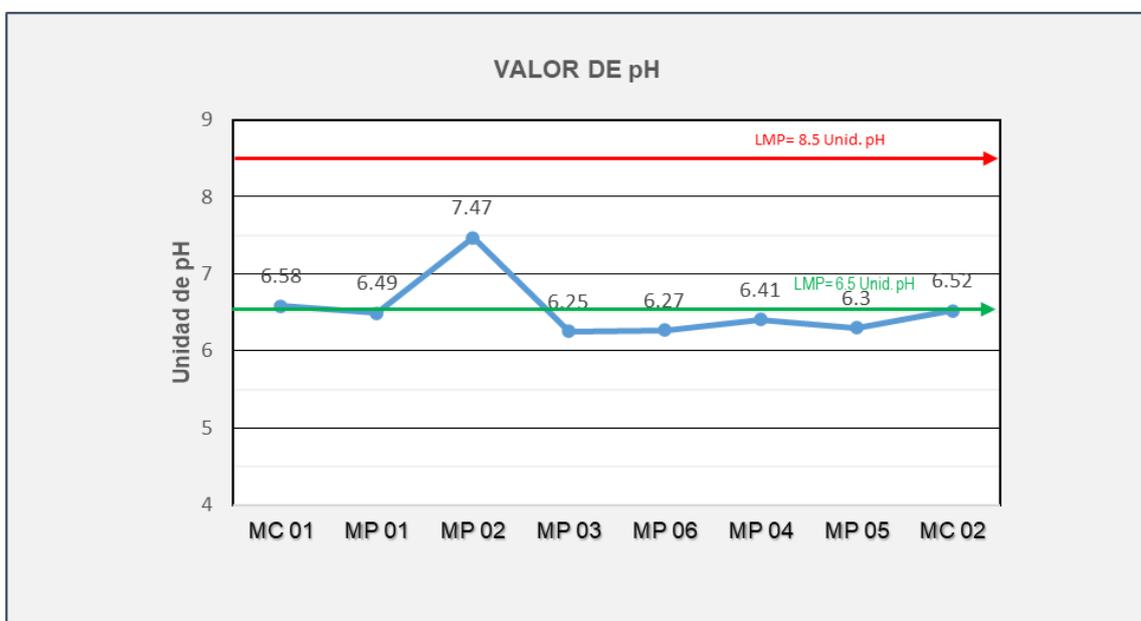
Según la tabla 11 y las figuras 44, 45, 46, 47, 48 y 49, para la evaluación de la eficiencia de la nave de macrofitas, se usó como carga contaminante el muestreo realizado a la entrada del proceso, el cual corresponde a la muestra de la salida del reactor biológico, muestra código MP - 04 y como carga contaminante de salida es la que se ubica posterior al proceso unitario en mención, muestra código MP -06, los resultados de la eficiencia de remoción de contaminantes en la nave de macrofitas para los siguientes parámetros son: sólidos totales de 11.63%, DBO de 18.99%, DQO de 23.39% y aceites y grasas de 4.29%, así mismo, el proceso unitario no cumple y hasta altera el parámetro de coliformes totales con una eficiencia de remoción de -90%, donde se evidencia el aumento de la carga contaminante.

4.2.9. Resultados de los muestreos según parámetro evaluado

El pH según los límites máximos permisibles, debe tener un valor mínimo de 6.5 pH y un máximo de 8.5 pH para su vertimiento, según el muestreo, el agua residual al ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales posee un pH de 6.58 lo cual es considerado apto para su vertimiento, sin embargo, a través de los procesos unitarios fue decreciendo su valor estando por debajo del umbral que establece los LMP para el caso de los procesos unitarios: Pretratamiento, filtros verticales, digestor de lodos, reactor biológico y nave de macrofitas, pero cabe precisar que para el efluente de la PTAR su valor es 6.52 pH el cual se considera dentro del intervalo aceptable para su vertimiento del agua residual tratada.

Figura 50

Variación del pH a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.



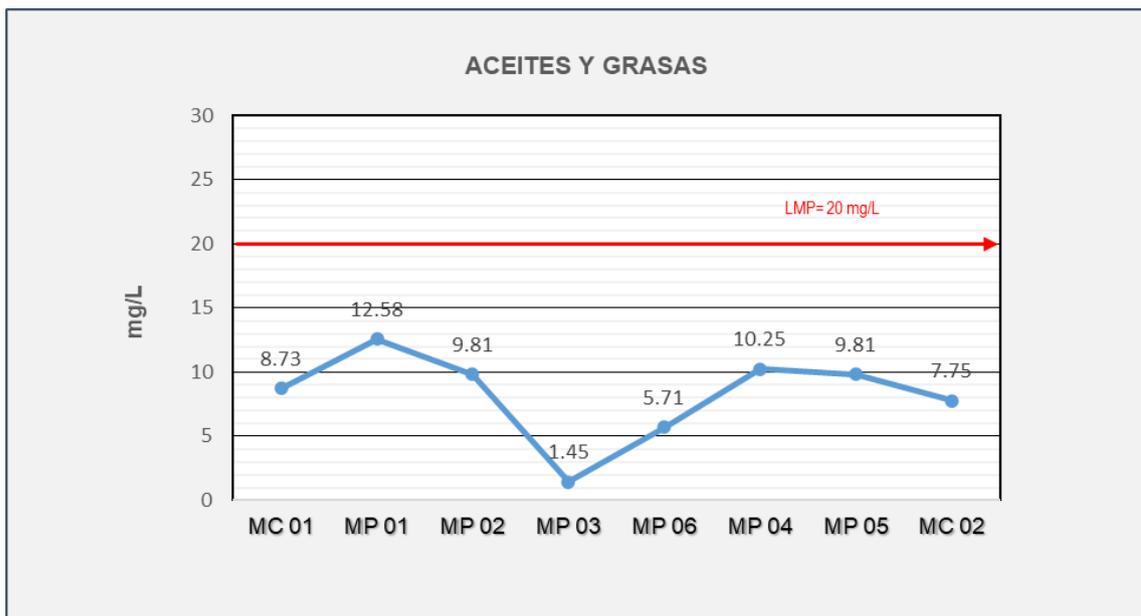
Nota: Variación del pH en el tren de tratamiento de la PTAR.

Los aceites y grasas según los límites máximos permisibles, debe tener un valor mínimo de 20 mg/L para su vertimiento, según el muestreo, el agua residual

al ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales posee un valor de 8.73 mg/L, lo cual es considerado apto para su vertimiento, y de la misma manera, a través de los procesos unitarios fue variando su valor, sin embargo, este se mantuvo dentro del umbral que establece los LMP, se debe enfatizar que para la muestra MP 03 correspondiente a la salida del sedimentador secundario, se reduce hasta el valor de 1.45 mg/L, lo cual demuestra la eficiencia del sedimentador, sin embargo posteriormente se aprecia que los siguientes procesos unitarios empieza a aumentar.

Figura 51

Variación del parámetro de aceites y grasas a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.



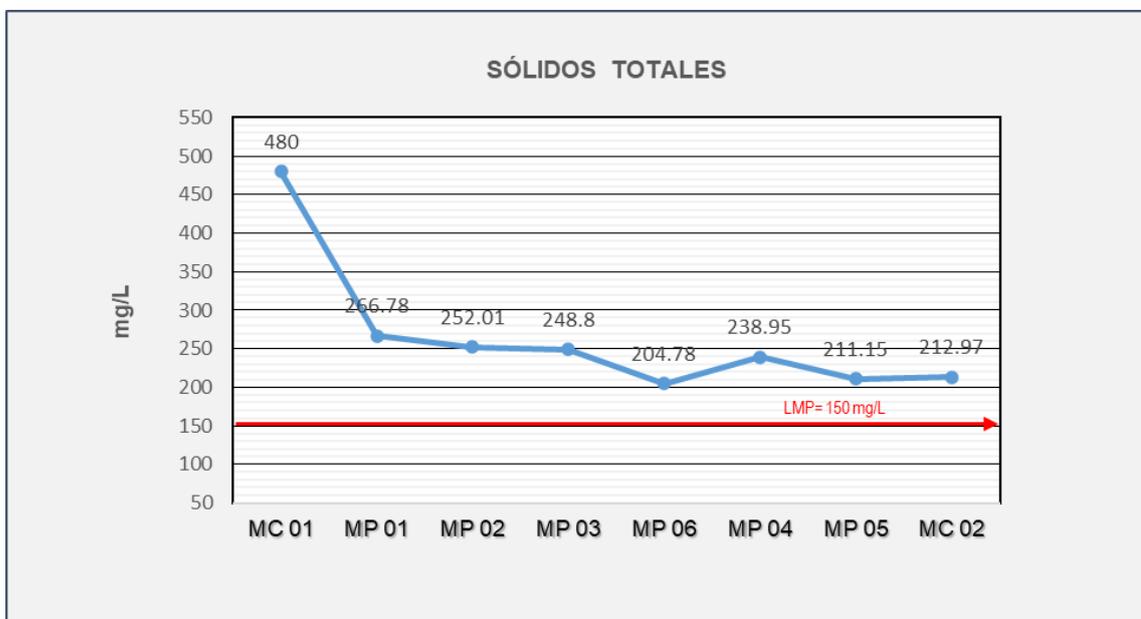
Nota: Variación de los aceites y grasas en el tren de tratamiento de la PTAR.

Acercas de los sólidos totales según los límites máximos permisibles, debe tener un valor mínimo de 150 mg/L para su vertimiento, según el muestreo, el agua residual al ingresar a la planta de tratamiento de aguas residuales posee un valor de 480 mg/L, lo cual es considerado no apto para su vertimiento, sin embargo, al pasar el pretratamiento, se evidencia una disminución considerada al

poseer un valor de 266.78 mg/L, lo cual se infiere que un buen porcentaje de los sólidos totales son arenas las cuales quedan retenidas en el desarenador de la PTAR, consecuentemente, a través de los siguientes procesos unitarios el valor fue variando, hasta alcanzar 212.97 mg/L en el efluente de la PTAR, lo cual sigue considerándose no apto para su vertimiento al no cumplir con los LMP.

Figura 52

Variación del parámetro de aceites y grasas a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.



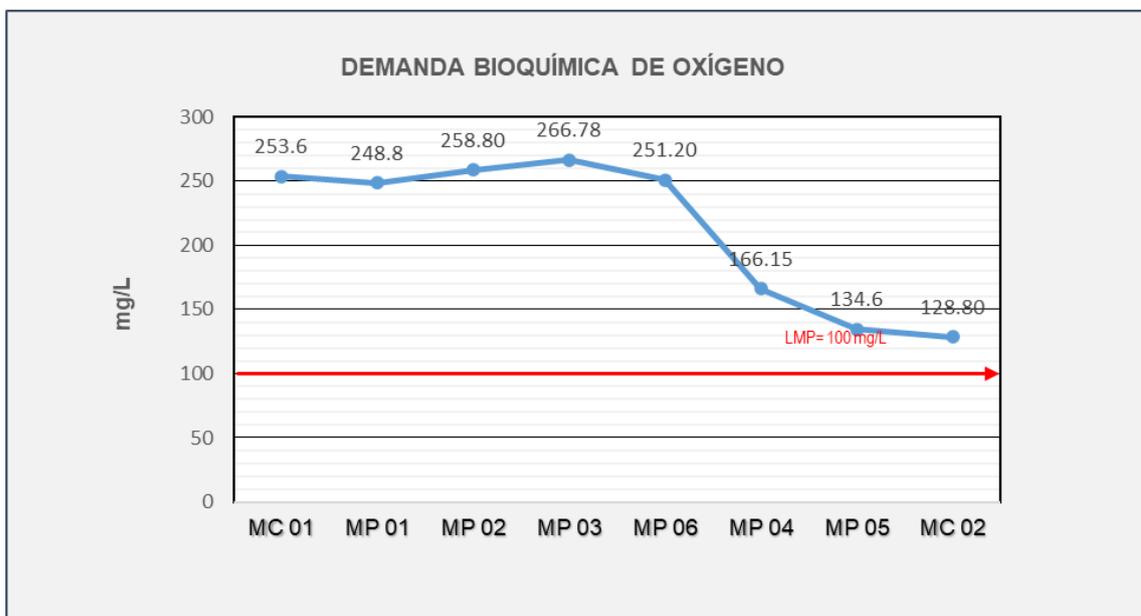
Nota: Variación de los sólidos totales en el tren de tratamiento de la PTAR.

La demanda bioquímica de oxígeno, según los LMP, debe tener un valor mínimo de 100 mg/L para su vertimiento, para el muestreo realizado, el agua residual ingresa a la PTAR con un valor de 253.6 mg/L, el cual se considera característico de las aguas residuales domésticas, este valor no está dentro del umbral que establece los LMP, y a través de los procesos unitarios de la PTAR se evidencia que hasta los filtros verticales, su variación es mínima, lo cual según la bibliografía es correcto, puesto que es en el tratamiento secundario donde se realiza la mayor remoción de este parámetro, para nuestro caso, el tratamiento

secundario es el reactor biológico MP-04 y en la figura 53, se evidencia claramente la disminución de la carga contaminante, llegando a un 166.15 mg/L de DBO, consecuentemente se aprecia que para la nave de macrofitas se disminuye a 134.6 mg/L hasta llegar al efluente de la PTAR de 128.80, lo cual disminuye considerablemente a comparación de la carga contaminante al ingreso, sin embargo aún sigue siendo no apto para su vertimiento.

Figura 53

Variación del DBO a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.



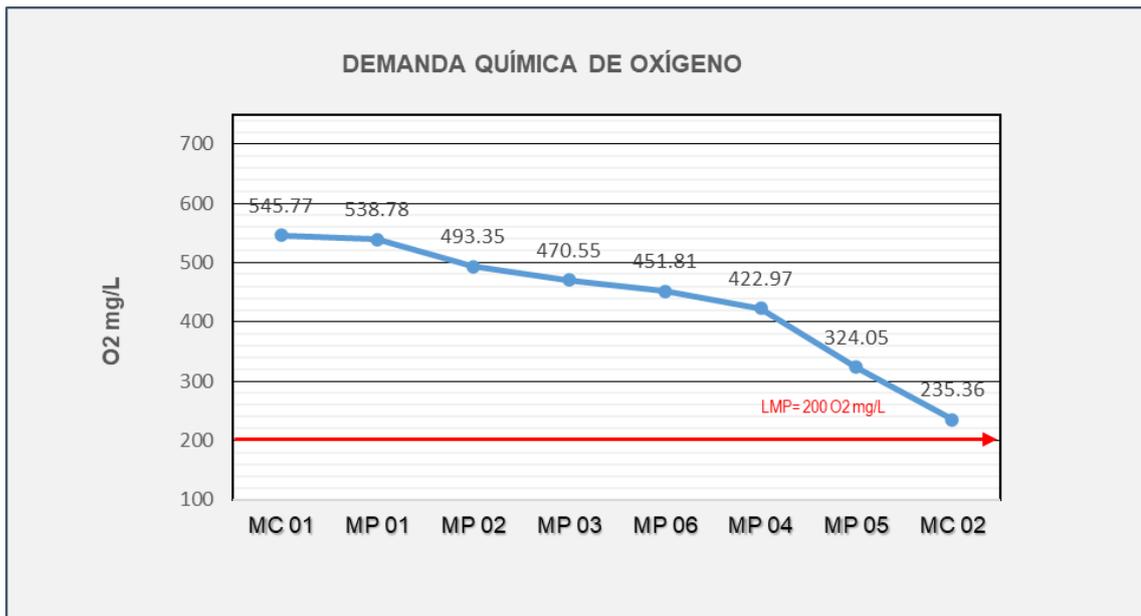
Nota: Variación de la DBO en el tren de tratamiento de la PTAR.

La demanda química de oxígeno, según los LMP, debe tener un valor mínimo de 200 mg/L para su vertimiento, para el muestreo realizado, el agua residual ingresa a la PTAR con un valor de 545.77 mg/L, el cual se considera característico de las aguas residuales domésticas, asimismo se evidencia que su relación con respecto al DBO es 2.15 que corrobora lo indicado previamente, sin embargo, este valor no está dentro del umbral que establece los LMP, y a través de los procesos unitarios de la PTAR se la disminución de la carga contaminante,

llegando a un mínimo de 235.36 mg/L de DQO al efluente de la PTAR, sin embargo aún sigue siendo no apto para su vertimiento.

Figura 54

Variación del DQO a través de los procesos unitarios de la PTAR y su comparación con los límites máximos permisibles.



Nota: Variación de la DQO en el tren de tratamiento de la PTAR.

Acerca de los coliformes totales, según los LMP, debe tener un valor mínimo de 1000 NMP/100mL para su vertimiento, para el muestreo realizado, el agua residual ingresa a la PTAR con un valor de 1900 NMP/100mL, y a través de los procesos unitarios de la PTAR varía, para el efluente de la PTAR se tiene un valor de 4000 NMP/100mL, lo cual no cumple con los LMP, el motivo que asume el tesista es que según la bibliografía estudiada, son los tratamientos secundario y terciario los que usualmente disminuyen los coliformes totales y fecales, sin embargo para el caso de la PTAR del distrito de Ajoyani, no posee tratamiento terciario y su tratamiento secundario son nave de macrofitas de totora, la cual según las visitas a campo se encontraban totalmente marchitadas, sin las plantas

que realización la depuración de los coliformes es lógico el aumento de este parámetro sin lograr su cumplimiento.

4.2. COMPARACIÓN CON LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES

Para comparar los límites máximos permisibles (LMP), se emplearon los resultados obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (MC02) y se contrastaron con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Los detalles de este proceso se presentan en la tabla 12.

Tabla 12

Comparación del efluente con los LMP

Parámetros	Unidad	Efluente de la PTAR-MC02	LMP	Comparación
Potencial de Hidrogeno	pH	6.52	6.5-8.5	cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	235.36	200	no cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	128.8	100	no cumple
Sólidos totales	mg/L	212.97	150	no cumple
Aceites y grasas	mg/L	7.75	20	cumple
Coliformes totales	NMP	4000	1000	no cumple

Nota: Resultados del efluente de la PTAR y su comparación con los LMP del DS N° 003-2010-MINAM.

De la tabla, al comparar el efluente de la PTAR con los LMP, los parámetros pH, aceites y grasas cumplen con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, mientras que la DBO, DQO, sólidos totales y los coliformes totales no cumplen con los límites máximos permisibles.

4.3. COMPARACIÓN CON LOS ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL PARA RIEGO

Con el propósito de comparar los estándares de calidad ambiental (ECA) para riego, se emplearon los resultados obtenidos en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales (MC02) y se contrastaron con los valores establecidos en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los detalles de este proceso se presentan en la tabla 13.

Tabla 13

Comparación del efluente con los ECA

Parámetros	Unidad	Efluente de la PTAR-MC02	ECA para riego	Comparación
Potencial de Hidrogeno	pH	6.52	6.5-8.4	cumple
Conductividad eléctrica	μS/cm	26.80	5000.00	cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	235.36	40.00	no cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	128.8	15.00	no cumple
Aceites y grasas	mg/L	7.75	5.00	no cumple

Nota: Resultados del efluente de la PTAR y su comparación con los ECA 3 del DS N° 004-2017-MINAM.

De la tabla, al comparar el efluente de la PTAR con los ECA, los parámetros aceites y grasas, DBO y DQO no cumplen con el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, solamente el pH y la conductividad eléctrica cumplen con los ECA categoría 3.

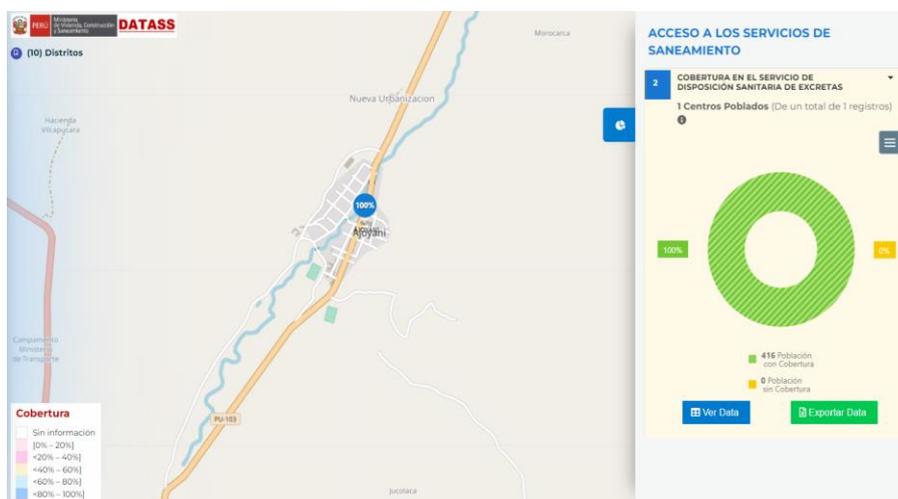
4.4. DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA PTAR

4.4.1. Situación del servicio

Según el DATASS, 2022 (Sistema de Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento), acerca de la cobertura de eliminación de excretas para el distrito de Ajoyani, se presenta el indicador mediante Planta de Tratamiento de Aguas Residuales solamente para una población total de 1130 habitantes y 416 viviendas como se muestra en figura 55; según la tabla 14 la proyección de los censos oficiales de los años 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017, para el año 2023, el distrito de Ajoyani cuenta con una población de 2425 habitantes, y realizando la proyección para el año 2043, la población aumentaría hasta alcanzar los 3022 habitantes, con una tasa de crecimiento de 1.49% calculado en función de los datos de los censos oficiales del INEI (1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007 y 2017), lo cual resalta la necesidad de ampliar el sistema de tratamiento de aguas residuales, con la capacidad de depurar las aguas residuales de la creciente población.

Figura 55

Cobertura del servicio de disposición de excretas.



Nota: Vista del aplicativo DATASS, aplicativo del MVCS.

Tabla 14

Datos censales de la población del distrito de Ajoyani.

Año	Población	Tasa de crecimiento
1940	705	2.41%
1961	1162	-0.33%
1972	1120	2.10%
1981	1350	1.23%
1993	1563	1.55%
2007	1938	1.96%
2017	2354	1.49%

Nota: Se obtuvieron de los libros censales del INEI.

4.4.2. Situación de la infraestructura

Como capital de distrito, en la localidad de Ajoyani se construyeron inicialmente dos lagunas de oxidación para el tratamiento de aguas residuales domésticas en 2003. Posteriormente, en 2010, se finalizó la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales actual, ubicada aguas arriba de las antiguas lagunas.

Durante la visita al sitio, se observaron recientes intervenciones en la PTAR actual, como la instalación de un cerco perimétrico, una caseta de guardianía y el sistema de válvulas para el paso de lodos, entre otros.

Figura 56

Lagunas de oxidación, infraestructura previa a la PTAR actual, no se encuentra en funcionamiento.



Nota: Vista del anterior sistema de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani.

A partir de la información recopilada en la bibliografía y las visitas a campo, se elaboró la tabla 15, detallando la antigüedad de la infraestructura, su estado de conservación actual, la operatividad encontrada y el estado de la estructura.

Tabla 15

Antigüedad, estado de conservación, operatividad y estado de la PTAR

Nombre de la Fuente	Antigüedad de la infraestructura	Estado de conservación	Operatividad	Estado de la estructura
PTAR-Ajoyani	12 años	Malo	Operativo con deficiencias	Fisuras en concreto, fierros corroídos, existe filtraciones en la caja de válvulas.
Cerco perimétrico	4 años	Bueno	Operativo	
Caseta de seguridad	4 años	Bueno	No operativo	No cuenta con servicios básicos.

Nota: Antigüedad de la infraestructura presente en la planta de tratamiento de aguas residuales.

De las visitas a campo, se detectó las siguientes fallencias en la infraestructura de la PTAR:

4.4.2.1. Situación del sedimentador primario y secundario

Durante la verificación del sedimentador primario y secundario, se detectaron fisuras, como se muestra en la siguiente figura, lo que ocasiona filtración de agua residual.

Figura 57

Fisura y filtración en sedimentador primario y filtros verticales.



Nota: Vista del estado del sedimentador primario y de los filtros verticales de la visita in situ.

Asimismo, se realizó ensayos de esclerometría para calcular la resistencia del concreto según la NTP 339.181 del 2013, teniendo los siguientes resultados para el número de rebotes en los sedimentadores:

Tabla 16

Número de rebotes en los sedimentadores.

N° Rebotes			
28	35	34	36
34	30	32	29
36	31	28	30
30	35	33	31

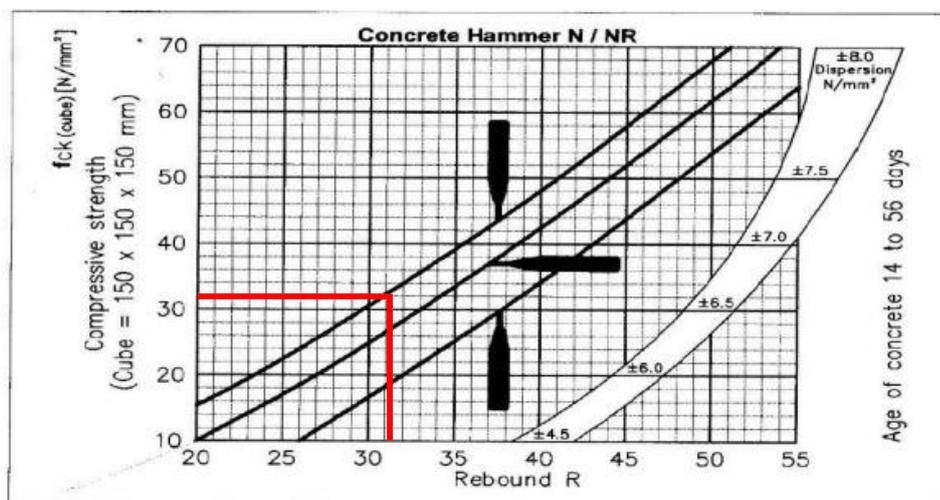
Nota: Datos del ensayo de esclerometría realizado en campo.

Luego de esto, se calculó el Índice de Rebote (IR), obteniendo un promedio de rebotes de 32.0091. Además, se verificó que menos del 20% de las lecturas difieren en más de 6 unidades respecto al número de rebote estándar

Posteriormente, se calculó la resistencia relativa del concreto, teniendo en cuenta la posición del martillo SCHIMDT (vertical) haciendo uso del siguiente ábaco:

Tabla 17

Abaco para realizar el ensayo de esclerometría.



Nota: Se realiza el cálculo según lo indica la normativa.

Del ábaco se calculó el esfuerzo de compresión siendo este 31.90 N/mm² el cual equivale a 245.75 kg/cm² incluyendo la dispersión.

Figura 58

Ensayo de esclerometría en los sedimentadores.



Nota: Vista del ensayo de esclerometría realizado in situ por el tesista.

4.4.2.2. Situación de los filtros verticales

Durante la inspección del sedimentador primario y secundario, se detectaron fisuras, como se evidencia en la figura adjunta, lo que ocasiona filtraciones de agua residual.

Figura 59

Fisura en los filtros verticales.



Nota: Vista del estado de los filtros verticales de la visita in situ.

4.4.2.3. Situación de la nave de macrofitas

Para Martelo (2012), las macrofitas utilizadas en el tratamiento de aguas residuales abarcan un grupo diverso de plantas de tallo largo. Durante su fase de crecimiento, estas plantas absorben y retienen los nutrientes presentes en el agua residual, integrándolos en su propia estructura. Por consiguiente, los sistemas de tratamiento acuático se basan en el cultivo de estas plantas sobre la superficie del agua, sin embargo, de la visita in situ, se evidenció que los estanques no presentaban plantas macrofitas que realicen el tratamiento, ello se aprecia en la figura 60.

Figura 60

Ausencia de plantas de tallo largo en las naves de macrofitas



Nota: Vista del estado de la nave de macrofitas de la visita in situ.

Asimismo, se realizó ensayos de esclerometría para calcular la resistencia del concreto según la NTP 339.181 del 2013, teniendo los siguientes resultados para el número de rebotes en la nave de macrofitas:

Tabla 18

Número de rebotes en la nave de macrofitas.

N° Rebotes			
26	22	26	27
29	26	30	34
37	37	33	31
39	36	36	34

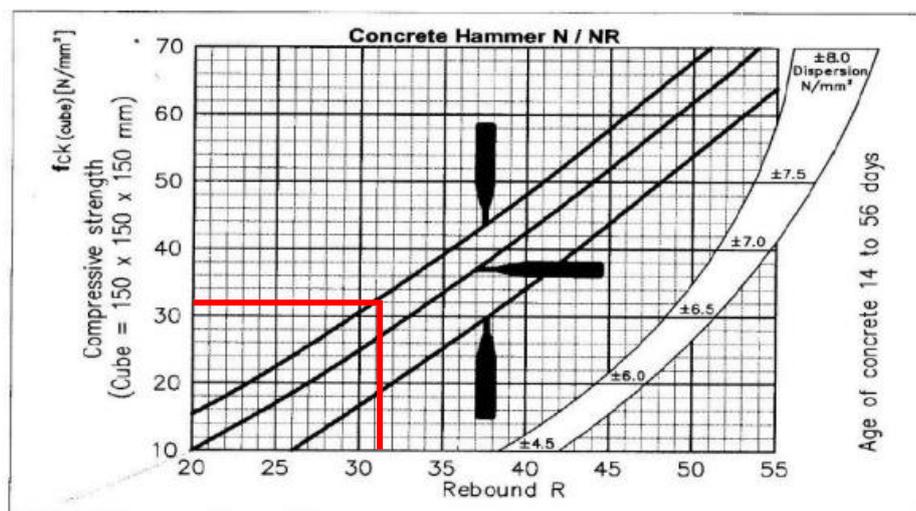
Nota: Datos del ensayo de esclerometría realizado en campo.

Posterior a ello se calculó el índice del rebote (IR), hallando el promedio de rebotes que es igual a 31.438; asimismo, se verificó que menos del 20% de las lecturas difieren en más de 6 unidades a las lecturas del número de rebote.

Luego de verificar se calculó la resistencia relativa del concreto, teniendo en cuenta la posición del martillo SCHIMDT (vertical) haciendo uso del siguiente ábaco:

Tabla 19

Abaco para realizar el ensayo de esclerometría.



Nota: Se realiza el cálculo según lo indica la normativa.

Del ábaco se calculó el esfuerzo de compresión siendo este 32 N/mm² el cual equivale a 260.03 kg/cm² incluyendo la dispersión.

4.4.2.4. Situación del tratamiento de lodos

Se llevó a cabo dos visitas a campo, una durante la temporada de estiaje (sin presencia de lluvias) en la cual se evidencio huellas de agua en el lecho de secados, donde las huellas de agua alcanzaron las armaduras que sostienen la cubierta superior como se muestra en las siguientes figuras.

Figura 61

Huellas de nivel de agua en lecho de secados – vista exterior, según entrevista con el trabajador, se tuvo que intervenir para retirar el exceso de lodo y tierra producto de la inundación.



Nota: Vista del estado del lecho de secados de la visita in situ.

Figura 62

Huellas de nivel de agua en lecho de secados – vista interior



Huellas de nivel
de agua en el
lecho de secados

Nota: Vista del estado del lecho de secados de la visita in situ.

Posteriormente, se realizó una visita al campo durante la temporada de lluvias, donde se evidenció un elevado nivel freático en el lecho de secado; optándose por evacuar los lodos de las estructuras con herramientas manuales y enterrándolas en zanjas abiertas por el trabajador, dejando inoperativo el tratamiento de lodos, cabe destacar que actualmente existe estructuras de defensa ribereña que evitan el ingreso del agua por el río Achasiri, sin embargo el nivel freático continúa siendo evidente.

Figura 63

Huellas de nivel de agua en lecho de secados



Nota: Vista del estado del lecho de secados de la visita in situ.

Figura 64

Zanjas rellenadas con lodos manualmente.



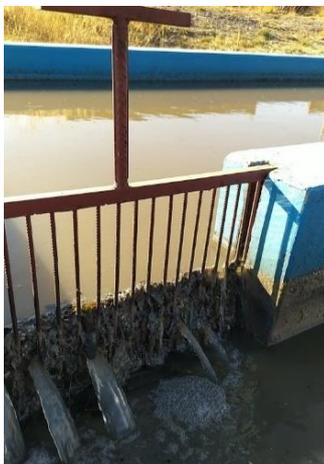
Nota: Vista del estado del tratamiento de lodos de la visita in situ.

4.4.2.5. Situación de las compuertas y válvulas

Los pobladores cercanos reportaron que la operación y mantenimiento solían llevarse a cabo regularmente hasta el inicio de la pandemia COVID-19. Las restricciones impuestas durante la pandemia provocaron que la planta dejara de recibir mantenimiento, lo que resultó en el colapso de las compuertas de ingreso, como se puede observar en la figura 65.

Figura 65

Falta de operación y mantenimiento en las conexiones de la PTAR



Nota: Vista del estado de las compuertas de la visita in situ.

De la visita a campo se observó que las cajas de válvulas y tuberías, fueron enterradas cuando el nivel freático era elevado, tal como muestra la figura 66 también se evidenció el olor característico a H₂S, que es causado por la descomposición de materia orgánica, así también se observó el afloramiento del material base de las válvulas y tuberías (hierro galvanizado), con presencia de oxidación y corrosión, todo ello contraviene al D.S. 023-2007-VIVIENDA que indica que los problemas en las válvulas podrían afectar la eficiencia operativa y financiera de los servicios de saneamiento. Las figuras 66 y 67 muestran el estado actual de las cajas de válvulas y tuberías de la PTAR.

Figura 66

Huellas del nivel freático elevado afectando las válvulas.



Nota: Vista del estado de las cajas de válvula de la visita in situ.

Figura 67

Vista del estado de las válvulas y sus cajas protectoras.



Nota: Vista del estado de las cajas de válvula de la visita in situ.

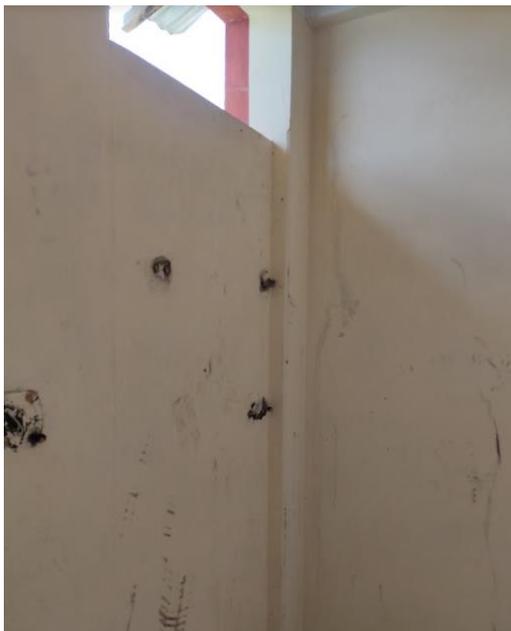
4.4.3. Situación de la operación y mantenimiento

Según entrevista con el trabajador de la PTAR, lo descrito en la situación de la infraestructura es por la falta de una política de mantenimiento y operación que inicialmente era responsabilidad de la JASS, sin embargo, se evidencia descuidos y abandono por parte de estos, por ello fue la Municipalidad que realizó mantenimientos en periodos irregulares a partir del año 2018.

Asimismo, existe el problema de la falta de pago de los usuarios para la operación, que provocó que la empresa prestadora de energía eléctrica corte este servicio, de igual forma no posee agua potable, poniendo en riesgo al único trabajador que realiza mantenimiento de manera semanal, el cual es financiado por el Área Técnica Municipal de la Municipalidad Distrital de Ajoyani, cabe precisar que el pago que recibe es por operar la PTAR y la planta de residuos sólidos de Ajoyani.

Figura 68

Caseta de guardianía – operaciones sin los servicios básicos.



Nota: Vista del estado de la caseta de guardianía de la visita in situ.



4.5. PLANTEAMIENTO DE LA PROPUESTA DE MEJORA

La propuesta de mejora para lograr una remoción eficiente de contaminantes en los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani se fundamentó en la caracterización fisicoquímica, el cálculo de las eficiencias por cada componente y la evaluación del diagnóstico de la infraestructura. Los resultados obtenidos han llevado al planteamiento de una propuesta de mejora para la PTAR, que incluye los procesos unitarios necesarios para cumplir con la normativa relacionada al vertimiento del efluente en el cuerpo receptor. A continuación, se describe en detalle la propuesta:

4.5.1. Pretratamiento

Según la NTP OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, numeral 5.3.1.1. indica que se usará cribas – cámaras de rejillas en toda planta de tratamiento, aún en las más simples, también en el numeral 5.3.2.1 indica que se debe incluir desarenadores para PTAR que incluyan sedimentadores, digestores y opcionalmente lagunas de estabilización, por ello, se propone cámara de rejillas y desarenadores.

4.5.2. Tratamiento primario

Para la selección de la alternativa, se usará el criterio de Collado (1990), el cual clasifica los procesos unitarios según los rangos de aplicación en función de la población a servir, lo cual se detalla en la siguiente tabla:

Tabla 20

Rangos de aplicación para sistemas de tratamiento de aguas residuales en función de la población a servir.

Sistema	Población								
	100	200	500	1000	2000	5000	10000	>20,000	
Fosa séptica	Op	A	L						
Tanques Imhoff	A	A	Op	Op	Op	A			
Zanjas y lechos Filtrantes	Op	Op	Op	A	L				
RAFA	Sa	Sa	L	A	Op	Op	A		
Zanjas de Oxidación	Sa	Sa	Sa	A	A	Op	Op	Op	
Aireación Prolongada	A	A	Op	Op	Op	Op	Op	Op	A
Filtros Biológicos	Sa	L	A	Op	Op	Op	A	L	
Lagunas Aireadas	Sa	Sa	L	A	Op	Op	Op	Op	Op
Lagunas Anaerobias	A	A	Op	Op	Op	Op	Op	Op	A
Lagunas Facultativas	L	A	Op	Op	Op	Op	Op	Op	Op
	Limite (L)	Aceptable(A)		Optimo (Op)			Sin Aplicación (Sa)		

Nota: Criterio de selección de tecnologías según la población para la operación de PTAR.

Según la tabla 20, para una población aproximada de 2000 habitantes como es el caso del Distrito de Ajoyani, el Tanque Imhoff es considerado óptimo para el tratamiento primario, cabe precisar que la SUNASS (2015) evaluó 15 PTAR, de las cuales el tratamiento primario más aplicado es el tanque Imhoff, por



ello se propone este proceso, el cual se encuentra regulado en el numeral 5.4.2 de la NTP OS 0.90.

4.5.3. Tratamiento secundario

Haciendo uso de la tabla N° 20 para procesos unitarios para una población aproximada de 2000 habitantes, el proceso de filtros biológicos y lagunas facultativas presentan un desempeño óptimo y según la OS 0.90 presentan una eficiencia en remoción de DBO para filtros del 50 al 90% y 70 al 95% para sólidos en suspensión, al respecto de las lagunas, según la SUNASS (2015) el tratamiento secundario más aplicado a nivel nacional es del tipo lagunas facultativas, alcanzando un 61% en las PTAR evaluadas, por ello se propone ambos tratamientos.

4.5.4. Tratamiento terciario

Para la SUNASS (2015) los sistemas de desinfección posibilitan el cumplimiento del LMP del parámetro coliformes termotolerantes, siendo la cloración la tecnología más común, por ello se propone el proceso de cámara de contacto de cloro.

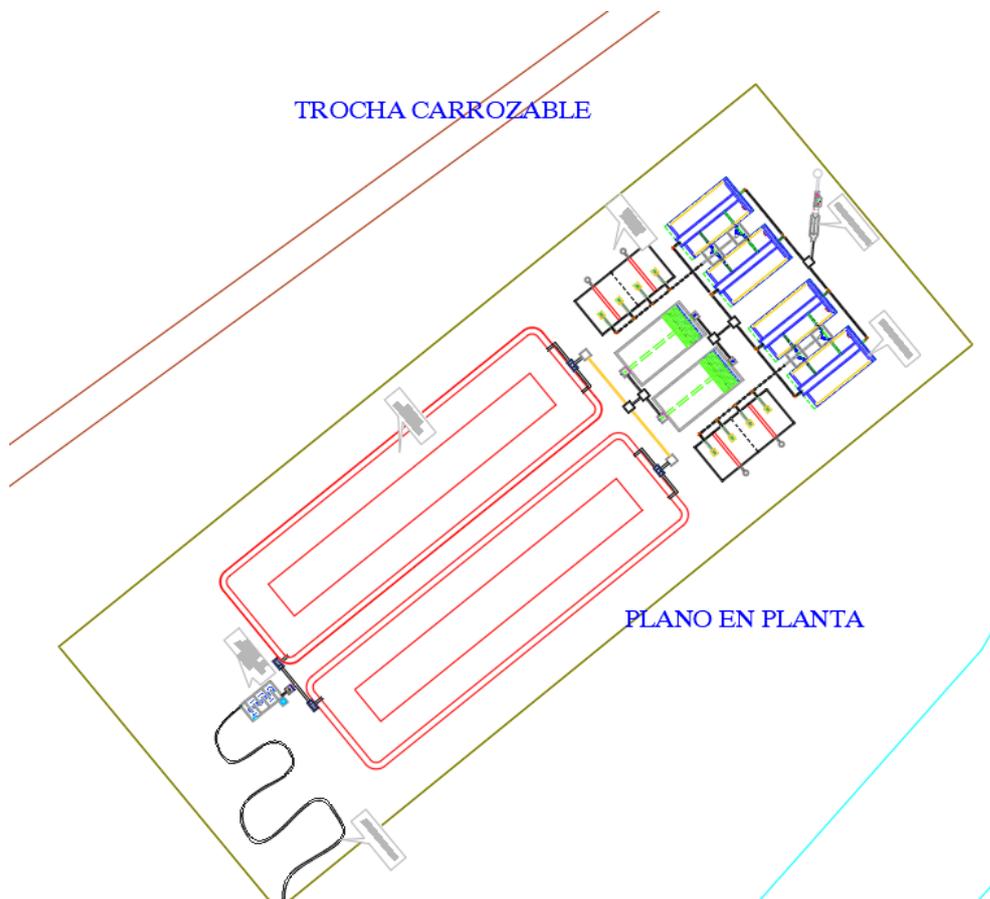
4.5.5. Tren de tratamiento

De lo descrito previamente, el tren de tratamiento propuesto consistiría en:

- Pretratamiento: Cámara de rejillas y desarenador.
- Tratamiento primario: Tanque Imhoff.
- Tratamiento secundario: Filtro percolador/biológico y lagunas facultativas.
- Tratamiento terciario: Cámara de contacto de cloro.
- Tratamiento de lodos: Lecho de secados.

Figura 69

Plano en planta de la PTAR propuesta por el tesista.



Nota: Se realizó el esquema del tren de tratamiento propuesto según el emplazamiento de la PTAR existente.

La memoria de cálculo de la propuesta se adjunta en el anexo F, asimismo los planos realizados por el tesista se adjuntan en el anexo H.

4.5.6. Presupuesto de la propuesta

La propuesta planteada en la presente investigación asciende a un costo directo de S/ 1,267,440.43 y un monto de ejecución de la obra de S/ 1,675,049.28 inc. I.G.V., a continuación, se detalla las partidas consideradas:



ITEM	DESCRIPCIÓN	UND	PARCIAL
	PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES		1,267,440.43
1	CAMARA DE REJAS, DESARENADOR Y TRAMPA DE GRASAS		25,558.81
1.1	TRABAJOS PRELIMINARES		187.32
1.1.1	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m ²	108.84
1.1.2	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	m ²	78.48
1.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		13,061.25
1.2.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	30.30
1.2.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	33.62
1.2.3	RELLENO ESTRUCTURAL CON MATERIAL PROPIO	m ³	12,908.91
1.2.4	CARGUIO E ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM<06 km	m ³	88.42
1.3	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		1,033.61
1.3.1	SOLADOS DE E=4" MEZCLA 1:10 (C:H)	m ²	1,033.61
1.4	OBRAS DE CONCRETO ARMADO		8,775.97
1.4.1	CERCO PERIMETRICO: ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m ²	1,428.91
1.4.2	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	1,942.44
1.4.3	CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	5,404.62
1.5	REVOQUES Y ENLUCIDOS		2,500.66
1.5.1	TARRAJEO DE MUROS INTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	413.17
1.5.2	TARRAJEO DE MUROS EXTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	776.74
1.5.3	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE DE LOSA DE FONDO, PISO, CANALES	m ²	1,310.75
2	TANQUE IMHOFF		492,507.93
2.1	TRABAJOS PRELIMINARES		1,097.83
2.1.1	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO MANUAL	m ²	558.66
2.1.2	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	m ²	539.17
2.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		26,065.55
2.2.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	7,686.31
2.2.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	1,747.09
2.2.3	CARGUIO E ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM<06 km	m ³	16,632.15
2.3	CONCRETO SIMPLE		8,813.42
2.3.1	SOLADOS DE E=4" MEZCLA 1:10 (C:H)	m ²	8,813.42
2.4	CONCRETO ARMADO		435,484.28
2.4.1	CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	169,414.81
2.4.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA MUROS REFORZADOS	m ²	110,807.21
2.4.3	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	155,262.26
2.5	REVOQUES Y ENLUCIDOS		21,046.85
2.5.1	TARRAJEO DE MUROS INTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	7,947.35
2.5.2	TARRAJEO DE MUROS EXTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	5,945.63
2.5.3	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE DE LOSA DE FONDO, PISO, CANALES	m ²	7,153.87
3	FILTRO PERCOLADOR		319,763.27
3.1	MOVIMIENTO DE TIERRAS		10,538.69
3.1.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	808.89
3.1.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	750.33
3.1.3	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m ³	3,201.89
3.1.4	ACARREO DE MATERIAL EXCEDENTE A UNA DISTANCIA PROMEDIO DE 30	m ³	2,368.77
3.1.5	CARGUIO E ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM<06 km	m ³	3,408.81
3.2	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		3,030.88
3.2.1	CONCRETO CICLOPEO $f_c = 140 \text{ kg/cm}^2 + 30\%$ DE P.G. P/CIMENTACION	m ³	3,030.88
3.3	OBRAS DE CONCRETO ARMADO		252,617.59
3.3.1	ZAPATAS		62,385.15
3.3.1.1	CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	22,210.51
3.3.1.2	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	40,174.64
3.3.2	LOSA DE FONDO		70,189.69
3.3.2.1	CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	10,603.94
3.3.2.2	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	59,585.75
3.3.3	MUROS REFORZADOS CILINDRICOS		120,042.75
3.3.3.1	CONCRETO $f_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	22,563.81
3.3.3.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO PARA MUROS REFORZADOS	m ²	40,561.21
3.3.3.3	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	56,917.73



3.4	REVOQUES Y ENLUCIDOS		23,344.92
3.4.1	TARRAJEO PÚLIDO CON IMPERMEABILIZANTE DE LOSA DE FONDO-PISO	m ²	5,058.02
3.4.2	TARRAJEO PÚLIDO CON IMPERMEABILIZANTE DE MUROS	m ²	18,286.90
3.5	VARIOS		30,231.19
3.5.1	PROVISION Y COLOCADO DE JUNTA DE POLIURETANO E=25MM (9")	m	1,605.55
3.5.2	BARANDA EN PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	m	4,627.55
3.5.3	ESCALERA MARINERA DE PLASTICO REFORZADO CON FIBRA DE VIDRIO	und	13,043.36
3.5.4	PROTECCION DE PRFV PARA ESCALERA MARINERA SEGUN DISEÑO	m	6,847.69
3.5.5	VENTANA DE ACERO INOXIDABLE CON TAPA SEGUN PLANO	und	1,172.48
3.5.6	COBERTURA DE ACERO INOXIDABLE E=1/8" P/VENTILADORES S/PLANO	und	2,934.56
4	LECHO DE SECADO		146,649.87
4.1	TRABAJOS PRELIMINARES		1,611.08
4.1.1	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO MANUAL	m ²	813.08
4.1.2	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	m ²	798.00
4.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		14,993.84
4.2.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	3,000.76
4.2.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	1,781.56
4.2.3	RELLENO COMPACTADO CON MATERIAL PROPIO	m ³	2,245.98
4.2.4	CARGUIO E ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM<06 km	m ³	7,965.54
4.3	LECHO FILTRANTE		7,337.32
4.3.1	RELLENO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO ARENA	m ³	5,980.91
4.3.2	RELLENO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO GRAVA	m ³	656.02
4.3.3	RELLENO CON MATERIAL DE PRÉSTAMO PIEDRA GRANDE DE 4"	m ³	700.39
4.4	CONCRETO SIMPLE		7,894.76
4.4.1	SOLADOS DE E=4" MEZCLA 1:10 (C:H)	m ²	7,894.76
4.5	CONCRETO ARMADO		66,054.93
4.5.1	CONCRETO $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	31,554.01
4.5.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m ²	28,778.21
4.5.3	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	5,722.71
4.6	REVOQUES Y ENLUCIDOS		19,891.05
4.6.1	TARRAJEO DE MUROS EXTERIORES, E=1.50CM C:A 1:5	m ²	10,191.30
4.6.2	TARRAJEO PÚLIDO CON IMPERMEABILIZANTE DE MUROS	m ²	9,699.75
4.7	CARPINTERIA DE MADERA		25,956.80
4.7.1	TIJERALES DE MADERA DE 4X4	und	24,530.80
4.7.2	LISTÓN DE 2"X3"	m	1,426.00
4.8	COBERTURAS		2,910.09
4.8.1	CUBIERTA CALAMINA GALVANIZADA	m ²	2,910.09
5	TANQUE DE LODOS		84,649.08
5.1	CONCRETO SIMPLE		1,593.27
5.1.1	SOLADOS DE E=4" MEZCLA 1:10 (C:H)	m ²	1,593.27
5.2	CONCRETO ARMADO		83,055.81
5.2.1	CONCRETO $f'c=280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	27,194.98
5.2.2	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m ²	27,810.15
5.2.3	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	26,114.24
5.2.4	JUNTA WATER STOP	m	1,936.44
6	LAGUNAS FACULTATIVAS		169,589.66
6.1	TRABAJOS PRELIMINARES		13,425.00
6.1.1	LIMPIEZA Y DESBROCE DE TERRENO NATURAL	m ²	8,445.00
6.1.2	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	m ²	4,980.00
6.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		112,441.55
6.2.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	22,319.78
6.2.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	15,960.00
6.2.3	RELLENO Y COMPACTADO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m ³	12,602.19
6.2.4	EXCAVACION DE ZANJAS DE ANCLAJE GEOMEMBRANA	m ³	1,188.03
6.2.5	CARGUIO E ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE DM<06 km	m ³	60,371.55
6.3	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		17,084.75
6.3.1	CONCRETO CICLOPEO $f'c=140 \text{ kg/cm}^2$ + 30% DE P.G. P/CORONACION	m ³	17,084.75
6.4	INSTALACIONES HIDRAULICAS		26,638.36
6.4.1	SUMINISTRO Y COLOCACION DE GEOMEMBRANA HDPE DE 1.5MM	m ²	18,616.32



6.4.2	SERVICIO DE CONTROL DE CALIDAD EN GEOMEMBRANA	gbl	3,700.00
6.4.3	FABRICACION Y MONTAJE DE VERTEDEROS TRINGULARES DE PVC H=0.15	gbl	4,322.04
7	CAMARA DE CONTACTO		28,721.81
7.1	TRABAJOS PRELIMINARES		144.81
7.1.1	LIMPIEZA DE TERRENO MANUAL	m ²	81.80
7.1.2	TRAZO, NIVELACIÓN Y REPLANTEO PRELIMINAR	m ²	63.01
7.2	MOVIMIENTO DE TIERRAS		3,631.10
7.2.1	EXCAVACION MASIVA EN TERRENO NORMAL C/MAQUINARIA	m ³	683.38
7.2.2	PERFILADO Y NIVELACION	m ²	191.31
7.2.3	ELIMINACION DE DESMONTE A BOTADERO R= 10 KM	m ³	2,756.41
7.3	OBRAS DE CONCRETO SIMPLE		956.97
7.3.1	SOLADOS DE E=4" MEZCLA 1:10 (C:H)	m ²	956.97
7.4	OBRAS DE CONCRETO ARMADO		17,646.42
7.4.1	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO NORMAL	m ²	8,782.15
7.4.2	ACERO DE REFUERZO $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$	kg	2,743.49
7.4.3	CONCRETO $f_c=280 \text{ kg/cm}^2$ C:A:P C/MEZCLADORA (CEMENTO PI)	m ³	6,120.78
7.5	REVOQUES Y ENLUCIDOS		5,101.87
7.5.1	TARRAJEO DE MUROS INTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	18.53
7.5.2	TARRAJEO DE MUROS EXTERIORES,E=1.50CM C:A 1:5	m ²	2,371.95
7.5.3	TARRAJEO CON IMPERMEABILIZANTE DE LOSA DE FONDO, PISO, CANALES	m ²	2,711.39
7.6	PINTURA		1,240.64
7.6.1	PINTURA MUROS EXTERIORES VINILICA 2 MANOS C/IMPRIMANTE P KG	m ²	1,240.64

f_c = Resistencia a la compresión del concreto - Norma E.060

f_y = Resistencia a la fluencia del refuerzo - Norma E.060

	COSTO DIRECTO S/.	S/. 1,267,440.43
	GASTOS GENERALES (7% del CD) S/.	S/. 88,720.83
	UTILIDAD (5% del CD) S/.	S/. 63,372.02
A	SUB TOTAL	S/. 1,419,533.28
B	I.G.V. (18% del SUBTOTAL)	S/. 255,515.99
	COSTO DE EJECUCIÓN DE LA OBRA (A+B)	S/. 1,675,049.28

4.6. DISCUSIÓN

La evaluación de los procesos unitarios en la planta de tratamiento de aguas residuales se realizó de acuerdo con los materiales, métodos y finalmente los resultados obtenidos. Esto se hizo de acuerdo con la caracterización y el muestreo, lo que produce las siguientes eficiencias en la remoción de contaminantes en los siguientes parámetros: Sólidos totales (55.63%), DBO (49.21%), DQO (56.88%), grasas y aceites (11.23%) y coliformes totales (-110.53%), dichas eficiencias de remoción se asemejan a los obtenidos según Izurieta, (2020) en las cuales el agua residual tiene una remoción de alrededor del 27% al 43 %, lo cual no cumple con la normativa TULSMA 2015, de manera similar en la investigación de Cedrón & Cribilleros (2017), los cuales obtuvieron eficiencias del



54.7%; acerca del resultado de la presente investigación; al respecto, lo que más resalta es la eficiencia mínima en grasas y aceites y el aumento de la carga contaminante de los coliformes totales; acerca de las grasas y aceites se debe precisar que su porcentaje es bajo puesto que la carga contaminante de este parámetro en el afluente es mínima 8.73 mg/L, inclusive cumple con el D.S. N° 003-2010-MINAM de los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residual el cual tiene un valor de 20 mg/l para aceites y grasas. Sin embargo acerca de los coliformes totales, se evidencia el aumento de este parámetro en el último proceso unitario donde la carga contaminante aumenta, lo cual en contraste con otras investigaciones según Mamani (2017) los coliformes termotolerantes llegaron a un valor de $1.1E+05$ NMP/100ml por encima de lo establecido por los LMP's $1.0E+04$ NMP/100 ml, en la presente investigación se evidencia que en la nave de macrofitas de totora aumenta la carga contaminante, lo cual se deduce por el pésimo estado de su infraestructura, ausencia de plantas macrofitas de tallo largo, lo cual refleja la falta de eficiencia en los procesos biológicos; finalmente los resultados descritos son inferiores a los obtenidos por Cueva & García (2020) en la evaluación a la PTAR de Cajamarca indicando que los parámetros evaluados no cumplen con los límites máximos permisibles y posee como resultados de eficiencia en los parámetros de sólidos suspendidos totales (89.339%), DBO (99.487%), DQO (94.035%) y aceites y grasas (99.213%), también lo que indica Nuñez (2019) para la ciudad de Cajabamba de los parámetros mencionados poseen una eficiencia menor al umbral del 80%.

Con respecto al proceso unitario del pretratamiento – cámara de rejillas, se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para este tratamiento del 79.92% en sólidos totales, DBO de 1.93%, DQO de 1.30% y el aumento de la carga contaminante de los aceites y grasas en un 30.60%, lo cual se infiere por ser relativamente



mínima la carga contaminante y porque posteriormente se tiene el proceso unitario del desgrasador el resultado de sólidos totales obtenidos es menor a lo obtenido por Apaza (2021) en la PTAR de Azángaro puesto que en la cámara de rejillas halló una eficiencia de 18.51%, por lo que se deduce que la cantidad de arenas presentes en la PTAR de Ajoyani es mayor que la de Azángaro, con respecto a la DBO Apaza en su tesis presenta una eficiencia de 2.76% similar a lo evaluado, DQO con eficiencia de 3.11% lo cual se asemeja a nuestros resultados por ser eficiencias mínimas; acerca de la situación de la infraestructura se detectó inconsistencias, puesto que en el pretratamiento actual primero se ubica el desarenador y luego las cámaras de rejillas, por ello, se plantea la construcción de cámara de rejillas de un ancho de canal de 0.30 m, espaciamiento de 1", inclinación de barras de 60° con una altura de 0.75m, también se plantea un desarenador con una velocidad de diseño de 0.40 m/s, longitud de 1.75 m y con un ancho de 0.4 m.

Con respecto al proceso unitario del desgrasador, se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para este tratamiento del 5.54% en sólidos totales, DQO de 8.43%, aceites y grasas 13.64% y aumento de la carga contaminante del DBO en un 4.02% los cuales se asemejan a los obtenidos por Apaza (2021) en la trampa de grasas de la PTAR de Azángaro puesto que para la DBO obtuvo una eficiencia de 5.91%, DQO con eficiencia de 6.02%, sin embargo los sólidos totales presentan una eficiencia negativa de 7.32%, contrario a la eficiencia en la PTAR de Ajoyani, acerca de la eficiencia mínima de DBO y DQO se infiere en la diferencia de condiciones, puesto que el distrito de Ajoyani se encuentra ubicado a 4250 msnm, mientras que su par de Azángaro es 3859 msnm, siendo un ambiente más frígido que reduce la eficiencia en la mayoría de procesos unitarios; finalmente, el porcentaje de remoción para la DBO cumple según lo investigado por Sperling (1996) que establece que la eficiencia de eliminación en el tratamiento preliminar es de 0 a 5%.



Con respecto al proceso unitario sedimentador primario y secundario, se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para esta etapa de tratamiento del 1.27% en sólidos totales, DQO de 4.62%, aceites y grasas 85.22% y aumento de la carga contaminante del DBO en un 3.08% los cuales son valores inferiores a lo establecido en la norma técnica peruana OS.090 del RNE el cual establece para la sedimentación primaria porcentajes de remoción de 25-30% para DBO y 40-70% para sólidos totales, de manera similar lo obtenido en la presente es menor a lo establecido por Sperling (1996) que recomienda para la DBO eficiencias de eliminación de 35-40%, finalmente acerca del parámetro de sólidos totales la eficiencia hallada es menor según Arruda & Pacheco (1982) que recomienda eficiencias del 40 al 70% de remoción; ante la poca eficiencia del proceso, el tesista plantea la construcción de 04 tanques Imhoff de 5.80 m y altura de 4.60 m, puesto que según Collado (1990), cumple una función óptima para poblaciones de 2000 habitantes aproximadamente, asimismo es una tecnología usada comúnmente según la SUNASS (2022),

Con respecto al proceso unitario de los filtros verticales, se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para este tratamiento del 17.69% en sólidos totales, DBO en un 5.84%, DQO de 3.98% y aumento de la carga contaminante de los aceites y grasas en un 293.79%, lo cual se infiere por ser relativamente mínima la carga contaminante 5.71 mg/L. Según Apaza (2021) la eficiencia de la PTAR de Azángaro en los filtros, los sólidos totales presentan una eficiencia de 4.09%, menor a la eficiencia en la PTAR de Ajoyani, con respecto a la DBO Apaza en su tesis presenta una eficiencia de 8.30% similar a lo evaluado, DQO con eficiencia de 8.08% lo cual se asemeja a nuestros resultados por ser eficiencias mínimas, sin embargo la disminución de la eficiencia de DBO y DQO se infiere en la diferencia de condiciones, puesto que el distrito de Ajoyani se encuentra ubicado a 4250 msnm, mientras que su par de Azángaro es 3859 msnm,



siendo un ambiente más frígido que reduce la eficiencia en la mayoría de procesos unitarios.

Con respecto al proceso unitario reactor biológico, se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para el tratamiento de DBO en un 33.86%, DQO de 6.38% y aumento de la carga contaminante de los aceites y grasas en un 79.51%, lo cual se infiere por ser relativamente mínima la carga contaminante 10.25 mg/L y sólidos totales 16.69%, los datos obtenidos son menores a los indicados en la norma técnica peruana OS.090 del RNE, el cual establece porcentajes de remoción para la DBO de 50% y sólidos en suspensión del 70% lo cual se deduce por los factores ambientales de la zona de estudio (altitud, temperatura, etc.); asimismo, los resultados obtenidos son mucho menores a lo recomendado por Sperling (1996) el cual establece eficiencias de remoción para este tratamiento del 85% para DBO y 60% para coliformes termotolerantes, sin embargo son datos semejantes a los obtenidos por Apaza (2021) en la PTAR de Azángaro puesto que obtuvo los siguientes resultados, para sólidos totales presentan una eficiencia negativa de -0.75%, menor a la eficiencia en la PTAR de Ajoyani, con respecto a la DBO Apaza en su tesis presenta una eficiencia de 3.68%, DQO con eficiencia de 3.58%; para la mejora de la eficiencia el tesista plantea filtros biológicos o llamados filtros percoladores, puesto que según la SUNASS (2022) es una tecnología usada comúnmente por su alto grado de eficiencia, las dimensiones propuestas son de 5.80 m y largo de 11.60 m, el medio filtrante recomendado es el plástico.

Con respecto al proceso unitario nave de macrofitas se tiene que en la PTAR del distrito de Ajoyani se tiene una eficiencia para el tratamiento de sólidos totales en 11.63%, DBO en un 18.99%, DQO de 23.39% y aceites y grasas en un 4.29%, así también se tiene el aumento de la carga contaminante de coliformes totales 90%. Según Apaza (2021) la eficiencia de la PTAR de Azángaro en los humedales artificiales, los sólidos totales



presentan una eficiencia de 6.17%, similar a la PTAR de Ajoyani, con respecto a la DBO Apaza en su tesis presenta una eficiencia de 5.52%, DQO con eficiencia de 5.06% los cuales son valores mínimos para un proceso que según la OS 090 se estima eficiencias mayores. Al respecto del tratamiento secundario, el tesista plantea la construcción de lagunas facultativas, primeramente porque es la tecnología más usada para el tratamiento de agua residual según la SUNASS (2022), aproximadamente el 78% de PTARs son de lagunaje, asimismo, según el área de terreno se da la condición para su construcción, las lagunas planteadas son dos de 59.80 m de longitud y 16.80 m de ancho, posterior a ello, se plantea la construcción de la cámara de contacto de cloro con la finalidad de prevenir la propagación de bacterias que puedan producir enfermedades y proteger el uso de agua del cuerpo receptor aguas abajo.

Acerca del cumplimiento de los límites máximos permisibles en el efluente los parámetros que cumplen son el pH 6.52, la conductividad eléctrica 26.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y aceites y grasas 7.75 mg/L; sin embargo, los siguientes parámetros no cumplen con la normativa para su hoy vertimiento: DBO tiene una carga orgánica de 128.80 mg/L cuando los LMP establecen 100 mg/L, acerca del DQO en el efluente se tiene una carga contaminante de 235.36 mg/L cuando los LMP exigen 200 mg/L, finalmente los coliformes totales en el efluente tienen una carga contaminante de 4000 NMP a comparación de los 1000 NMP que requiere para el cumplimiento de los LMP, lo obtenido se contrasta con la investigación realizado Gerardo (2018), el cual analiza el efluente de la PTAR “Río Seco” y en su análisis se verifica que el efluente sobrepasa los Límites Máximos Permisibles al incumplir para los parámetros DBO, DQO y aceites y grasas. De manera similar para el la PTAR de Ayaviri evaluada por Paricahua (2018) no cumple para el parámetro de coliformes termotolerantes incumpliendo con el LMP para este parámetro; finalmente los parámetros mencionados son inferiores a los obtenidos por Mamani (2017) en la PTAR



de llave puesto que en su investigación obtuvo valores de DBO de 240 mg/l, DQO de 600 mg/l, ante ello se plantea un nuevo tren de tratamiento que cumple con la normativa de vertimiento y con las condiciones de diseño según la OS.090.

Acerca del cumplimiento de los estándares de calidad ambiental para agua – ECA categoría 3 en el efluente, solamente el pH 6.52 y la conductividad eléctrica 26.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$ son los parámetros que cumple, puesto que los aceites y grasas en el efluente tiene una carga contaminante de 7.75 mg/L lo cual es superior a los 5mg/L, el DBO en el efluente es de 128.8 mg/L a comparación de los 15 mg/L que establece los ECA 3, acerca del DQO en el efluente tiene una carga contaminante de 235.36 mg/L con respecto a los 40 que exige los ECA 3, lo obtenido se contrasta con la investigación realizado Gerardo (2018), el cual analiza el efluente de la PTAR “Río Seco” y en su análisis se verifica que el efluente sobrepasa el D.S. N° 004-2017-MINAM para los parámetros aceites y grasas 33 mg/L, DBO 247.51 mg/L y DQO 1170 mg/L, por las bajas eficiencias de tratamiento se propone un nuevo tren de tratamiento: Cámara de rejillas y desarenador, tanque Imhoff, filtro percolador/biológico, lagunas facultativas y cámara de contacto de cloro.

Acerca del diagnóstico de la infraestructura realizado in situ se evidencia la falta de operación y mantenimiento por parte de las autoridades pertinentes, lo cual se refleja en el incumplimiento de la eficiencia necesaria para lograr los LMP y ECA 3 para el vertimiento y disposición final del efluente, similar a la obtenido por Gerardo (2018) puesto que indica el incumplimiento de las condiciones físicas y operacionales en la PTAR “Río Seco” que es requerido por la normativa vigente, también concluye que es menester realizar un rediseño acerca del tren de tratamiento debido al colapso de la infraestructura analizada. Así también, Paricahua (2018) indica en su investigación acerca del funcionamiento de planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Ayaviri concluye la falta de funcionalidad en condiciones óptimas y recomienda cambios



y estructuras adicionales para un óptimo desempeño también Izurieta (2020) en su tesis acerca del estado actual de su PTAR evaluada menciona deficiencias encontradas, entre las cuales destaca la falta de la caja de entrada, no existe el cribado, el sedimentador no cumple con la relación largo/ancho y el tanque séptico y lecho de secados de lodos no cumple con la normativa actual, también las deficiencias encontradas durante la presente investigación acerca de la infraestructura de la PTAR se asemejan a lo observado por Chirinos & Ubaldo (2020) que en su investigación detectaron patologías como son: agrietamiento, corrosión y fisuras concluyendo que los parámetros de diseño no se encuentran de acuerdo a la NTP OS.090; lo descrito en la presente corrobora lo determinado por Díaz et al (2020) que de 16 sistemas de tratamientos de aguas residuales domésticas ubicadas alrededor del lago Titicaca, en los últimos 5 años, el 56.25% no ha realizado mantenimiento y el 43.75% efectuó escasos mantenimientos siendo la causa principal la falta de recursos financieros, por lo cual no operan al 100%, afectando directamente la eficiencia de los procesos; para el caso particular de la PTAR de Ajoyani, la falta de operatividad y mantenimiento hizo colapsar los procesos de pretratamiento (cámara de rejillas y desgrasador), nave de macrofitas y el lecho de secados de lodos.



V. CONCLUSIONES

- La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario del **PRETRATAMIENTO** en la PTAR es de 79.92% en sólidos totales, DBO de 1.93%, DQO de 1.30% y el aumento de la carga contaminante en aceites y grasas en un 30.60%. La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario del **DESGRASADOR** es de 5.54% en sólidos totales, DQO de 8.43%, aceites y grasas 13.64% y aumento de la carga contaminante del DBO en un 4.02%.
- La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario **SEDIMENTADOR PRIMARIO Y SECUNDARIO** es de 1.27% en sólidos totales, DQO de 4.62%, aceites y grasas 85.22% y aumento de la carga contaminante del DBO en un 3.08%.
- La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario de los **FILTROS VERTICALES** es de 17.69% en sólidos totales, DBO en un 5.84%, DQO de 3.98% y aumento de la carga contaminante de los aceites y grasas en un 293.79%.
- La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario del **REACTOR BIOLÓGICO** para la DBO es de 33.86%, DQO de 6.38% y aumento de la carga contaminante de los aceites y grasas en un 79.51% y sólidos totales de 16.69%.
- La eficiencia en la remoción de contaminantes en el proceso unitario de **NAVE DE MACROFITAS** para sólidos totales es de 11.63%, DBO en un 18.99%, DQO de 23.39% y aceites y grasas en un 4.29%, así también se tiene el aumento de la carga contaminante de coliformes totales 90%.
- Los parámetros que cumplen con los **LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES** en el efluente son el pH 6.52 y aceites y grasas 7.75 mg/L; el parámetro DBO tiene una



carga orgánica de 128.80 mg/L cuando los LMP establecen 100 mg/L, acerca del DQO en el efluente se tiene una carga contaminante de 235.36 mg/L cuando los LMP exigen 200 mg/L, finalmente los coliformes totales en el efluente tienen una carga contaminante de 4000 NMP a comparación de los 1000 NMP que requiere para el cumplimiento de los LMP. Los parámetros que cumplen con los **ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL** para agua – ECA categoría 3 en el efluente, son el pH 6.52 y la conductividad eléctrica 26.80 $\mu\text{S}/\text{cm}$; los aceites y grasas en el efluente tiene una carga contaminante de 7.75 mg/L lo cual es superior a los 5mg/L, el DBO en el efluente es de 128.8 mg/L a comparación de los 15 mg/L que establece los ECA 3, acerca del DQO en el efluente tiene una carga contaminante de 235.36 mg/L con respecto a los 40 que exige los ECA 3.

- Acerca del estado de la planta de tratamiento de aguas residuales, se evidencia la falta de operación y mantenimiento, lo cual se refleja en el incumplimiento de la eficiencia necesaria para lograr los LMP y ECA 3 para el vertimiento y disposición final del efluente.
- Se plantea una propuesta de mejora para la eficiente remoción de contaminantes en los procesos de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani, esto se basó en la caracterización fisicoquímica, el cálculo de las eficiencias por cada componente y la evaluación del diagnóstico de la infraestructura, el tren de tratamiento propuesto lo conforma: Cámara de rejas y desarenador, tanque Imhoff, filtro percolador/biológico, lagunas facultativas, cámara de contacto de cloro y lecho de secados.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar más investigaciones acerca de la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región Puno, a fin de tener un estudio de calidad de efluentes domésticos a nivel regional que facilite la intervención de los organismos fiscalizadores a las plantas de tratamiento que no cumplan con el marco normativo respecto a la calidad requerida de los efluentes.
- Para el cumplimiento de la vida útil de la planta de tratamiento de aguas residuales, se recomienda que la Municipalidad Distrital de Ajoyani y la JASS coordinadamente intervengan en la operación y mantenimiento para que la PTAR funcione de manera eficiente, además de concientizar a los usuarios y a la población en general sobre la importancia del pago por el servicio de saneamiento, así como sobre los efectos negativos que puede provocar la falta de mantenimiento en la planta de tratamiento.
- Se recomienda que los nuevos proyectos de construcción de PTAR consideren una capacitación integral en operación, mantenimiento y educación sanitaria, esto garantizará la sostenibilidad a largo plazo de estos proyectos, promoviendo su adecuado funcionamiento y la concienciación de la comunidad acerca del saneamiento adecuado.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro Ccarhuarupay, I. & Nina Rojas, D. (2022). *Diseño de una Planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina de Llaspay, distrito de Huanoquite, provincia de Paruro, región Cusco-2021*. Cusco. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12394/12305>
- Aristi Celis, E. & Calderón Mosqueira, K. (2021). *Eficiencia del pretratamiento en la PTAR de una industria láctea de los baños del inca – Cajamarca, 2021*. Cajamarca. Recuperado de: <http://repositorio.upagu.edu.pe/handle/UPAGU/2114>
- Apaza Mamani, R. (2021). *Evaluación de la eficiencia de los tratamientos biológicos en la Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de San José provincia de Azángaro*. Puno. Recuperado de: <https://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16067>
- Balvin Beltrán, B. E. (2020). *Propuesta del mejoramiento en la eficiencia de la PTAR Chilpina, distrito Socabaya-provincia Arequipa*. Arequipa. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/11454>
- Cayllahua Cáceres, N. (2022). *Evaluación de la PTAR Sicuani y su impacto en la calidad del agua del río Vilcanota*. Sicuani. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/20.500.12918/6429>
- Candia Pilco, L. F. & Ventura Huanca, J. D. (2023). *Incidencia de factores climatológicos, mantenimiento y tipo en la eficiencia y operatividad de plantas de tratamiento de aguas residuales, zona sur altiplánica – región Puno*. Puno. Recuperado de: <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20246>
- Cueva Olano, C. M. & García Días, R. E. (2021). *Evaluación de la eficiencia de una Planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en una empresa minera, Cajamarca 2020*. Cajamarca. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/11537/29775>
- Díaz, R. & Medrano, M. (2020). *Operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas circunlacustres al lago Titicaca-Sector Perú y el marco*



legal en defensa de los ecosistemas. Puno. DOI:

<http://dx.doi.org/10.21503/cyd.v23i3.2142>

Díaz Meza, J. F. (2018). *Control de los parámetros de funcionamiento de la Planta de tratamiento San José de los efluentes domésticos con la finalidad de optimizar su funcionamiento, en la empresa minera Pan American Silver S.A.C.-Unidad Operativa Huarón*. Pasco. Recuperado de:

<http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/791>

Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia & Organización Mundial de la Salud (2020). *Estado Mundial del Saneamiento: Un llamamiento urgente a transformar el saneamiento para mejorar la salud, los entornos, las economías y las sociedades*. Nueva York. Recuperado de:

<https://www.unicef.org/media/102811/file/Estado%20Mundial%20del%20Saneamiento.pdf>

Gallardo García, C. X. & Jiménez Avilés, J. S. (2023). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario y Planta de tratamiento de aguas residuales en el barrio Bellavista del Cantón Salcedo de la provincia de Cotopaxi*. Ambato.

Recuperado de: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37141>

Hernández Araque, M. F. (2019) *Metodología Para Optimizar los Costos Operativos de las Redes de Distribución de Agua Potable a Partir de los Patrones de Bombeo Teniendo en Cuenta la Calidad del Agua*. Bogotá. Recuperado de:

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37141>

Inga Ferreyra, A. N. (2019) *Redistribución Del Caudal, Reducción De Pérdidas De Agua Y Aumento De La Ganancia Económica Por El Agua No Facturada A Través De Una Nueva Sectorización Para Mejorar La Prestación Del Servicio De Agua Potable En El Distrito De Huacho*. Huacho. Recuperado de: <http://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/UNJFSC/2758>

Izurieta Pazmiño, V. H. (2020). *Evaluación de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, Cantón Patate, provincia de Tungurahua*.

Patate. Recuperado de:

<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30630>



- Lozano Rivas, I. W. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Bogotá: UNAD. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales
- Madrid Gallego, N. (2014) *Diseño Optimizado de Redes de Distribución de Agua Potable que Incluyan Bombeo*. Bogotá. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/1992/12826>
- Mamani Yapurasi, Y. (2017). *Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de El Collao*. Puno. Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/5674>
- Medina Manchego, M. G. (2018). *Evaluación y rediseño del sistema de tratamiento de aguas residuales de las lagunas de estabilización del sector 'rio seco', distrito de la Joya, provincia de Arequipa*. Arequipa. Recuperado de:
<http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7260>
- RNE OS.090. (2016). Reglamento Nacional de Edificaciones. En C. y. Ministerio de Vivienda, *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Macro.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (s.f.) Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026). Lima. Recuperado de:
<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2586305-plan-nacional-de-saneamiento-2022-2026>
- Núñez Figueroa, M. (2019). *Eficiencia del Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales en la ciudad de Cajabamba – Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento*. Cajabamba. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/3526>
- Oakley, S. (2015). *Curso Tratamiento de Aguas Residuales*. Puno, Puno. CONASIN S.R.L. Especialistas Ambientales.
- Organización Mundial de la Salud (2021). Progress on household drinking water, sanitation and hygiene 2000 – 2020. Recuperado de:
<https://www.unicef.org/es/comunicados-prensa/miles-de-millones-de-personas-se-quedar%C3%A1n-sin-acceso-servicios-de-agua-potable>



- Organización Mundial de la Salud (2013). Who guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater. Recuperado de:
<https://www.who.int/publications/i/item/9241546824>
- Organización Mundial de la Salud (2012). Global costs and benefits of drinking-water supply and sanitation interventions to reach the MDG target and universal coverage. Recuperado de:
https://www.pseau.org/outils/ouvrages/oms_global_costs_and_benefits_of_drinking_water_supply_and_sanitation_interventions_to_reach_the_mdg_target_and_universal_coverage_2012.pdf
- Paiva Girón, D. S. (2023). *Evaluación de los impactos ambientales de la Planta de tratamiento de aguas residuales Catacaos – Piura, 2021*. Piura. Recuperado de:
<https://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/4329?locale-attribute=es>
- Panca Peralta, O. D. (2016). *Evaluación de la Operatividad y Alternativa de Solución de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Localidad de Putina*. UNA-Puno. Perú. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9799>
- Paricahua Huanca, E. R. (2018). *Evaluación de la operatividad de Planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ayaviri, provincia de Melgar – Puno*. Puno. Recuperado de:
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9799>
- Prieto Gamboa, C. M. (2009) *Diseño Optimizado de Redes Abiertas: Superficie Óptima de Presiones*. Bogotá. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/1992/16650>
- Spellman, F. R. (2003). *Handbook of wáter and wastewater treatment plant operations*. Recuperado de: <https://www.taylorfrancis.com/books/mono/10.1201/b15579/handbook-water-wastewater-treatment-plant-operations-frank-spellman>
- Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (2010). Metas de Gestión: Presión y Continuidad. Lima. Recuperado de:
https://www.sunass.gob.pe/doc/normas%20legales/2010/re16_2010cd.pdf



- Torre García, A. (2018). *Diseño y análisis ambiental de una Planta de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Huaraz*. Lima. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/20.500.12404/13033>
- Urbina Cepeda, R. O. (2018). *Evaluación de la eficiencia de la Planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE*. Sangolquí. Recuperado de: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/15162>
- Valdez Castañeda, V. (2017). *Evaluación, mejoramiento y optimización hidráulica del sistema de lagunas de estabilización de San José aplicando modelos CFD – Lambayeque, 2017*. San José. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/20.500.12423/2272>
- Vargas Palacios, E. H. (2016). *Evaluación técnica de la Planta de tratamiento de agua residual (PTAR), de la inspección de pueblo nuevo del municipio de Nilo Cundinamarca*. Cundinamarca. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/10983/13901>
- Villar Bautista, J. (2023). *Evaluación de la Planta de tratamiento de aguas residuales N° 02 de la ciudad de Cajabamba - Cajamarca*. Cajamarca. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/20.500.14074/5874>
- Yanapa Ochochoque, K. R. (2015). *Optimización De Redes De Distribución De Agua Potable En Cuatro Comunidades Del Distrito De Pisacoma*. Puno. Recuperado de: <http://tesis.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/4618>
- Yáñez Torrente, S. (2018). *Influencia del pH en la eficiencia del tratamiento de aguas residuales den humedales construidos de flujo vertical*. Coruña. Recuperado de:
<http://hdl.handle.net/2183/20315>
- Yovera Morales, E. Y. (2017). *Evaluación y Mejoramiento del Sistema de agua potable del Asentamiento Humano Santa Ana - Valle San Rafael de la Ciudad de Casma, Provincia de Casma - Ancash, 2017*. Casma. Recuperado de:
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/10237>



ANEXOS

ANEXO 1: Certificados de laboratorio.

ANEXO 2: Fichas de identificación realizadas para el muestreo de aguas residuales.

ANEXO 3: Datos de muestreo y protocolos usados in situ.

ANEXO 4: Panel fotográfico.

ANEXO 5: Operacionalización de variables.

ANEXO 6: Memoria de cálculo de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesto del distrito de Ajoyani.

ANEXO 7: Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales existente del distrito de Ajoyani.

ANEXO 8: Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales propuesto del distrito de Ajoyani.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo ALEXANDER PAUCAR COLLANQUE,
identificado con DNI 72535205 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI - CARABAYA,
2022 "

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 04 de DICIEMBRE del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo ALEXANDER PAUCAR COLLANQUE
identificado con DNI 72535205 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:

"EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE LOS PROCESOS UNITARIOS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO - DE AGUAS RESIDUALES DEL DISTRITO DE AJOYANI - CARABAYA, 2022"

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 04 de DICIEMBRE del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella