



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



**EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD Y PROPUESTA DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
LOCALIDAD DE CONIMA, DISTRITO DE CONIMA, MOHO,
REGIÓN PUNO.**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. DIOMEDES CEREZO VILLASANTE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



DIOMEDES CEREZO VILLASANTE

EVALUACIÓN DE LA OPERATIVIDAD Y PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA LO...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega
trn:oid::8254:415018568

127 Páginas

Fecha de entrega
11 dic 2024, 9:56 a.m. GMT-5

25,433 Palabras

Fecha de descarga
11 dic 2024, 10:13 a.m. GMT-5

141,102 Caracteres

Nombre de archivo
TESIS FINAL FORMATO 2.0.pdf

Tamaño de archivo
5.0 MB

VOCU

12/12/2024

Ing. Jaime Molina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECTOR INU FPIE

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





15% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 13% Fuentes de Internet
- 5% Publicaciones
- 8% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

- Texto oculto**
3 caracteres sospechosos en N.º de páginas
El texto es alterado para mezclarse con el fondo blanco del documento.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Vº Dº

12/12/2024

Ing. Jaime Molina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNANº 910546

Subdirector de Investigación

Ing. Guillermo Nestor Fernandez Sola
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNANº 200555





DEDICATORIA

A mis padres, Justo Cerezo y Rosa Villasante, por ser la motivación constante en mi vida y el orgullo que me impulsa a ser quien soy.

A mi hermano, Yuri Elvis, gracias por ser la razón de mi orgullo al alcanzar esta meta; tu confianza en mí ha sido invaluable.

Para mi adorada princesita, Luana Isabel, quien ilumina mis días y es mi mayor fuente de inspiración para seguir adelante.

Diomedes Cerezo Villasante



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a Dios, por darme la vida y por iluminar mi camino en cada paso de este trayecto.

A mi alma mater, la Universidad Nacional del Altiplano. En particular, agradezco a mi querida Escuela Profesional de Ingeniería Civil y a todo el cuerpo docente, cuyo compromiso y dedicación en la enseñanza han sido cruciales en mi formación profesional.

A mis jurados, agradezco su tiempo y valiosa retroalimentación, que han sido determinantes para elevar la calidad de este trabajo. Sus observaciones y consejos han enriquecido significativamente este estudio.

Mi más profundo agradecimiento al Ing. Guillermo N. Fernández Sila, director de mi tesis, por su constante asesoría, dirección y apoyo incondicional a lo largo de este proceso.

A mi compañera de vida, Eulalia, gracias por ser la luz que ilumina mis días y por tu apoyo constante en cada momento de este camino.

A usted, Sr. René Gómez Julliri (+), que desde el cielo me guía; no puedo dejar de agradecerle por las enseñanzas que me brindaste. Siempre llevaré en mi mente tus consejos, los cuales han dado dirección a mi vida.

Finalmente, quiero agradecer a la Supervisión CES Consulting Engineers Salgitter por su apoyo incondicional durante el desarrollo de esta tesis. En especial, a la Ing. Rocío, al Ing. Alex y al Ing. Alexander, quienes han sido pilares fundamentales en este proceso.

Diomedes Cerezo Villasante



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	19
1.2 PROBLEMAS.	22
1.2.1 Problema general.....	22
1.2.2 Problemas específicos	22
1.3 JUSTIFICACIÓN	23
1.3.1 Justificación teórica.....	23
1.3.2 Justificación Practica.....	24
1.3.3 Justificación social	25
1.3.4 Conveniencia de la investigación	25
1.4 OBJETIVOS.....	26
1.4.1 Objetivo general	26
1.4.2 Objetivos específicos	26



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1	ANTECEDENTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	27
2.1.1	Antecedentes internacionales	27
2.1.2	Antecedentes Nacionales.	30
2.1.3	Antecedentes regionales.....	32
2.2	MARCO LEGAL.	36
2.2.1	Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.....	36
2.2.2	Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.....	36
2.2.3	Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM	37
2.2.4	Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM	38
2.2.5	Reglamento Nacional de Edificaciones	38
2.3	MARCO TEÓRICO.	38
2.3.1	Aguas residuales.....	38
2.3.2	Fuentes de aguas residuales	39
2.3.3	Caudal de las aguas residuales	41
2.3.4	Características de las aguas residuales	43
2.3.5	Características físicas	44
2.3.6	Características químicas.....	48
2.3.7	Características biológicas.....	52
2.3.8	Planta de tratamiento de aguas residuales.....	53
2.3.9	Eficiencia de la remoción de aguas residuales	54
2.3.10	Clasificación de tratamiento de aguas residuales.....	56
2.3.11	Pre-tratamiento o tratamiento preliminar	57
2.3.12	Tratamiento primario	58



2.3.13 Tratamiento secundario	61
2.3.14 Tratamiento y disposición de lodos.....	62
2.3.15 Factores importantes en la selección del sistema de tratamiento	63
2.3.16 Operación y mantenimiento	64

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ASPECTOS GENERALES	66
3.1.1 Ubicación del área de estudio	66
3.1.2 Límites del lugar de estudio	67
3.1.3 Población del distrito de Conima	67
3.1.4 Temperatura	67
3.2 ESQUEMA DE LA PTAR EXISTENTE.	68
3.2.1 Tubería de entrada.....	69
3.2.2 Cámara de rejillas	69
3.2.3 Cámara de distribución de caudales	70
3.2.4 Lagunas de estabilización	70
3.2.5 Criterios de aseguramiento de la calidad	71
3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.	72
3.3.1 Enfoque de investigación.	72
3.3.2 Nivel de investigación.....	72
3.3.3 Tipo de investigación	72
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.	73
3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	73
3.6 DIAGRAMA DE FLUJO.	73
3.7 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN	74



3.7.1	Equipos y materiales	75
3.8	PROCEDIMIENTO.....	76
3.8.1	Planificación y recopilación.....	76
3.8.2	Metodología para la inspección in situ de los procesos unitarios	76
3.8.3	Metodología para la medición de un caudal	76
3.8.4	Metodología para el muestreo de aguas residuales	77
CAPÍTULO IV		
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		
4.1	VARIACIÓN HORARIA DEL CAUDAL DE LA PTAR.....	79
4.1.1	Resultados del caudal con el medidor Parshall por horas	79
4.1.2	Caudales máximos, mínimos y promedio por hora.....	81
4.2	DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA PTAR.....	83
4.2.1	Situación de los servicios	83
4.2.2	Situación de la infraestructura de la PTAR.....	84
4.2.3	Situación actual de la operación y mantenimiento.....	88
4.2.4	Resultados de los muestreos de aguas residuales.....	89
4.3	ANÁLISIS DE LOS LMP Y ECA	92
4.3.1	Análisis de los resultados del efluente con los LMP.....	92
4.3.2	Comparación con los LMP.....	95
4.3.3	Análisis de los ECA para agua categoría 4.	96
4.3.4	Grado de contaminación	98
4.4	EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LA PTAR... ..	99
4.4.1	Definición eficiencia de remoción	99
4.4.2	Resultados de la eficiencia de la PTAR	100
4.4.3	Análisis de eficiencias del sistema.....	101



4.5	PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.....	102
4.5.1	Consideraciones técnicas de la propuesta	103
4.5.2	Pretratamiento	104
4.5.3	Tratamiento primario	104
4.5.4	Tratamiento secundario	107
4.5.5	Tren de tratamiento propuesto	108
4.5.6	Resultado del balance de masas	109
4.5.7	Operación y mantenimiento	110
4.6	DISCUSIÓN	111
V.	CONCLUSIONES	115
VI.	RECOMENDACIONES	117
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
	ANEXOS.....	125

TEMA: TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

ÁREA: HIDRÁULICA

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN: HIDRÁULICA Y MEDIO AMBIENTE.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 26 de diciembre del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 LMP para efluentes de PTAR.....	37
Tabla 2 Fuentes de aguas residuales según Romero.....	39
Tabla 3 Fuentes de aguas residuales según Álvarez.....	40
Tabla 4 Porcentajes de remoción de DBO5, SST y Coliformes.....	54
Tabla 5 Porcentajes de remoción de DBO5 y SST.....	55
Tabla 6 Remoción del agua residual (%).....	55
Tabla 7 Rendimientos medios de depuración.....	56
Tabla 8 Rendimiento de remoción de contaminantes en lagunajes.....	56
Tabla 9 Población total – distrito de Conima.....	67
Tabla 10 Variación de la temperatura (°C).....	67
Tabla 11 Equipos y materiales.....	75
Tabla 12 Variación horaria del caudal.....	80
Tabla 13 Caudales máximos, promedio y mínimos.....	81
Tabla 14 Resultados evaluado in situ de la PTAR.....	84
Tabla 15 Resultados de los parámetros del afluente en laboratorio.....	90
Tabla 16 Resultados de los parámetros de efluente en laboratorio.....	91
Tabla 17 Comparación del efluente con los LMP.....	96
Tabla 18 Comparación del efluente con los ECAs.....	97
Tabla 19 Grado de contaminación del agua residual.....	98
Tabla 20 Resultados de remoción promedio de la PTAR.....	100
Tabla 21 Análisis de eficiencia de remoción (%).....	101
Tabla 22 Tecnologías de tratamiento según a la población a servir.....	105
Tabla 23 Criterio de selección de PTAR.....	106



Tabla 24 Resumen del balance de masas 109



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Vista del estado actual de la PTAR de Conima.....	21
Figura 2 Variación horaria del agua residual según Romero.....	41
Figura 3 Variación del caudal del agua residual según Metcalf & Eddy.....	42
Figura 4 Concentración de los solidos en un agua residual bruta.....	47
Figura 5 Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales.....	54
Figura 6 Vista en planta del Tanque Imhoff	60
Figura 7 Ubicacion del lugar de la PTAR.....	66
Figura 8 Grafico de la variación de temperatura	68
Figura 9 Esquema del tren de tratamiento de la PTAR Conima.....	68
Figura 10 Vista y dimensiones de la cámara de rejás	69
Figura 11 Vista y dimensiones de la cámara de distribución de caudales	70
Figura 12 Vista y dimensiones de las lagunas de estabilización	71
Figura 13 Variables de la investigación.....	74
Figura 14 Variación horaria del caudal.....	82
Figura 15 Cobertura en el servicio de disposición de excretas.....	83
Figura 16 Vista general de la PTAR Conima	84
Figura 17 Estado in situ de la cámara de rejás.....	86
Figura 18 Estado in situ de la cámara de distribución de caudal	87
Figura 19 Estado in situ de las lagunas de estabilización	88
Figura 20 Esquema de la PTAR y las muestras realizadas	89
Figura 21 Vista satelital de la PTAR	90
Figura 22 Vista de la extracción de las muestras para el laboratorio.....	91
Figura 23 Resultados de aceites y grasas en el efluente	92



Figura 24	Resultados de coliformes termotolerantes en el efluente	93
Figura 25	Resultados de DBO ₅ en el efluente	93
Figura 26	Resultados de la DQO en el efluente.....	94
Figura 27	Resultados de pH.....	95
Figura 28	Resultados de solidos totales en suspensión.....	95
Figura 29	Parámetros del cuerpo receptor Lago Titicaca	97
Figura 30	Flujograma de la propuesta en la PTAR.....	102
Figura 31	Área total de la PTAR Conima.....	103
Figura 32	Propuesta de la PTAR para la localidad de Conima.....	109



ACRÓNIMOS

ANA:	Autoridad Nacional del Agua
ASTM:	American Society for Testing and Materials
CEPIS:	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
DATASS	Diagnóstico sobre Abastecimiento de Agua y Saneamiento en el Ámbito Rural
DBO:	Demanda Bioquímica de Oxígeno
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
ECA:	Estándares de Calidad Ambiental
H _a y H _b :	Profundidad del agua residual que circula por el canal
INACAL:	Instituto Nacional de Calidad
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
LMP:	Límites Máximos Permisibles
MINAM:	Ministerio del Ambiente
MVCS:	Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento
NTP:	Norma Técnica Peruana
OMS:	Organización Mundial de la Salud
pH:	Potencial de Hidrógeno
PTAR:	Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones
TULSMA:	Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente



RESUMEN

Las plantas de tratamiento de aguas residuales en el país presentan deficiencias que generan un impacto ambiental negativo. En la localidad de Conima, existe incertidumbre sobre el estado operativo de su planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) y su capacidad para cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP), esta investigación evaluó la operatividad de la PTAR y propuso mejoras mediante un enfoque cuantitativo, con propósito aplicado, nivel descriptivo y diseño no experimental. Se recolectaron muestras del afluente y efluente de la planta, analizando parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, los resultados mostraron un caudal máximo de ingreso de 3.201 l/s en el afluente, Aunque el pH, aceites y grasas, y coliformes termotolerantes en el efluente no superan los LMP, la demanda biológica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO) y sólidos totales no cumplen con estos límites. En relación a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua categoría 4, el pH, DBO, sólidos totales y coliformes totales exceden significativamente los límites permitidos, lo que indica que la PTAR contamina el cuerpo receptor y representa un riesgo para la salud humana y el medio ambiente. La eficiencia operativa de la PTAR fue del 41.05% en sólidos totales, 41.53% en DBO, 41.97% en DQO y 22.14% en aceites y grasas, todos por debajo de los estándares óptimos de operación de las estructuras, se identificó como principal deficiencia la ineficiencia en operación y mantenimiento, en base a estos hallazgos, se propone un diseño de mejora que incluye una cámara de rejillas, un desarenador, un medidor Parshall, dos tanques Imhoff, lagunas facultativas y de maduración, lecho de secados, así como con un plan de operación y manteniendo para asegurar que los efluentes cumplan con los estándares requeridos.

Palabras Clave: Aguas residuales, Caudal, Eficiencia, Planta de tratamiento.



ABSTRACT

Wastewater treatment plants in the country have deficiencies that generate a negative environmental impact. In the town of Conima, there is uncertainty about the operational status of its wastewater treatment plant (WWTP) and its ability to comply with the Maximum Permissible Limits (MPL). This research evaluated the operation of the WWTP and proposed improvements through a quantitative approach, with an applied purpose, descriptive level and non-experimental design. Samples of the plant's influent and effluent were collected, analyzing parameters established in Supreme Decree No. 003-2010-MINAM. The results showed a maximum inflow of 3,201 l/s in the influent. Although the pH, oils and fats, and total coliforms of the effluent comply with the MPL, the biological oxygen demand (BOD), chemical oxygen demand (COD) and total solids exceed these values. In relation to the Environmental Quality Standards (ECA) for category 4 water, the pH, BOD, total solids and total coliforms significantly exceed the permitted limits, indicating that the WWTP contaminates the receiving body and represents a risk to human health and the environment. The operational efficiency of the WWTP was 41.05% in total solids, 41.53% in BOD, 41.97% in COD and 22.14% in oils and greases, all below the optimal operating standards of the structures. The main deficiency was identified as inefficiency in operation and maintenance. Based on these findings, an improvement design is proposed that includes a screen chamber, a sand trap, a Parshall meter, two Imhoff tanks, facultative and maturation lagoons, a drying bed, as well as an operation and maintenance plan to ensure that the effluents meet the required standards.

Keywords: Wastewater, Flow, Efficiency, Treatment plant.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de aguas residuales es esencial para asegurar la adecuada gestión de los desagües domésticos, requiriendo un proceso de depuración previo a su vertido (Romero, 2001). Sin embargo, la falta de un tratamiento adecuado ha agravado el problema, afectando especialmente a las poblaciones de bajos recursos que sufren la escasez y contaminación del agua (Unzueta *et al.*, 2004). En Perú, muchas estaciones depuradoras no cuentan con el tratamiento necesario debido a una visión errónea por parte de las Empresas Prestadoras de Servicios, lo que resulta en la contaminación de aguas subterráneas y superficiales (Méndez y Marchán, 2008). Este proceso es crucial para prevenir la contaminación de cuerpos receptores y cumplir con la normativa legal vigente.

La presente investigación se centra en evaluar la operatividad de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima. Se identificaron los componentes del sistema de tratamiento y se caracterizaron las aguas residuales en sus puntos de entrada y salida. A partir de un análisis exhaustivo, se propone una optimización del funcionamiento de la planta. La tesis está organizada en los siguientes capítulos que facilitan su comprensión:

Capítulo I: Introducción, se presentan los aspectos clave de la investigación.

Capítulo II: Revisión de la Literatura, se recopilan antecedentes, se establece el marco normativo y se desarrolla una base teórica para el análisis.

Capítulo III: Materiales y Métodos, se detalla las características de los materiales utilizados en la investigación, el procedimiento metodológico empleado.



Capítulo IV: Resultados y Discusión, Se presentan los resultados obtenidos a partir de las pruebas realizadas tanto en campo como en laboratorio.

Finalmente, se presentan las conclusiones, que están alineadas con los objetivos planteados, y se sugieren futuras líneas de investigación que podrían enriquecer el estudio. Asimismo, se incluyen las referencias bibliográficas.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La OMS, (2023) ha señalado que el agua contaminada y el saneamiento deficiente son factores críticos en la transmisión de enfermedades infecciosas, incluyendo diarrea, cólera, hepatitis A, poliomielitis y fiebre tifoidea. Anualmente, se estima que cerca de 500,000 muertes son atribuidas a enfermedades diarreicas relacionadas con la insalubridad del agua. La falta de acceso a servicios adecuados de agua y saneamiento expone a la población a serios riesgos de salud. Para lograr una cobertura universal de servicios básicos de agua potable para el año 2030, es esencial implementar estrategias efectivas para la recuperación del agua y la reutilización de aguas residuales. En 2021, la OMS reportó que más de 2,000 millones de personas vivían en países con escasez de agua, una situación que probablemente se agravará debido al cambio climático y al crecimiento poblacional. Además, en 2022 se informó que al menos 1,700 millones de personas consumían agua contaminada con heces fecales.

El MVCS, (2022) mediante el Plan Nacional de Saneamiento 2022-2026 (PNS 2022-2026), aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, tiene como objetivo fundamental garantizar el acceso universal, sostenible y de calidad a los servicios de saneamiento en las áreas urbanas y rurales del país. Este plan reconoce que la disponibilidad de servicios de saneamiento adecuados no solo es esencial para la salud pública, sino que también mejora la calidad de vida de la población. Según estimaciones,



en el año 2020, aproximadamente 2.8 millones de personas no contaban con acceso a agua potable, mientras que más de 7 millones carecían de servicios de alcantarillado o sistemas adecuados para la disposición de excretas. Además, se estima que 7.5 millones de personas tenían sus aguas residuales recolectadas, pero no tratadas, lo cual constituye un peligro considerable para la salud pública y el entorno.

GORE, (2021) aprueba la Resolución Ejecutiva Regional N° 207-2021-GR-GR Puno establece que en la región de Puno operan cinco prestadoras de servicios de saneamiento: NOR Puno SA, SEDA Juliaca SA, EMSA Puno SA, EMAPA-Y SRL y AGUAS DEL ALTIPLANO SA. El resto de los servicios son gestionados por municipalidades y organizaciones comunales. Sin embargo, A nivel regional, no se han registrado indicadores de tratamiento de aguas residuales que satisfagan las normativas de LMP y ECA. A nivel de la provincia de Moho, se observa una disminución poblacional del 9.34% según el censo del INEI (2017), proyectado para el año 2025. Además, en un 90% se carece de información sobre el acceso al servicio de tratamiento de aguas residuales. Esta problemática se intensifica debido a la falta de objetivos definidos, estrategias adecuadas o indicadores vinculados al saneamiento en la región.

ANA, (2017) emite la Resolución Directoral Nro. 0032-2017-ANA-AAA.TIT, ha notificado mediante la Administración Local de Agua Huancané a la municipalidad distrital de Conima sobre la imposición de una sanción de 10 UIT debido al vertimiento inadecuado de aguas residuales en un cuerpo receptor. Esta situación resalta la necesidad urgente de evaluar la operatividad de la PTAR, dado que un tratamiento inadecuado podría resultar en la contaminación de los alimentos, ocasionando serios problemas de salud pública. Es crucial que se realice un análisis exhaustivo del funcionamiento de la PTAR para asegurar que cumpla con los estándares necesarios y evite impactos negativos en la salud y el medio ambiente.

La planta de tratamiento de aguas residuales de Conima, ubicada en la provincia de Moho, región Puno, fue establecida en 1993 y cuenta con un sistema que incluye una cámara de rejas, una cámara de distribución de caudales y dos lagunas de estabilización en paralelo. Sin embargo, su estado operativo actual es deficiente, lo que ha provocado la aparición de enfermedades como diarrea, hepatitis A y fiebre tifoidea en la localidad. Esta situación se agrava por la falta de un sistema adecuado para la disposición de excretas (ver figura 1), esto constituye un riesgo considerable para la salud pública y el medio ambiente. La falta de información sobre el funcionamiento de la planta no solo complica la evaluación de su eficacia, sino que también genera incertidumbres respecto a su impacto ambiental y su efecto en la salud pública. Como consecuencia, la PTAR de Conima fue multada con 10 UIT. Por lo tanto, es esencial realizar un análisis exhaustivo del funcionamiento de la planta para asegurar su eficacia en el tratamiento de aguas residuales y su conformidad con las normativas vigentes.

Figura 1

Vista del estado actual de la PTAR de Conima



Nota. Se aprecia los lodos en las lagunas con el crecimiento de la vegetación.



1.2 PROBLEMAS.

1.2.1 Problema general

¿Cuál es la situación operativa actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima y que propuesta de diseño se puede implementar para optimizar su funcionamiento y garantizar el cumplimiento con los estándares ambientales establecidos?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cómo es la variación horaria del caudal en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Conima, mediante la recolección y análisis de datos de caudal cada hora durante un periodo de 24 horas en días representativos?
- ¿Cuál es el diagnóstico técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima?
- ¿Cuál es la calidad del efluente según la caracterización de los parámetros físico, químicos y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima?
- ¿Cómo determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima?
- ¿Cuál es la propuesta de diseño que se puede implementar en la planta de tratamiento de aguas residuales de Conima para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos?



1.3 JUSTIFICACIÓN

La presente investigación se justifica por el creciente interés en la calidad del vertimiento de aguas residuales, lo que hace necesario analizar su cumplimiento con la normativa vigente. La investigación surge ante la falta de soluciones adecuadas para el tratamiento de aguas residuales, que está generando un impacto negativo en la población. Es nuestra responsabilidad abordar la contaminación del agua y proponer sistemas eficientes de tratamiento, adaptados a las características específicas de la zona.

El estudio de la operatividad en el tratamiento de aguas residuales es crucial para identificar oportunidades de mejora en los procesos de las plantas de tratamiento. Los resultados obtenidos permitirán evaluar si la PTAR cumple con la normativa vigente sobre el vertimiento, y servirán como base para futuras investigaciones en esta área, en la región de Puno, no se han realizado investigaciones previas sobre el funcionamiento del sistema de tratamiento de aguas en las condiciones específicas de esta área.

Este conocimiento es esencial para evitar la construcción de nuevas plantas sin un entendimiento claro de su eficiencia en la remoción de contaminantes, dado que muchas instalaciones existentes operan por debajo de su capacidad. Además, una adecuada selección y optimización de los sistemas de tratamiento puede traducirse en una reducción significativa de costos operativos y una mejora en la eficiencia del uso de recursos.

1.3.1 Justificación teórica

Desde el punto de vista teórico, aunque ya existen estudios sobre la operatividad de plantas de tratamiento de aguas residuales en diversas regiones, se ha identificado una notable ausencia de investigaciones específicas en la localidad de Conima. Este vacío en la literatura científica es significativo, ya que el conocimiento detallado sobre la operatividad de la PTAR en esta área es



fundamental para proponer mejoras en los procesos actuales y beneficiará a la comunidad local y fomentará futuras exploraciones en este campo crítico. Además, según MINAM (2013) indica que el Lago Titicaca, actúa como un colector de aguas de varios ríos, incluyendo Ramis, Huancané, Coata, Ilave y Suches. Sin embargo, solo un 17% de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región cumplen con las normativas básicas de operación y disposición final. Esto implica que un alarmante 83% de las aguas residuales no reciben el tratamiento adecuado, lo que contribuye a la pérdida de calidad ambiental en la Reserva Nacional del Titicaca. Las amenazas identificadas pueden tener impactos negativos significativos en la biodiversidad, los ecosistemas y la salud de las comunidades locales.

1.3.2 Justificación Práctica

La investigación actual, desde una perspectiva práctica, examina la apremiante necesidad de optimizar la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima. Esta planta presenta actualmente fallas operativas que conducen a un tratamiento ineficaz de las aguas residuales domésticas, lo cual representa un serio peligro para la salud pública y los ecosistemas circundantes. Además, este estudio no solo se enfoca en identificar las deficiencias presentes en la planta, sino que también tiene como objetivo proponer soluciones prácticas que reduzcan los riesgos vinculados al tratamiento inadecuado de aguas residuales. Según Pacori (2024) indica que, el tratamiento de aguas residuales ha generado un impacto negativo en la salud pública y el medio ambiente, lo que subraya la urgencia de desarrollar soluciones efectivas para mitigar la contaminación del agua. Es nuestra responsabilidad proponer sistemas de tratamiento que sean no



solo eficientes, sino también adaptados a las características específicas de cada zona.

1.3.3 Justificación social

La investigación sobre la calidad del efluente de la planta de tratamiento en la localidad de Conima es esencial desde una perspectiva social, ya que promueve un enfoque participativo en la gestión de las aguas residuales. Esta investigación no solo busca informar a la población local sobre la calidad del agua que se vierte en su entorno, sino que también tiene el potencial de empoderar a la comunidad al convertirla en un actor clave en la toma de decisiones relacionadas con su propio bienestar. Así como indica Auccatinco (2021), el saneamiento básico es un pilar fundamental para garantizar la salud y el bienestar de los habitantes, especialmente ante el crecimiento poblacional. La gestión inadecuada de las aguas residuales no solo incrementa el riesgo de enfermedades infecciosas y endémicas, sino que también deteriora la calidad del agua y del medio ambiente.

1.3.4 Conveniencia de la investigación

La conveniencia del estudio evidencia la creciente preocupación y el interés en la calidad del vertimiento de aguas residuales, un tema de vital importancia para la sostenibilidad ambiental y la salud pública. En este contexto, es fundamental analizar el cumplimiento de las normativas vigentes que regulan el tratamiento y su vertimiento. Según Díaz *et al.* (2020), ante la problemática del vertimiento de aguas residuales domésticas en el lago Titicaca, se ha observado que los sistemas de tratamiento existentes han colapsado o presentan baja eficiencia en su funcionamiento. Esta situación ha llevado a la contaminación de los cuerpos de agua, lo que representa un grave riesgo para la salud pública y el



medio ambiente. Es crucial identificar las causas subyacentes que han contribuido a esta ineficacia, ya que esto permitirá un análisis detallado y la formulación de medidas correctivas efectivas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la operatividad actual de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima y proponer un diseño que optimice su funcionamiento y cumpla con los estándares ambientales establecidos.

1.4.2 Objetivos específicos

- Evaluar la variación horaria del caudal en el afluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Conima, mediante la recolección y análisis de datos de caudal cada hora durante un periodo de 24 horas en días representativos.
- Realizar un diagnóstico técnico de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Conima.
- Analizar la calidad del efluente según la caracterización de los parámetros físico, químicos y microbiológico de la planta de tratamiento de aguas residuales en la localidad de Conima.
- Determinar la eficiencia en la remoción de contaminantes en la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Conima
- Propuesta de diseño para optimizar el funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de Conima, garantizando el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ANTECEDENTE DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

2.1.1 Antecedentes internacionales

Gallardo y Jiménez (2023) Se realizó un estudio con el objetivo de desarrollar un sistema de alcantarillado sanitario y una planta de tratamiento de aguas residuales en el barrio Bellavista, situado en el cantón Salcedo, provincia de Cotopaxi, Ecuador. Para llevar a cabo esta investigación, se utilizó una metodología cuantitativa con un enfoque descriptivo y un diseño no experimental de tipo transversal. Los hallazgos indican que el agua puede ser tratada de manera efectiva a través de procesos biológicos, lo cual se evidencia por la correlación de 0.765 entre la Demanda Biológica de Oxígeno y la Demanda Química de Oxígeno. Además, se estableció un caudal conforme a la normativa para el suministro de agua potable, resultando en un caudal de 15.95 l/s en la entrada de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Con este caudal, se recalcularon los procesos unitarios necesarios para los distintos componentes del sistema, que incluyen el canal de entrada, cribado, desarenador, tanque Imhoff, sedimentador, digestor y lecho de secado. Finalmente, los autores proponen un nuevo modelo óptimo para el tren de tratamiento, comenzando con un sistema de cribado que separa partículas de 2 y 5 mm. Este proceso se complementa con un desarenador y una línea de lodos que conduce al lecho de secado. El caudal continúa su trayectoria hacia los siguientes componentes del sistema, que incluyen el tanque Imhoff y un filtro anaerobio de flujo ascendente. Para el diseño y



dimensionamiento de cada uno de estos componentes, se verificaron las condiciones específicas del área del proyecto.

Izurieta (2020) en su tesis se centra en la evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales de la parroquia Poatug, ubicada en el cantón Patate, provincia de Tungurahua, Ecuador. El objetivo principal es realizar un levantamiento de información sobre la planta y llevar a cabo un análisis del agua en sus puntos de entrada y salida. La metodología empleada se basa en un enfoque cuantitativo y, en función de su propósito, se clasifica como investigación aplicada con un nivel descriptivo. En cuanto al periodo de estudio, se trata de una investigación transversal. Los resultados obtenidos indican que los porcentajes de eliminación de contaminantes en la PTAR son los siguientes: DBO (27%), DQO (43%), sólidos suspendidos (12%), fósforo total (17%) y nitrógeno total (85%). Al comparar estos resultados con los parámetros establecidos por la normativa TULSMA para las descargas de aguas residuales tratadas, se observa que el fósforo total, los sólidos suspendidos y el nitrógeno total cumplen con los límites permitidos; sin embargo, las concentraciones de DQO y DBO no cumplen con los requisitos normativos. Además, se llevó a cabo la medición del caudal utilizando el método volumétrico durante siete días, registrando variaciones entre 0.622 lt/s y 5.042 lt/s, con un pico de caudal observado entre las 12:00 y 13:00 horas. Izurieta concluye que el agua residual que ingresa a la planta presenta altas concentraciones de DBO y DQO, lo que indica que el efluente tratado no cumple con las normativas vigentes del TULSMA 2015 para su vertimiento en cuerpos de agua dulce. Finalmente, se analiza el estado actual de la PTAR, que, aunque está operativa, no cumple con los parámetros y recomendaciones estipulados en los manuales de diseño. Por ello, se sugiere una intervención civil en sus estructuras



hidráulicas para mejorar su eficiencia operativa. También se propone un plan de operación y mantenimiento destinado a facilitar la gestión por parte del personal encargado de su funcionamiento.

Mercado et al. (2020), en su artículo científico titulado “Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia”, llevan a cabo un estudio exhaustivo sobre cinco plantas de tratamiento: Colomi, El Paso, Tarata, Ucareña y San Pedro Magisterio. El objetivo principal es analizar la relación entre la eficiencia en la remoción de contaminantes y los métodos de operación y mantenimiento aplicados en estas instalaciones. La metodología empleada incluye la inspección y toma de muestras de aguas residuales en los afluentes y efluentes de las plantas entre los años 2012 y 2017, utilizando el método volumétrico para medir caudales. En resumen, se establece que la efectividad en el tratamiento de aguas residuales está determinada por diversos factores, incluyendo el tipo de tecnología empleada, la calidad del afluente y las prácticas de operación y mantenimiento, todos los cuales están íntimamente ligados a la gestión de las plantas. Además, se evidencia una relación directa entre la eficiencia en parámetros fundamentales, como la DBO y la DQO, y los criterios de operación y mantenimiento. En particular, se ha observado que una mayor eficacia en el tratamiento se asocia con mejores calificaciones en operación y mantenimiento en las plantas analizadas. Además, este estudio proporciona una visión crítica sobre cómo diferentes aspectos operativos pueden influir en la efectividad del tratamiento de aguas residuales, sugiriendo que una mejora en las prácticas de operación y mantenimiento podría llevar a un aumento significativo en la eficiencia del tratamiento.



2.1.2 Antecedentes Nacionales.

Auccatinco (2021), llevó a cabo una investigación sobre la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia de Quispicanchi, Cusco. El objetivo principal del estudio fue evaluar los límites máximos permisibles, así como estimar la eficiencia y la carga contaminante promedio mediante un aforo volumétrico en el efluente de la planta. La metodología usada tiene un nivel descriptivo, el tipo de investigación es aplicada. Los resultados revelaron que, al comparar los parámetros analizados con los LMP., se encontró que aceites y grasas, pH, y sólidos suspendidos totales cumplían con las normativas, mientras que coliformes termotolerantes, DBO y DQO no cumplían, mostrando eficiencias inferiores al 36%. En términos específicos, la eficiencia de la planta en la remoción de materia orgánica fue alarmantemente baja, con valores de 26.9% para DBO5 y 23.8% para DQO, lo que indica que la planta no está realizando adecuadamente la eliminación de materia orgánica. Además, la eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos totales fue limitada, alcanzando solo un 35.9%. En conclusión, se determinó que la eficiencia general de la planta es muy baja, lo que afecta gravemente la calidad del efluente tratado. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Cusipata realizar con urgencia la extracción de lodos y llevar a cabo el mantenimiento necesario en todos los componentes de la planta. Además, es crucial implementar un plan sistemático de mantenimiento y operación para mejorar el desempeño de la planta de tratamiento.

Villar (2023), realizó una evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales N° 02 en Cajabamba, Cajamarca, enfocándose en la descontaminación y el estado de sus estructuras. Se empleó una metodología de enfoque cuantitativo



y nivel descriptivo, caracterizándose por ser una investigación no experimental de tipo transversal y aplicada. El estudio abarcó la descripción de elementos como el pretratamiento, los tanques Imhoff, los filtros percoladores y los sedimentadores secundarios. Se detectaron problemas estructurales, tales como grietas y deterioro en diversas áreas de la planta. Además, los parámetros de calidad del agua, incluyendo DBO (118 mg/l), DQO (245 mg/l) y coliformes termotolerantes (4,000,000 NMP/100 ml), excedieron los límites permitidos. El caudal que ingresa a la PTAR fue medido utilizando un correntómetro, obteniendo valores entre 13.92 lt/s y 24.09 lt/s, siendo el mayor caudal registrado entre las 10:00 y las 11:00 horas. Se concluyó que los tanques Imhoff son efectivos en la eliminación de DQO, mientras que los filtros percoladores presentaron deficiencias en la reducción de sólidos suspendidos totales y materia orgánica. Además, se observó la presencia de moho y hongos que no afectan actualmente el funcionamiento, pero requieren atención futura para evitar problemas. Se recomendó implementar un mantenimiento regular para prolongar la vida útil de las estructuras y mejorar los procesos de depuración.

Alfaro y Nina (2022), desarrollan una investigación centrada en el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para la comunidad campesina de Llaspay, ubicada en Cusco. Los objetivos principales incluyen la caracterización fisicoquímica y microbiológica de las aguas residuales y el diseño técnico de la planta. La metodología empleada es 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. Los resultados obtenidos indican que los parámetros analizados, como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (229.33 mg/l), Demanda Química de Oxígeno (405.63 mg/l), y otros, superan los límites



permisibles establecidos para efluentes. Además, se identificó que el diseño de la PTAR incluye un tratamiento preliminar con cámara de rejas y desarenador, un tanque Imhoff para el tratamiento primario, y un lecho de secado para los lodos generados. La conclusión del estudio destaca que los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos analizados, como el pH (7.85) y los coliformes totales (14E05 NMP/100 ml), evidencian una contaminación significativa en las aguas residuales vertidas por la población. El diseño propuesto se ajusta a la Norma OS 090, considerando criterios como el caudal y la población a servir, lo que garantiza que la planta de tratamiento de aguas residuales satisfaga las necesidades de la comunidad a largo plazo.

2.1.3 Antecedentes regionales

Paucar (2023), Se realizó una investigación titulada "Evaluación de la eficiencia de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani – Carabaya, 2022". Este estudio tuvo como objetivos principales determinar la eficacia en la eliminación de contaminantes en todas las estructuras de la planta, comprobar el cumplimiento de los límites máximos permisibles y estándares de calidad ambiental, así como describir el estado actual de la planta. La metodología empleada se basó en un enfoque cuantitativo, con un propósito aplicado y un nivel descriptivo, utilizando un diseño transversal. Los resultados indicaron que la eficiencia promedio en la remoción de contaminantes varió según diferentes parámetros: Conductividad eléctrica 16.60%, DQO 42.45%, DBO 57.27%, Sólidos totales 50.15%, Aceites y grasas 8.96% y Coliformes totales -68.97%, lo que sugiere una mayor carga contaminante en el efluente que en el afluente. En cuanto al cumplimiento con los LMP, se observó que el pH y los aceites y grasas estaban dentro de los límites permitidos, mientras



que la DBO, DQO y coliformes totales excedieron los límites establecidos. Respecto a los ECA categoría 3, solo el pH y la conductividad eléctrica cumplieron con los estándares requeridos, mientras que otros parámetros como DBO y DQO superaron significativamente los límites establecidos. El autor concluyó que la planta presenta deficiencias operativas y de mantenimiento, lo que afecta su capacidad para cumplir con los LMP y ECA necesarios para el vertimiento seguro del efluente. Para mejorar la eficiencia en la remoción de contaminantes, se propuso un nuevo tren de tratamiento que incluye: Cámara de rejillas y desarenador, tanque Imhoff, filtro percolador/biológico, lagunas facultativas, cámara de contacto con cloro y lecho de secado; esta propuesta se fundamenta en una caracterización fisicoquímica detallada y un diagnóstico exhaustivo de la infraestructura existente.

Pacori (2024), En su investigación titulada evaluación de la eficiencia y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales en Lampa, aborda la evaluación de la calidad físico-química y microbiológica del efluente de la planta, conforme a los estándares establecidos en el DS N° 003 – 2010 – MINAM, y proponer soluciones para mitigar la contaminación del río y los olores desagradables causados por las aguas residuales. La investigación emplea una metodología de enfoque cuantitativo, clasificada como no experimental y de alcance descriptivo. Se realizaron análisis en diversas temporadas (de lluvia y estiaje) con el fin de evaluar la eficiencia del sistema de tratamiento. Se midieron parámetros como sólidos suspendidos totales, DQO, DBO y coliformes termotolerantes, los resultados revelan que: En temporada de lluvia, los SST alcanzaron valores de 584 mg/l y 588 mg/l, mientras que en estiaje se registró un valor de 575 mg/l, esta variación se atribuye a la sedimentación arrastrada por las



lluvias. La DQO mostró un máximo de 518 mg/l durante la época de estiaje y con valores menores en época de lluvia de 495mg/l y 350 mg/l. Los aceites y grasas presentaron un valor máximo de 13 mg/l en épocas de estiaje, comparado con 12 mg/l en épocas de lluvia. La DBO se puede observar que en épocas de estiaje se tiene mayor carga orgánica y en épocas de lluvia se tiene menos carga debido a la menor dilución por precipitaciones. Además, se observó que los niveles de coliformes eran significativamente más altos durante el estiaje, alcanzando hasta 1,200,000 NMP/100ml, en comparación con 1,100,000 NMP/100ml durante las lluvias. En conclusión, los parámetros evaluados (DBO5, DQO, SST) exceden los límites máximos permisibles establecidos por el DS N° 003 – 2010 – MINAM. Se identificaron deficiencias operativas en el tratamiento primario y secundario, particularmente en los tanques Imhoff y filtros percoladores. Se propuso un nuevo diseño para la planta que incluye: Un sistema de decantación primaria, un sistema de lodos activados para el tratamiento secundario, basado en un balance de masas que demuestra una eficiencia del 75.18%. Este enfoque busca mejorar significativamente la eficiencia del tratamiento y cumplir con las normativas ambientales vigentes.

DÍAZ *et al.* (2020) realizaron una investigación científica titulado "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". Este trabajo busca proponer mejoras en la operatividad de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas (PTARD), con la finalidad de reducir la contaminación del lago Titicaca en el sector peruano. La investigación fue presentada en la Conferencia de Innovación IWA-BID sobre Uso Sostenible del Agua, celebrada en Guayaquil, Ecuador, en octubre de 2019.



El objetivo general del estudio es contribuir con propuestas que optimicen el funcionamiento de las PTARD, abordando un diagnóstico situacional de 16 sistemas ubicados alrededor del lago. La metodología de la investigación tiene enfoque cuantitativo, método inductivo, diseño no experimental, es transeccional, investigación básica, descriptiva, la población es igual que la muestra. Los resultados revelan que la principal dificultad operativa es la escasez de mantenimiento a las PTARD. Un 56.25% de los encuestados no había realizado mantenimiento alguno en los últimos cinco años, mientras que el 31% solo había efectuado uno. Las causas principales son económicas: el mismo porcentaje indicó tener presupuestos restringidos, lo que limita los recursos destinados al mantenimiento. Además, el estudio identifica que el 50% de las plantas utilizan un proceso de tratamiento primario, mientras que solo el 25% emplea procesos primarios, secundarios y terciarios. En cuanto a la operación, el 68.75% funciona manualmente, lo que puede afectar su eficiencia. En los impactos y recomendaciones indica que, la falta de mantenimiento se traduce en varios problemas ambientales y sociales, como la generación de olores fétidos, que afectan la salud pública y generan conflictos sociales. Se incumplen normas ambientales, específicamente la Ley de Recursos Hídricos (Ley No 29338), que prohíbe verter aguas residuales no tratadas al lago. Entre las recomendaciones del estudio se incluyen: realizar mantenimientos periódicos a las 16 PTARD, capacitar al personal operativo, establecer convenios entre instituciones estatales y universidades para fomentar investigaciones sobre PTARD y aplicar nuevas tecnologías.

2.2 MARCO LEGAL.

2.2.1 Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.

Artículo 79.- Vertimiento de agua residual: La Autoridad Nacional del Agua (ANA) autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marítima sobre la base del cumplimiento de los ECA-Agua y LMP. Queda totalmente prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. (modificado por el Decreto Legislativo N° 1285).

Artículo 120.- Infracción en materia de agua: Constituye infracción en materia de agua, toda acción u omisión tipificada en la presente Ley. El Reglamento establece el procedimiento para hacer efectivas las sanciones: Realizar vertimientos sin autorización.

2.2.2 Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.

Artículo I.- Del derecho y deber fundamental: Toda persona posee el derecho irrenunciable a habitar en un entorno saludable, equilibrado y apropiado para el pleno desarrollo de la vida, así como contribuir a una efectiva gestión ambiental y de salvaguardar el medio ambiente, así como sus componentes.

Artículo 31.- Del Estándar de Calidad Ambiental (ECA): Se trata de la medida que determina el grado de concentración de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos en el aire, agua o suelo, considerados como cuerpos receptores, y que no implica un riesgo significativo para la salud humana ni para el medio ambiente

Artículo 32.- Del Límite Máximo Permisible (LMP): Se refiere a la medida de la concentración o el grado de elementos, sustancias o parámetros físicos,

químicos y biológicos que caracterizan un efluente. Cuando estos niveles son superados, pueden ocasionar daños a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente. La responsabilidad de su determinación recae en el Ministerio del Ambiente (modificado por el Decreto Legislativo N° 1055).

2.2.3 Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Artículo 1°.- Aprobaron los LMP para los efluentes de las PTAR Domésticas o Municipales, la tabla 1 forman parte del Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Tabla 1

LMP para efluentes de PTAR

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
Solidos suspendidos totales	mg/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota: Anexo del Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM

Artículo 3°.- Cumplimiento de los LMP de Efluentes de PTAR: Son de cumplimiento obligatorio.

Artículo 4°.- Programa de Monitoreo: Los responsables de las PTAR deben llevar a cabo el monitoreo de sus efluentes, según lo establecido en el Programa de Monitoreo aprobado MVCS. Este programa detallará la ubicación de los puntos de control, los métodos y técnicas apropiadas, así como los parámetros y la frecuencia de muestreo correspondientes a cada uno.



2.2.4 Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM

Artículo 3.- Categorías de los ECA-Agua: En la implementación de los ECA para Agua establece varias categorías. Siendo la categoría 3 se refiere al riego de vegetales y bebidas de animales (aguas utilizadas para el riego de los cultivos vegetales) y la Categoría 4 abarca la conservación del ambiente acuático (cuerpos naturales de agua superficiales como: las lagunas y lagos, ríos, ecosistemas costeros y marinos)

2.2.5 Reglamento Nacional de Edificaciones

Aprobadas por la ley N° 27792 y sus modificatorias, en la presente investigación se tomará como referencia la Norma OS.090 (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) y la Norma OS.100 (Consideraciones básicas de diseño).

2.3 MARCO TEÓRICO.

2.3.1 Aguas residuales

Pérez *et al.* (2020) Las aguas residuales son producto de las actividades realizadas por el ser humano y están formadas por una mezcla de sustancias orgánicas e inorgánicas. Estas aguas pueden contener restos de alimentos, residuos de lavado doméstico y otros contaminantes, presentándose en formas sueltas, mezcladas o suspendidas. Además, pueden incluir componentes minerales derivados del uso de pinturas, aceites y productos químicos.

Panca (2016) define a las aguas residuales son el resultado del uso humano del agua y contienen una mezcla de materiales orgánicos, sólidos, nutrientes y compuestos inorgánicos, dependiendo de su origen. Estas aguas son

recolectadas para ser tratadas antes de su vertimiento en cuerpos de agua. Es importante destacar que su temperatura suele ser superior a la del agua potable debido a la inclusión de líquidos calientes generados durante diversas actividades.

Hernández (1998) indica que el agua se considera contaminada o polucionada cuando su calidad se ve afectada, directa o indirectamente, por actividades humanas. La distinción clave radica en la fuente de las impurezas: aquellas generadas por procesos naturales no se consideran contaminantes, mientras que las derivadas de la intervención humana sí afectan negativamente la calidad del agua.

2.3.2 Fuentes de aguas residuales

Romero (1999) define las fuentes de aguas residuales como aquellas aguas usadas y los sólidos que se introducen en las cloacas y son transportadas por el sistema de alcantarillado, según su procedencia se definen según la tabla 2.

Tabla 2

Fuentes de aguas residuales según Romero

Denominación	Procedencia
Aguas residuales domesticas	Proviene de viviendas o residencias, instituciones y edificios comerciales.
Aguas residuales municipales	Residuos líquidos que son transportados por el alcantarillado de una población o ciudad para luego ser tratados en una PTAR.
Aguas residuales industriales	Proviene de la descargas de industrias de manufactura.
También denominado:	
Aguas negras	Proviene de inodoros (excrementos humanos y orina), ricas en solidos suspendidos, coliformes, nitrógeno.

Denominación	Procedencia
Aguas grises	Proviene de duchas, tinas, lavadoras y lavamanos, estos aportan DBO, fosforo, coliformes fecales, solidos suspendidos y grasas.

Nota. Adaptado a la teoría de Romero (1999).

Según Álvarez (2004), las aguas residuales se clasifican según su origen, lo que refleja la diversidad de fuentes de las que provienen que se muestran en la tabla 3. Esta clasificación es esencial para la gestión y tratamiento adecuado de las aguas residuales, asegurando que cada tipo reciba el tratamiento específico necesario para minimizar su impacto ambiental.

Tabla 3

Fuentes de aguas residuales según Álvarez

Denominación	Procedencia
Aguas residuales domésticas	Resultan de actividades en viviendas, edificios públicos y otras instalaciones habitadas por personas.
Aguas residuales comerciales	Generadas en locales comerciales e instituciones, cuya composición es similar a las aguas domésticas.
Aguas residuales industriales	Proviene de procesos industriales y son recolectadas por sistemas de alcantarillado diseñados para aguas domésticas, aunque su composición puede ser diferente debido a los productos utilizados en la industria.
Aguas residuales agropecuarias	Derivan de actividades agrícolas, especialmente del riego y drenaje, y suelen contener productos químicos como plaguicidas e insecticidas.
Aguas residuales ganaderas	Estas aguas tienen características particulares debido a la contaminación generada por el lavado de ganado y otros usos relacionados con la ganadería.
Aguas subterráneas	Se infiltran al alcantarillado, especialmente durante períodos de fuertes precipitaciones cuando el nivel freático es alto.

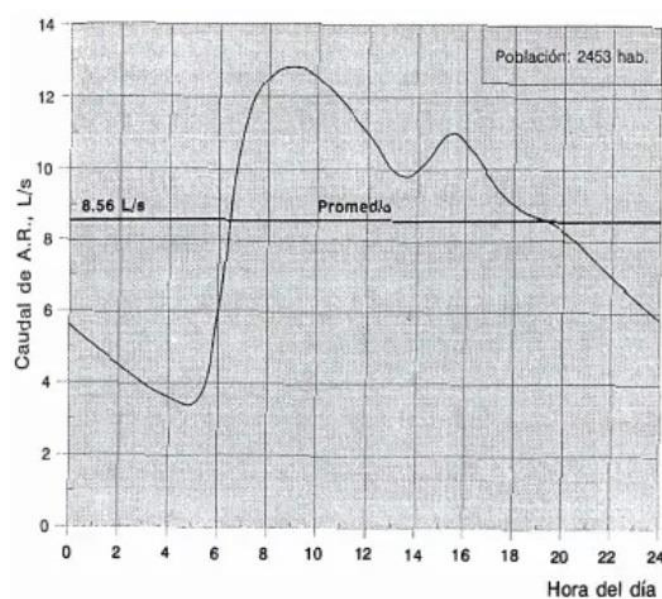
Nota. Adaptado a la teoría de Álvarez (2004)

2.3.3 Caudal de las aguas residuales

según Romero (2001) indica que las variaciones en el caudal de aguas residuales que ingresan al sistema de alcantarillado son influenciadas por diversos factores, incluyendo las costumbres de la comunidad, el funcionamiento de las industrias y las condiciones climáticas. Estos caudales pueden experimentar fluctuaciones significativas a lo largo del año, así como cambios diarios y horarios. Para una adecuada predicción del caudal y la concentración de aguas residuales que llegan a una planta de tratamiento, es crucial considerar todos estos elementos. Los análisis muestran que los caudales mínimos se registran entre las 2:00 y las 5:30 horas, cuando el consumo es más bajo, resultando en flujos predominantemente por infiltración. Por otro lado, los caudales máximos ocurren entre las 7:00 y las 10:00 horas, coincidiendo con el pico de consumo. Durante el día, los caudales de aguas residuales superan el promedio diario, mientras que en la noche se presentan caudales inferiores a este promedio (figura 1).

Figura 2

Variación horaria del agua residual según Romero

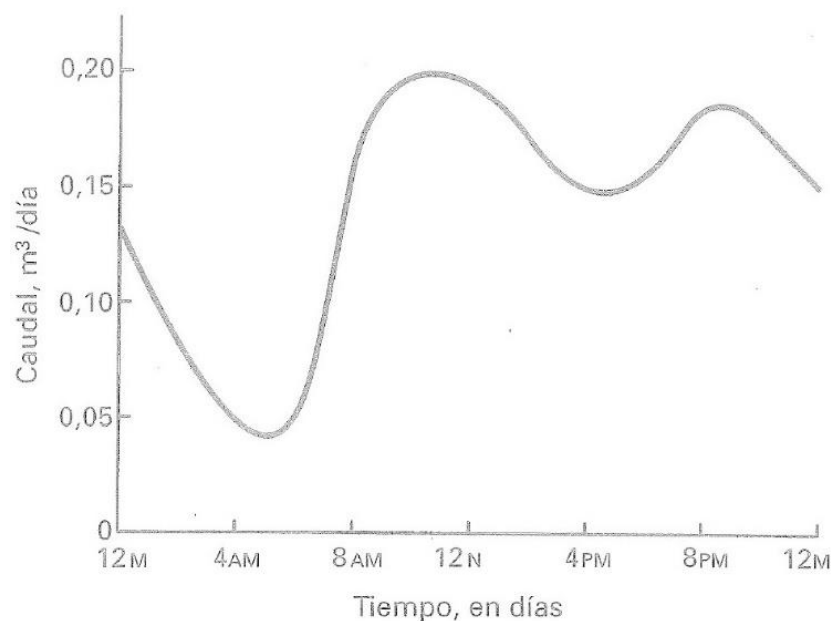


Nota. Considerada según Romero (1999)

Metcalf & Eddy (1995) indica que la determinación de los caudales de aguas residuales que deben ser eliminados de una población es esencial para el diseño de las instalaciones de recolección, tratamiento y evacuación. Varios factores influyen en el uso del agua, incluyendo el clima, el tamaño de la comunidad, la densidad poblacional, el nivel socioeconómico, la economía del agua, y la calidad del servicio. Además, la implementación de contadores en la red también afecta estos caudales. Los caudales registrados en las plantas de tratamiento siguen un patrón diario. Durante las primeras horas de la mañana, cuando el consumo es mínimo, los caudales son bajos, compuestos principalmente por aguas infiltradas y pequeñas cantidades de aguas residuales domésticas. El pico de caudal se observa a última hora de la mañana y un segundo caudal pico ocurre a las 8:00 pm (figura 2), variando según el tamaño de la comunidad y la longitud de la red de alcantarillado.

Figura 3

Variación del caudal del agua residual según Metcalf & Eddy



Nota. Considerada según Romero (1999)



2.3.4 Características de las aguas residuales

Alianza por el Agua (2008) identifica los principales contaminantes de las aguas residuales, que incluyen: objetos gruesos, arenas, grasas y aceites, sólidos en suspensión, sustancias que requieren oxígeno, nutrientes, agentes patógenos y contaminantes emergentes. Estos contaminantes son consecuencia de los hábitos de consumo actuales de la sociedad, destacando productos relacionados con la limpieza doméstica y farmacéuticos, entre otros.

La caracterización de aguas residuales, según Romero (2001), puede llevarse a cabo de diversas maneras, dependiendo del objetivo específico que se persiga. Es esencial establecer un programa de muestreo adecuado que asegure la representatividad de las muestras y un análisis de laboratorio riguroso. Esto conlleva la utilización de pruebas estandarizadas que garanticen la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos.

Según Álvarez *et al.* (2011) las aguas residuales constituyen una mezcla compleja compuesta por agua, sólidos disueltos y en suspensión. Aunque la proporción de sólidos está por debajo al 0.1% en su peso, esta fracción es fundamental, ya que representa el principal desafío en su tratamiento y disposición adecuada. Los desechos domésticos se combinan en el sistema de alcantarillado con los residuos de edificios comerciales, lo que contribuye a la carga de sólidos suspendidos y materia orgánica, medida en términos de DQO y DBO.

Según Ocampo y Pérez (2013), el agua contiene una variedad de compuestos que varían según su origen. Sus características se clasifican en físicas, químicas y microbiológicas. La variación de estos parámetros depende del uso que se le dé, ya sea doméstico o industrial.

2.3.5 Características físicas

Metcalf & Eddy (1995) define las características físicas más relevantes de las aguas residuales, como el contenido total de sólidos, que abarca la materia en suspensión, sedimentable, coloidal y disuelta. También se subrayan otras propiedades físicas relevantes como el olor, la temperatura, la densidad, el color y la turbidez. Son esenciales estas características para evaluar la calidad del agua residual y determinar los métodos de tratamiento adecuados, ya que influyen en la eficacia de los procesos de depuración y en el impacto ambiental del efluente tratado. (p. 59)

Olor

Romero (1999) señala que las aguas residuales recién generadas emiten un olor desagradable, mientras que las aguas sépticas presentan un olor muy ofensivo debido al sulfuro de hidrógeno (H_2S), un gas resultante de la descomposición anaerobia de sulfatos y sulfuros. Estos olores son una de las principales preocupaciones ambientales, lo que hace necesario implementar controles efectivos en las plantas de tratamiento de aguas residuales para mitigar su impacto.

Cuba (2004) establece que la representación adecuada de un olor depende de cuatro factores independientes: intensidad, carácter, sensación de desagrado y detectabilidad. Sin embargo, en la actualidad, la única variable considerada en las normativas sobre olores ofensivos es la detectabilidad. Esto se debe a que, en condiciones controladas, las mediciones sensoriales del olor realizadas con el olfato humano son consideradas confiables y significativas.

Ayala & Gonzales (2008) la falta de un adecuado tratamiento de aguas residuales puede tener consecuencias negativas significativas, como: Deterioro de



la dignidad, interferencia en relaciones humanas, desaliento en inversiones, descenso del nivel socioeconómico, reducción del crecimiento. Estos factores han llevado al rechazo de numerosos proyectos destinados al tratamiento de aguas residuales en diversas localidades.

Temperatura

Según Metcalf & Eddy (1995) la temperatura es un factor crítico en la calidad del agua, ya que influye en la vida acuática y en las reacciones químicas. El aumento de temperatura reduce la solubilidad del oxígeno en el agua, lo que puede provocar una disminución de las concentraciones de oxígeno disuelto, especialmente durante los meses cálidos. Este fenómeno se agrava cuando se descargan grandes volúmenes de agua caliente en cuerpos acuáticos, lo que puede resultar en condiciones anóxicas perjudiciales para los organismos acuáticos. Además, el incremento en las tasas de reacción química asociado con temperaturas más altas puede intensificar este problema, afectando negativamente la salud del ecosistema acuático y su capacidad para soportar diversas formas de vida.

Color

Romero (1999) señala que las aguas residuales domésticas frescas presentan una coloración predominantemente gris, la cual se oscurece con el tiempo, pasando a gris oscuro y finalmente a negro, debido a la formación de sulfuros metálicos. En el caso de las aguas industriales, el color puede ser un indicador del origen de la contaminación y del estado de los procesos de tratamiento.

Metcalf & Eddy (1995) define el tiempo de retención del agua residual, un indicador que puede evaluarse cualitativamente a través de su color y olor. Las



aguas residuales frescas presentan un color grisáceo. Con el tiempo, a medida que se transportan a través de las redes de alcantarillado y se desarrollan condiciones anaerobias, su color evoluciona hacia tonalidades más oscuras, pasando de gris a negro. Este cambio indica que el agua residual ha alcanzado un estado séptico. Además, algunas aguas residuales industriales pueden influir en el color de las aguas residuales domésticas. Generalmente, los colores grises oscuro o negro son resultado de la formación de sulfuros metálicos, que se generan cuando el sulfuro liberado en condiciones anaerobias reacciona con los metales presentes en el agua residual.

Turbiedad

Romero (1999) la turbidez es una medida óptica que refleja la cantidad de material suspendido en las aguas residuales, las cuales suelen presentar un aspecto turbio. Este parámetro es crucial para evaluar la calidad del agua, especialmente en el contexto de aguas residuales tratadas, donde se utiliza como un indicador de control y supervisión de procesos de tratamiento.

Metcalf & Eddy (1995) la turbiedad es un parámetro clave que mide la capacidad de transmisión de luz en el agua, y se utiliza para evaluar la calidad de las aguas naturales y las aguas residuales. Este indicador se relaciona directamente con la presencia de materia coloidal y otros sólidos en suspensión.

Sólidos totales

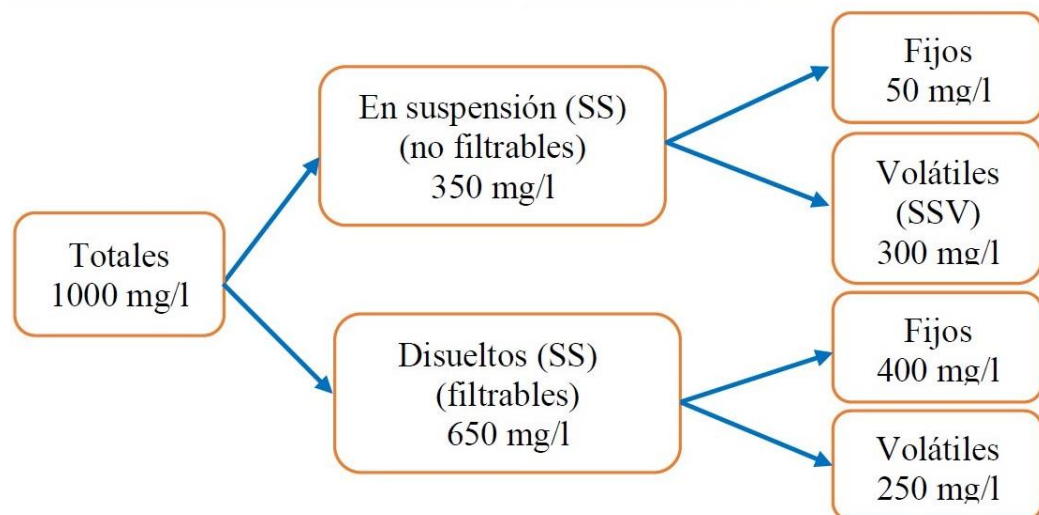
Romero (1999) la concentración de sólidos en las aguas residuales está directamente relacionada con la cantidad de lodos generados en una planta de tratamiento. Para determinar los sólidos totales, se mide el residuo obtenido tras la evaporación y secado de una muestra de agua a temperaturas entre 103 y 105

°C. Por otro lado, los sólidos sedimentables se cuantifican midiendo el volumen de sólidos que se asientan en un recipiente específico, conocido como Cono Imhoff, durante un periodo de una hora. Esta medición representa la cantidad de lodo que puede ser removido mediante sedimentación simple.

Metcalf & Eddy (1995) el contenido de sólidos totales se define como la cantidad de materia residual que queda tras evaporar una muestra de agua a temperaturas entre 103 y 105 °C. Es fundamental señalar que la materia que se pierde en este proceso no se considera sólida debido a su elevada presión de vapor. La clasificación de sólidos totales obtenidos tras la evaporación se puede clasificar en filtrables (sólidos que pueden ser separados mediante filtración) y no filtrables (sólidos en suspensión que no se pueden eliminar fácilmente). Esta clasificación es crucial para el análisis y tratamiento del agua residual. Se presenta la distribución de sólidos en las aguas residuales.

Figura 4

Concentración de los sólidos en un agua residual bruta



Nota. Extraída de Von (1998)

Alianza por el Agua (2008), los sólidos en el contexto del agua se refieren a la fracción de masa que permanece retenida por una membrana filtrante de



tamaño específico. Esta categoría incluye sólidos sedimentables, que son aquellos que pueden decantarse bajo condiciones de reposo, y sólidos no sedimentables, que permanecen en suspensión. Además, se establece que los niveles típicos de sólidos en el agua varían entre 150 y 300 mg/L.

2.3.6 Características químicas

Metcalf & Eddy (1995) El análisis de las características químicas de las aguas residuales se estructura en cuatro áreas clave: Materia orgánica, medición del contenido orgánico, materia inorgánica, gases presentes. Una correcta clasificación de las aguas residuales es esencial para su gestión y tratamiento, garantizando que cada categoría reciba el tratamiento específico requerido para reducir su impacto en el medio ambiente.

pH

Según Noyola *et al.* (2000), la cantidad de iones hidrógeno es un factor fundamental en el tratamiento de aguas residuales, ya que afecta tanto a los métodos utilizados para el tratamiento como a la durabilidad del equipo metálico que está expuesto. La alcalinidad del agua residual puede actuar como un amortiguador, manteniendo el pH en un nivel neutro ($\text{pH} = 7.0$), lo cual es esencial para la actividad biológica. Cuando el pH se desvía del rango óptimo (6.5 - 8.5), se compromete la eficacia del tratamiento biológico, afectando la proliferación de microorganismos y provocando problemas de corrosión en las instalaciones.

Según Jimeno (1998), el pH es un parámetro clave que indica la acidez o alcalinidad de una solución, expresando la concentración de iones de hidrógeno. Su control es fundamental en el abastecimiento de agua, ya que influye en procesos críticos como las desinfecciones, los ablandamientos y los controles de



corrosión. Los desagües y el tratamiento de aguas residuales industriales, el pH debe ser cuidadosamente regulado para optimizar la actividad microbiana y facilitar la coagulación de desechos. Esto incluye la deshidratación de lodos y la oxidación de compuestos nocivos.

Vázquez & Rojas (2016) definen el pH como un indicador que clasifica las soluciones en ácidas y básicas, dependiendo de su valor. Un pH menor a 7 indica una solución ácida, mientras que un pH superior a 7 señala una solución básica o alcalina. Además, destacan que el agua pura tiene un pH de 7, lo que la clasifica como neutra. Esta escala de pH, que varía de 0 a 14, es fundamental para entender la acidez y alcalinidad de las soluciones en diversos contextos químicos y ambientales.

Nitrógeno y Fosforo

Metcalf & Eddy (1995), el nitrógeno y el fósforo son elementos fundamentales para el crecimiento de organismos protistas y plantas, lo que les confiere el estatus de nutrientes esenciales o bioestimuladores. Estos elementos son cruciales para procesos biológicos como la fotosíntesis y la síntesis de proteínas, contribuyendo así al desarrollo saludable de los ecosistemas.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Según Fuentes (2012), el parámetro utilizado para medir la contaminación orgánica en aguas residuales y aguas superficiales es la Demanda Bioquímica de Oxígeno a 5 días (DBO₅). La DBO₅ proporciona una indicativa de la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable en los vertidos, y también sirve como un indicador indirecto del oxígeno requerido por los microorganismos para descomponer dicha materia orgánica en dióxido de carbono y nuevo material



celular. Este parámetro es fundamental para diseñar y optimizar los componentes de los sistemas de tratamiento, así como para evaluar la efectividad de diferentes métodos de tratar las aguas residuales, asegurando que se cumplan los límites establecidos para los vertidos.

Según Jimeno (1998), la DBO es un indicador clave para evaluar la calidad del agua, ya que un nivel elevado puede señalar contaminación significativa, lo que puede comprometer la salud pública y el ecosistema acuático. En aguas residuales domésticas, la DBO representa aproximadamente entre el 65% y el 70% del total de la materia orgánica oxidable presente. Por lo tanto, su medición es crucial para el tratamiento eficiente de aguas residuales y para garantizar que los efluentes cumplan con los estándares ambientales establecidos.

Según la Alianza por el Agua (2008), se refiere a la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación biológica de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Este proceso se evalúa durante un periodo de cinco días, en el cual se espera que aproximadamente el 70.00% de las sustancias degradables sean consumidas.

Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Fuentes (2012), el cálculo de la DBO a cinco días presenta dos principales desafíos: su prolongada duración de análisis (cinco días) y la incapacidad para evaluar sustancias que no son fácilmente biodegradables. Para abordar estas limitaciones, se desarrolló un método más ágil conocido como DQO. Esta técnica mide la cantidad total de carbono oxidable en una muestra, definiéndose como la cantidad total de oxígeno absorbido por una mezcla orgánica en el efluente. En términos prácticos, la DQO representa el equivalente en miligramos por litro



(mg/l) de oxígeno necesario para oxidar los compuestos orgánicos presentes en el agua mediante agentes químicos oxidantes.

Según Romero (2001), la DQO es un parámetro que mide la cantidad de oxígeno requerido para oxidar químicamente la materia orgánica y algunos compuestos inorgánicos presentes en el agua. Este análisis utiliza un oxidante fuerte, generalmente el dicromato de potasio, y en ocasiones se requiere un catalizador, como el sulfato de plata, para facilitar la oxidación de compuestos orgánicos más resistentes.

Alianza por el Agua (2008), la DQO se define como la cantidad de oxígeno, expresada en miligramos por litro (mg/l), que es necesaria para oxidar los componentes orgánicos presentes en las aguas residuales mediante el uso de agentes químicos. Esta medida es crucial para evaluar el grado de contaminación orgánica del agua y su capacidad para ser tratada antes de su vertido o reutilización, siendo un indicador fundamental en la gestión y tratamiento de aguas residuales.

Aceite y grasas

Vidales *et al.* (2010) definen las grasas como compuestos orgánicos compuestos por carbono, hidrógeno y oxígeno, que representan una de las fuentes más concentradas de energía en los alimentos. Estas grasas pertenecen al grupo de los lípidos y pueden presentarse en forma líquida o sólida. Se caracterizan por ser combinaciones de ácidos grasos, los cuales pueden ser saturados o insaturados, dependiendo de la presencia de enlaces dobles en su estructura.

Metcalf & Eddy (1995), la presencia de contaminantes en la red de alcantarillado y en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) puede



generar serios problemas operativos. Si estos contaminantes no se eliminan antes de su vertido, pueden afectar negativamente la vida biológica en los cuerpos de agua, comprometiendo la calidad del ecosistema acuático.

2.3.7 Características biológicas

Lozano (2012) define que en los vertidos de aguas residuales introducen una considerable cantidad de materia orgánica en los cuerpos de agua, la cual actúa como fuente de alimento para microorganismos, principalmente hongos y bacterias, que son responsables de su descomposición. Por tanto, es fundamental conocer las clases más relevantes de microorganismos que están presentes tanto en aguas superficiales y las aguas residuales, así como otros que desempeñan un papel crucial en su tratamiento biológico. (p. 30)

Ayala & Gonzales (2008), los organismos en las aguas residuales se clasifican en tres grupos principales: eucariotas, eubacterias y arqueobacterias. La mayoría de estos organismos pertenecen al dominio de las eubacterias, que son procariotas unicelulares. Dentro de los eucariotas, se incluyen los protistas, que abarcan algas, hongos y protozoos, así como las plantas multicelulares como helechos, musgos y plantas con semillas. Los animales, tanto vertebrados como invertebrados, también son eucariotas multicelulares. Además, los virus presentes en las aguas residuales se clasifican según el tipo de organismo que infectan. Esta clasificación es fundamental para entender la diversidad biológica en ambientes acuáticos contaminados (p. 58, 59).

Coliformes termotolerantes

Romero (2001) señala que los organismos patógenos en aguas residuales son generalmente escasos y difíciles de identificar, lo que lleva a utilizar



coliformes como indicadores de contaminación. Estos microorganismos son útiles para detectar la presencia de agentes patógenos responsables de enfermedades. Cada día, los humanos excretan entre 10^9 y 4×10^{11} coliformes, lo que facilita su detección en aguas residuales y su uso como norma de control sanitario. Su presencia en el agua indica contaminación fecal reciente, ya que son parte del microbiota normal del tracto gastrointestinal humano y animal.

Alianza por el Agua (2008) los organismos patógenos en las aguas residuales se encuentran en concentraciones muy bajas, lo que dificulta su aislamiento. Por esta razón, se utilizan coliformes como indicadores de contaminación. Estos microorganismos son parte de la flora intestinal de humanos y animales de sangre caliente, y su presencia sugiere contaminación fecal.

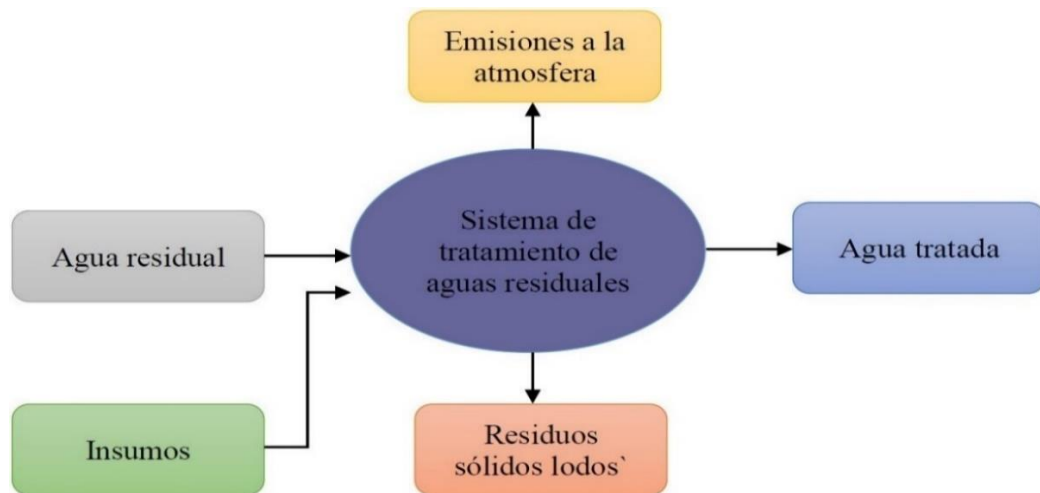
2.3.8 Planta de tratamiento de aguas residuales

Noyola *et al.* (2013) indican que, según la ley de conservación de la materia, un sistema de tratamiento de aguas residuales transforma, separa o transfiere contaminantes a través de diversos procesos, generando inevitablemente residuos como emisiones gaseosas y lodos. La cantidad y calidad de estos residuos dependen de las características del agua tratada y del diseño del sistema de tratamiento. (p. 7)

Alasino (2009) los sistemas de tratamiento de aguas residuales son conjuntos de procesos diseñados para purificar el agua en función de sus características y el nivel de contaminación permitido por la normativa vigente, que varía según el lugar de descarga del agua residual tratada y el cuerpo receptor. (p. 3)

Figura 5

Esquema de un sistema de tratamiento de aguas residuales



Nota. Extraído de Noyola et.al.,2013

2.3.9 Eficiencia de la remoción de aguas residuales

Consiste en determinar la eficiencia del pretratamiento, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario. Hernández (2016), detalla en la tabla 4 los porcentajes de remoción de cada etapa.

Tabla 4

Porcentajes de remoción de DBO₅, SST y Coliformes

Proceso de depuración	% de remoción		
	DBO ₅	Sólidos suspendidos totales	Coliformes termotolerantes
Pretratamiento	0 – 10	0 – 10	
Tratamiento primario	50 – 80	40 – 70	25 – 55
Tratamiento secundario	75 – 95	80 – 95	80 – 90
Tratamiento avanzado	92 – 98	93 – 98	
Mediante sistema de cloración			98 – 99

Nota. Extraído de Hernández (2016).

De acuerdo con la norma OS 090 (2014), los rendimientos de una planta de tratamiento de aguas residuales esta dado de la siguiente manera:

Tabla 5*Porcentajes de remoción de DBO₅ y SST*

Tipo de tratamiento	Porcentaje de remoción	
	DBO ₅	Sólidos suspendidos
Sedimentación primaria	25 – 30	40 – 70
Lodo activado	70 – 95	70 – 95
Laguna aireada	80 – 90	Depende de la laguna
Zanjas de oxidación	70 – 95	80 – 95
Lagunas de estabilización	70 – 85	Depende del tipo

Nota. Extraído del Reglamento Nacional de Edificaciones OS. 090 (2014).

Por otro lado, Metcalf y Eddy (1995) establecen en la tabla 6 los siguientes rendimientos.

Tabla 6*Remoción del agua residual (%)*

Tratamiento	Remoción en los tratamientos (%)				
	DBO ₅	DQO	SS	P	N
Reja de barras	0	0	0	0	0
Desarenadores	0 – 5	0 – 5	0 – 10	0	0
Sedimentación primaria	30 – 40	30 – 40	50 – 65	10 – 20	10 – 20
Cloración	0	0	0	0	0

Nota. Extraído de Metcalf y Eddy (1995)

Según Zela y Olivás (2022), indica que en Perú se ha evaluado la eficiencia de remoción de dos parámetros críticos en las plantas de tratamiento de aguas residuales: la DBO₅ y los coliformes termotolerantes. De las 109 PTAR analizadas, el porcentaje de remoción de DBO₅ se encuentra por debajo del 80% en la mayoría, lo que impide que cumplan con los LMP; solo 19 PTAR superan este umbral. En cuanto a los coliformes, el 82% de las PTAR no logra cumplir con los LMP establecidos.

Tabla 7

Rendimientos medios de depuración

Etapas de depuración	Rendimiento en (%)		
	Sólidos en suspensión	DBO ₅	Escherichia coli
Pretratamiento	5 – 15	5 – 10	10 – 25
Tratamiento primario	40 – 70	25 – 40	25 – 70
Tratamiento secundario	80 – 90	80 – 85	90 – 98
Tratamiento terciario	90 – 95	95 – 98	98 – 99

Nota. Extraído de Edgardo (2008)

Tabla 8

Rendimiento de remoción de contaminantes en lagunajes

Tipos de lagunajes	Sólidos en suspensión	Rendimiento en (%)			
		DBO ₅	DQO	N	P
L. Anaerobias	50 – 65	40 – 50	40 – 50	5 – 10	0 – 5
L. Facultativas	0 – 70	60 – 80	55 – 75	30 – 60	0 – 30
L. Maduración	40 – 80	75 – 80	70 – 80	35 – 80	10 – 60

Nota. Extraído de Edgardo (2008)

2.3.10 Clasificación de tratamiento de aguas residuales.

MM.AA (2013), el tratamiento de aguas residuales se clasifica en cuatro etapas fundamentales, según los procesos y operaciones unitarias involucradas:

- Pre-tratamiento
- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario
- Tratamiento de lodos.



Esta clasificación permite abordar de manera efectiva la purificación del agua antes de su reutilización o descarga en cuerpos receptores. (p. 22)

2.3.11 Pre-tratamiento o tratamiento preliminar

Fuentes (2012) indica que el tratamiento preliminar de aguas residuales es la etapa inicial que implica la eliminación de sólidos grandes y arenas que se encuentran en las aguas residuales. Este proceso es crucial para evitar inconvenientes en el mantenimiento y garantizar la adecuada operación de los procesos y sistemas auxiliares que se realizarán en las fases posteriores del sistema de tratamiento. (p. 26)

La Alianza por el Agua (2008) define el pretratamiento de aguas residuales como un conjunto de procesos físicos y mecánicos destinados a eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes sólidos y sustancias no disueltas antes del tratamiento principal. Este paso es crucial, ya que un diseño y mantenimiento inadecuados de las etapas de pretratamiento pueden ocasionar problemas significativos en la planta, como obstrucciones en tuberías, válvulas y bombas, así como el desgaste prematuro de los equipos. Las operaciones típicas del pretratamiento incluyen: Remoción de sólidos grandes, lavado, tamizado, triturado, desengrasado. Un adecuado pretratamiento asegura la eficiencia del tratamiento posterior y prolonga la vida útil de los sistemas involucrados.

Cámara de rejillas

Los dispositivos en cuestión están formados por barras metálicas paralelas y equidistantes, que pueden ser rectas o curvadas. Su función principal es retener sólidos gruesos de gran tamaño que se encuentran en suspensión o flotando. Generalmente, estos dispositivos constituyen la primera etapa en una planta de



tratamiento y se instalan de manera transversal al flujo de agua en los canales de ingreso (Espinoza, 2010).

Esta estructura tiene como objetivo retener partículas grandes, como plásticos y trapos, mediante rejas empotradas en cada extremo con un ángulo de inclinación. Esta disposición permite que las sustancias de gran tamaño queden atrapadas eficazmente. (Marín y Pérez, 2013).

Desarenadores

Su objetivo es eliminar las partículas más pesadas que el agua, especialmente arenas y otras sustancias como cáscaras y semillas, que no se retuvieron en la etapa de desbaste y que cuentan con un tamaño mayor a 200 micras. Este proceso protege los equipos en etapas posteriores (Bermeo, 2016).

El desarenador tiene como objetivo esencial separar las partículas de gran tamaño del agua residual, reteniendo aquellas superiores a 0.2 mm (CEPIS, 2005)

Canal Parshall

El canal consiste en una estructura hidráulica para medir el caudal de agua en un canal. Se compone de las siguientes partes: transición en la entrada, sección convergente, garganta y sección divergente. La transición eleva el piso con una pendiente suave, mientras que la sección convergente reduce el ancho hasta la garganta, que luego se eleva en la sección divergente. (Pedroza, 2001)

2.3.12 Tratamiento primario

Murillo (2018) indica que los tratamientos primarios son procesos diseñados para preparar las aguas residuales antes de su tratamiento biológico. Su



función principal es reducir la cantidad de sólidos en suspensión, tanto orgánicos como inorgánicos, que son sedimentables. Sin embargo, estos tratamientos son limitados en su capacidad para eliminar materia orgánica, el cual representa entre el 25% y el 40% del DBO y con respecto a los sólidos suspendidos entre 50% y el 65%. Esto subraya la necesidad de tratamientos adicionales para lograr una depuración efectiva del agua residual. (p.17)

MMAA (2013) el tratamiento primario constituye un paso esencial en el manejo de aguas residuales, centrado en la eliminación de sólidos suspendidos del líquido a través de métodos físicos, principalmente utilizando la gravedad. Este proceso puede reducir la carga de DBO en hasta un 50%. Para mejorar la eficacia en la separación de sólidos, es posible añadir productos químicos que faciliten este procedimiento, lo que conlleva a una mayor producción de lodos que serán tratados en fases posteriores del proceso. (p. 24)

Tanque Imhoff

Según Ayala y Gonzales (2008), es una estructura que corresponde al tratamiento primario diseñada para eliminar sólidos en suspensión en aguas residuales. Este sistema, también conocido como tanque de doble cámara, combina la sedimentación de las aguas y la digestión anaerobia de los lodos en una única unidad, siendo ideal para comunidades con una población de hasta 5000 habitantes. Un tanque Imhoff típico tiene tres compartimentos:

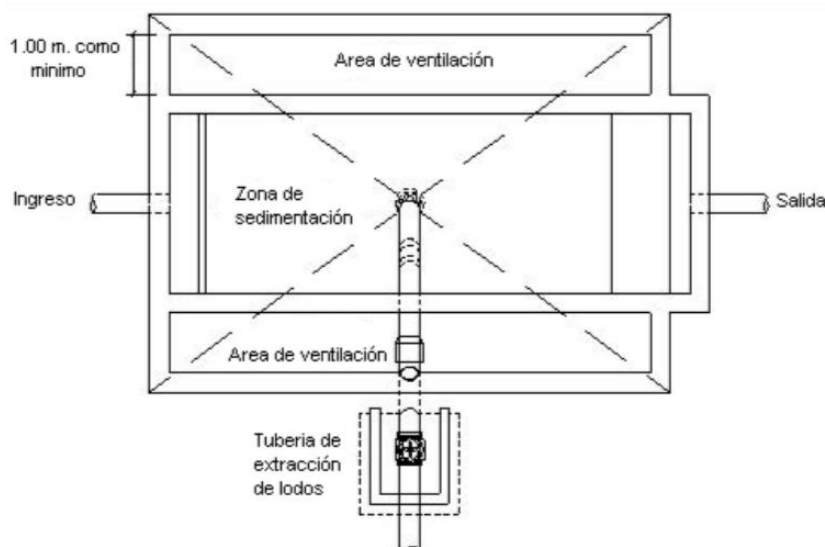
- Cámara de sedimentación.
- Cámara de digestión de lodos.
- Área para ventilación y acumulación de natas.

Las aguas residuales ingresan al tanque, donde los sólidos sedimentables se depositan en el fondo y son dirigidos a la cámara de digestión. Durante este proceso, se produce la digestión anaerobia, permitiendo la estabilización de los lodos. Los gases generados se canalizan hacia la zona de ventilación, evitando interferencias en la sedimentación. Además, los tanques Imhoff pueden eliminar entre el 40% y el 50% de los sólidos en suspensión y reducir la demanda biológica de oxígeno (DBO) entre un 25% y un 35%. Sin embargo, requieren un tratamiento preliminar que incluye cribado y eliminación de arenas para funcionar eficazmente.

Las ventajas de este sistema incluyen su fácil operación, la ausencia de componentes mecánicos, bajos costos de instalación y mantenimiento, así como un reducido espacio requerido. Sin embargo, presenta desventajas como la posibilidad de generar malos olores y la necesidad de un mantenimiento regular para prevenir problemas operativos.

Figura 6

Vista en planta del Tanque Imhoff



Nota. Extraído de Ayala & Gonzales, 2008.



2.3.13 Tratamiento secundario

La Alianza por el Agua (2008) define el tratamiento secundario es fundamental para mejorar la calidad del agua residual, transformando compuestos biodegradables en productos finales aceptables y reduciendo significativamente los niveles de contaminantes como la DBO y los nutrientes. Este proceso no solo protege el medio ambiente, sino que también contribuye a la salud pública al asegurar que el agua tratada cumpla con los estándares adecuados para su reutilización o vertido en cuerpos de agua.

Lozano (2012) el tratamiento secundario en el proceso de depuración de aguas residuales puede eliminar aproximadamente el 85% de la DBO y los sólidos suspendidos totales (SST). Sin embargo, este tratamiento no es efectivo para la eliminación de nutrientes como el fósforo y el nitrógeno, así como metales pesados y patógenos. Por lo tanto, es necesario implementar etapas adicionales para su remoción adecuada. (p. 102)

Lagunas de estabilización

Los estanques estabilizados constituyen un método directo y eficiente para el tratamiento de aguas residuales. Se crean a través de excavaciones poco profundas, que suelen tener formas rectangulares o cuadradas, y están rodeados por taludes de tierra. Su tratamiento tiene tres objetivos principales:

- Eliminación de materia orgánica contaminante.
- Eliminación de microorganismos patógenos que representan riesgos para la salud.
- Reutilización del agua tratada para fines como la agricultura.



Existen cuatro categorías de estanques estabilizados: anaeróbicos, facultativos, maduros y altamente aeróbicos (gruesos). (Rolim, 1999)

Lagunas facultativas

En el diseño de lagunas facultativas, se utilizará la temperatura más baja registrada en el mes más frío. Si no se dispone de este dato, se considerará la temperatura del aire correspondiente al mismo mes. (OS 090, 2014)

Lagunas de maduración

Las lagunas de maduración son sistemas donde el tiempo de retención promedio es de aproximadamente 7 días. En estas lagunas, la remoción de coliformes fecales se puede estimar utilizando modelos de mezcla completa. (Romero, 2005)

2.3.14 Tratamiento y disposición de lodos

La mayoría de los sólidos suspendidos que ingresan a una planta de tratamiento de aguas residuales y los residuos generados durante el tratamiento biológico deben ser gestionados como lodos en algún momento del proceso. La naturaleza y cantidad de estos sólidos varían según el tipo y número de industrias en la comunidad. (Terence J., 1999)

Deshidratación

Los procesos de deshidratación se pueden clasificar en métodos de secado con aire y mecánicos. Aunque algunas técnicas de secado con aire utilizan equipos mecánicos, en este contexto, el secado con aire se refiere a aquellos métodos en

los que la humedad se elimina mediante evaporación y drenaje, como los lechos de arena, lechos asistidos por vacío y lagunas de lodos. (Terence J., 1999)

Lechos de secado

Los lechos de secado son el método más simple y económico para deshidratar lodos estabilizados. La gravedad específica de estos lodos digeridos varía entre 1.03 y 1.04. Cada lecho debe contar con una tubería de descarga, equipada con una válvula de compuerta y una losa de fondo (OS 090, 2014).

2.3.15 Factores importantes en la selección del sistema de tratamiento

Según nuestro quinto objetivo, que consiste en proponer una alternativa de solución, es fundamental contar con un conocimiento sólido sobre los diferentes tipos de sistemas de tratamiento de aguas residuales.

De acuerdo con Metcalf y Eddy (1995), uno de los factores más relevantes es la variabilidad del agua residual en el afluente; por lo tanto, los tratamientos deben ser capaces de amortiguar estas fluctuaciones. Las diversas combinaciones implementadas en la planta de tratamiento deben tener la capacidad de remover eficientemente los contaminantes. Los factores más importantes a considerar incluyen:

- Características del agua residual
- Factores climáticos
- Eficacia del tratamiento
- Residuos generados
- Limitaciones ambientales
- Requerimientos energéticos



- Necesidades de personal
- Disponibilidad de espacio
- Complejidad del sistema

Estos elementos son cruciales para el diseño y operación de sistemas de tratamiento que no solo sean efectivos, sino también sostenibles y adaptables a las condiciones cambiantes del agua residual.

2.3.16 Operación y mantenimiento

Según Romero (2010), un sistema de tratamiento de aguas residuales debe diseñarse para garantizar un caudal y calidad de efluente constantes, siempre que se opere adecuadamente. Los equipos deben funcionar eficazmente en diversos rangos operativos, y el operador debe poder ajustar la operación según las necesidades específicas. Es esencial contar con equipos de laboratorio que permitan evaluar las características operativas y controlar la calidad del efluente.

El sistema debe ser capaz de operar de manera continua, incluso si es necesario realizar mantenimiento en algún equipo. Esto implica contar con unidades de reserva y mecanismos para aislar equipos críticos. En contextos donde los costos laborales son bajos, se recomienda un diseño que priorice la mano de obra sobre la automatización, ya que los sistemas automáticos requieren técnicos calificados, lo que puede aumentar los costos operativos y afectar la fiabilidad.

El mantenimiento es crucial para asegurar que los equipos y estructuras funcionen adecuadamente. Para un mantenimiento efectivo, es fundamental definir claramente las responsabilidades, asignarlas a personal competente y establecer objetivos claros dentro de un programa de mantenimiento con presupuesto adecuado. Este programa debe incluir todos los repuestos,



herramientas y controles necesarios. Además, el mantenimiento preventivo debe ser planificado y registrado, asegurando que los registros sean suficientes para gestionar el programa sin generar una carga excesiva que desincentive su actualización.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 ASPECTOS GENERALES

3.1.1 Ubicación del área de estudio

Región : Puno

Provincia : Moho

Distrito : Conima

Zona : Urbana

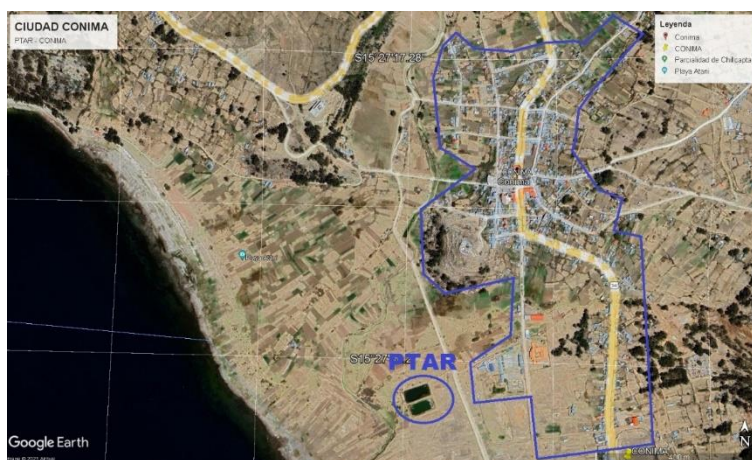
Región natural : Sierra

Coordenadas UTM : 19L 452789 m. este, 8290413 m. norte.

Altitud : 3824 m.s.n.m.

Figura 7

Ubicación del lugar de la PTAR



Nota. Se aprecia la PTAR en la localidad de Conima y la delimitación del área de la población.

Tomado de Google Earth

3.1.2 Límites del lugar de estudio

Norte : Provincia de Moho

Oeste : Lago Titicaca

Sur : Lago Titicaca

Este : distrito de Tilali

3.1.3 Población del distrito de Conima

La población del distrito de Conima es decreciente, como se evidencia en la tabla 6, de acuerdo con los datos del INEI.

Tabla 9

Población total – distrito de Conima.

Zona	1993	2005	2007	2017
Rural	-	3191	-	2258
Urbano	-	986	-	893
TOTAL	5024	4177	3517	3151

Nota. Extraído de la base de datos de INEI – Censos Nacionales de Población y Vivienda.

3.1.4 Temperatura

Los datos meteorológicos presentados en la tabla 7 y la figura 8 corresponden a la estación Huaraya Moho, administrada por SENAMHI.

Tabla 10

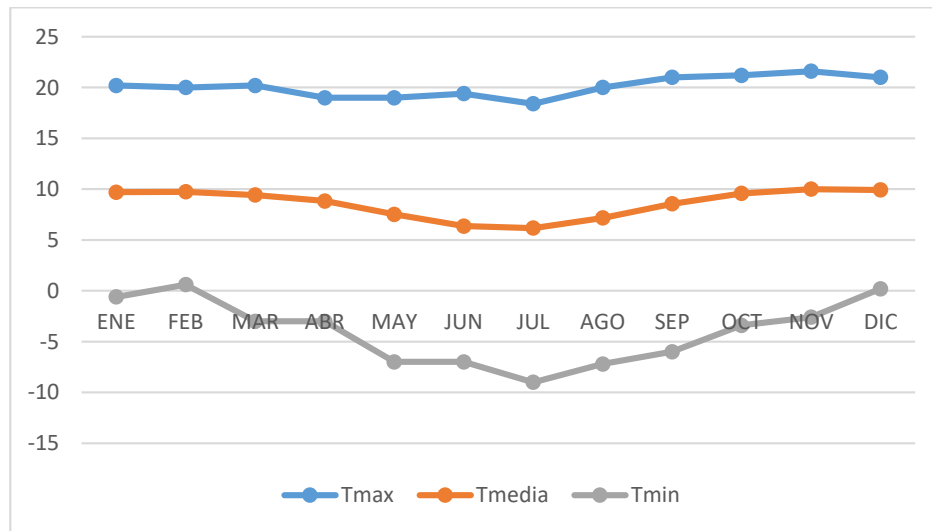
Variación de la temperatura (°C)

Mes	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Tmax	20.2	20.0	20.2	19.0	19.0	19.4	18.4	20.0	21.0	21.2	21.6	21.0
Tmed	9.7	9.7	9.4	8.8	7.5	6.4	6.2	7.2	8.6	9.6	10	9.9
Tmin	-0.6	0.6	-3.0	-3.0	-7.0	-7.0	-9.0	-7.2	-6.0	-3.4	-2.6	0.2

Nota. Extraídos de la Estación Huaraya Moho – SENAMHI. (1961 a 2022)

Figura 8

Grafico de la variación de temperatura



Nota. Se aprecia la variación de la temperatura por mes.

Los datos de temperatura son esenciales para el análisis climático en la zona de estudio, ya que proporcionan en el entorno local las condiciones térmicas, y sus temperaturas varían desde 21.6 °C a -9.0 °C.

3.2 ESQUEMA DE LA PTAR EXISTENTE.

En la localidad de Conima, la PTAR presenta el siguiente diagrama, según el monitoreo inspeccionado en campo:

Figura 9

Esquema del tren de tratamiento de la PTAR Conima



Nota. Tren de tratamiento de la PTAR existente

A continuación, describiremos los procesos unitarios de la PTAR de la localidad de Conima:

3.2.1 Tubería de entrada

La tubería de entrada, conecta la PTAR con el sistema de alcantarillado. Esta tubería es de PVC y tiene un diámetro de 200 mm, lo que permite un flujo adecuado de las aguas residuales.

3.2.2 Cámara de rejjas

Es la estructura inicial de la planta de tratamiento de aguas residuales, dicho componente corresponde al pretratamiento, está compuesta por concreto armado y consiste en una rejilla con un aliviadero correspondiente. Las rejillas presentan un ángulo de inclinación de 60° y están diseñadas con dimensiones específicas.

Largo = 2.64 m.

Ancho = 1.64 m.

Figura 10

Vista y dimensiones de la cámara de rejjas



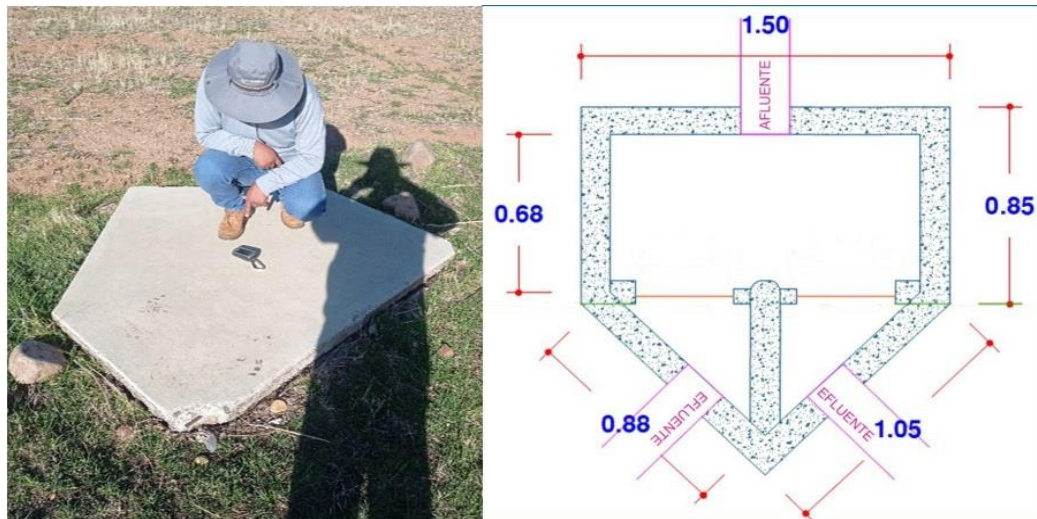
Nota: Verificación realizada a la PTAR en la estructura de la cámara de rejjas

3.2.3 Cámara de distribución de caudales

Esta estructura se sitúa posterior de la cámara de rejillas. La estructura está construida en concreto armado y presenta una forma pentagonal como se aprecia en la figura 11, equipada con dos vertederos triangulares que conectan a las lagunas adyacentes.

Figura 11

Vista y dimensiones de la cámara de distribución de caudales



Nota: Visitas realizadas a la PTAR de la localidad de Conima por el tesista.

3.2.4 Lagunas de estabilización

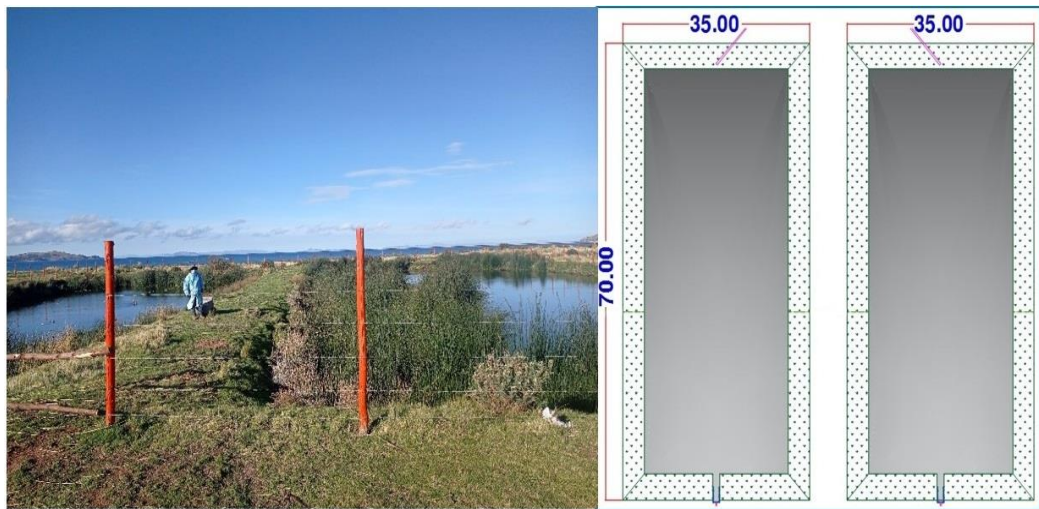
En la última fase de la planta de tratamiento de aguas residuales, se han construido dos lagunas de estabilización en paralelo. Estas lagunas están situadas sobre terreno natural y no cuentan con geomembrana. Debido a la acumulación de lodos, no se puede observar el talud, lo que ha provocado variaciones en las dimensiones del fondo y en la altura de las lagunas. A continuación, se presentan las dimensiones de la coronación:

Largo = 70.00 m.

Ancho = 35.00 m.

Figura 12

Vista y dimensiones de las lagunas de estabilización



Nota: Visitas realizadas a la PTAR de la localidad de Conima por el tesista.

3.2.5 Criterios de aseguramiento de la calidad

Durante la ejecución de mi proyecto, se identificaron ubicaciones óptimas para realizar el muestreo adecuado, asegurando que se cumplieran todas las condiciones necesarias para evitar posibles alteraciones en los resultados. Para minimizar posibles alteraciones en los datos, se programaron las actividades de muestreo en fechas sin la presencia de lluvias.

Asimismo, en la fase de la caracterización, se implementaron medidas para la precaución de tener contacto directo con las paredes y el fondo del recipiente de muestreo, con el fin de prevenir la contaminación por sedimentos.

Los ensayos fueron realizados por el Laboratorio Analíticos del Sur (LAS), acreditado por INACAL con el registro N° LE-50, así como por el laboratorio de de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano Puno.



3.3 MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.

3.3.1 Enfoque de investigación.

En el ámbito de la investigación, se distinguen principalmente dos enfoques: el cuantitativo y el cualitativo. La presente tesis se enmarca dentro del enfoque cuantitativo. Este enfoque se caracteriza por un conjunto de procesos sistemáticos que comienzan con la formulación de una idea específica, la cual se delimita para establecer objetivos claros y preguntas de investigación. Posteriormente, se lleva a cabo una revisión exhaustiva de la literatura existente y se desarrolla una perspectiva teórica que guiará el estudio. (Hernández Sampieri y otros, 2014)

La presente investigación se enmarca dentro del enfoque cuantitativo. Este tipo de estudios se centra en la exploración de hechos concretos de la realidad, partiendo de una teoría previamente establecida. A través del método científico, se busca explicar y analizar estos hechos, que sirven como referencia fundamental para el desarrollo de la investigación. (Charaja, 2011)

3.3.2 Nivel de investigación

La presente investigación tiene un nivel descriptivo, ya que se centra en analizar y detallar fenómenos, situaciones, contextos y eventos específicos. El objetivo principal es identificar y especificar las propiedades y características relevantes de los elementos estudiados. (Hernández Sampieri y otros, 2014)

3.3.3 Tipo de investigación

Pertenece a la investigación aplicada, porque se enfoca en generar conocimientos que permiten actuar, transformar y producir cambios significativos



en un sector específico de la realidad. Su objetivo principal es abordar problemas concretos con propósitos prácticos y bien definidos, buscando soluciones inmediatas y efectivas. (Carrasco, 2005)

3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.

El diseño de investigación adoptado en este proyecto es no experimental, lo que implica que las variables independientes no son manipuladas intencionalmente. En lugar de ello, se enfoca en el estudio y análisis de hechos y fenómenos de la realidad después de que han ocurrido. Este enfoque se clasifica como un diseño transeccional o transversal correlacional, ya que busca investigar fenómenos y hechos actuales para determinar su nivel de influencia o la ausencia de esta. El objetivo es establecer el grado de relación entre las variables en un momento específico del tiempo. (Carrasco, 2005)

3.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.

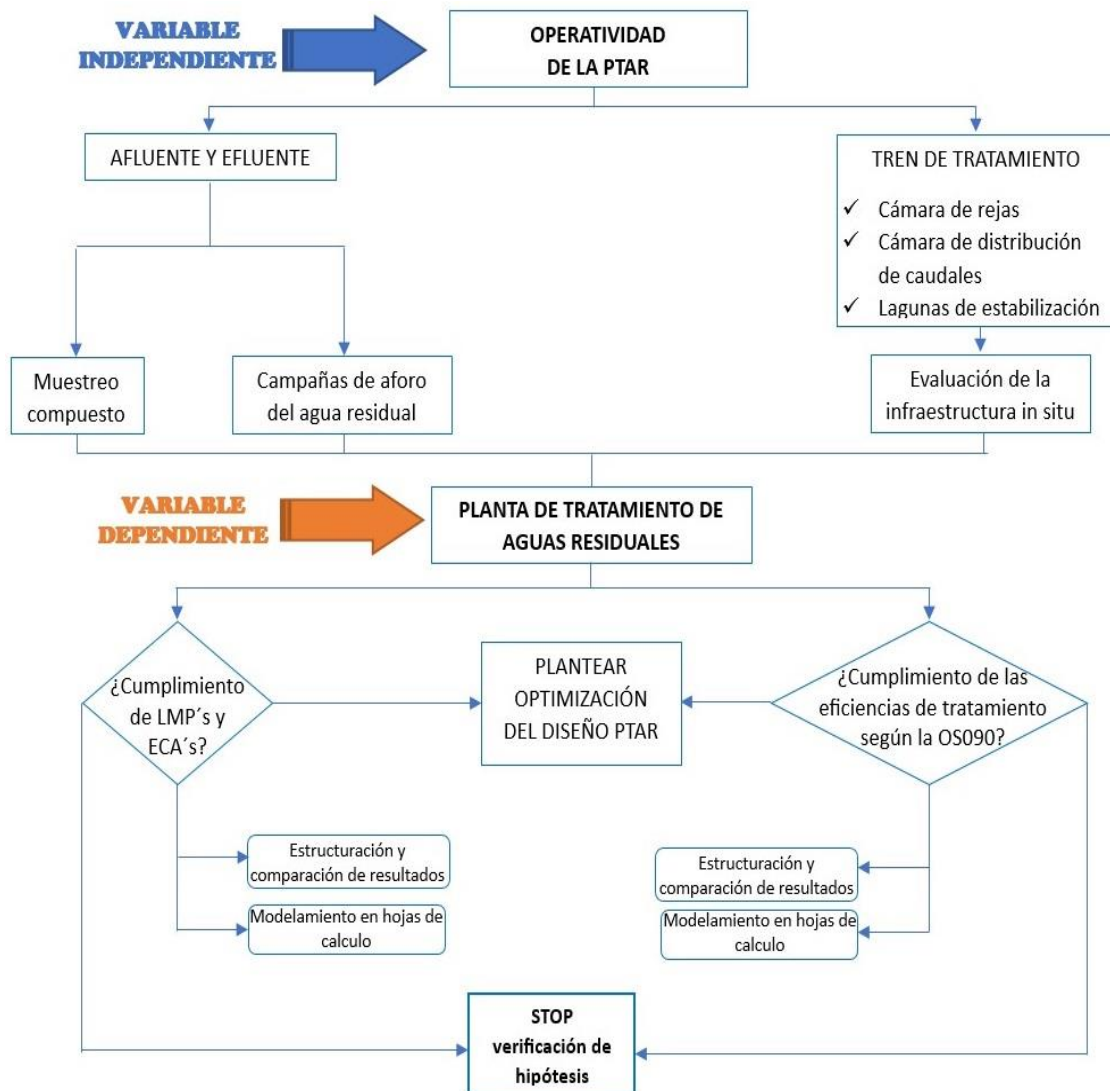
Hernández Sampieri *et al.* (2014) indica que la muestra es un subconjunto específico de la población de interés, del cual se recopilan datos. La población objeto de este estudio es la planta de tratamiento de aguas residuales ubicada en la localidad de Conima. De la misma manera, la muestra son los componentes del tratamiento de la PTAR, que incluyen la cámara de rejillas, la cámara de distribución de caudales y las lagunas de estabilización.

3.6 DIAGRAMA DE FLUJO.

Se desarrolló un diagrama de flujo para ilustrar la secuencia de los procedimientos empleados en esta investigación, tras identificar los elementos de la planta de tratamiento de aguas residuales

Figura 13

Variables de la investigación



Nota: se muestra los instrumentos, materiales y recursos utilizados in situ.

3.7 TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

La recolección de datos en este proyecto de tesis se llevará a cabo mediante la técnica de observación. Se empleará un enfoque de observación no experimental, ya que no se manipularán las variables. La investigación se realizará tanto en el campo como en el laboratorio, utilizando diversos medios e instrumentos de observación para garantizar la precisión y relevancia de los datos recopilados. (Carrasco, 2005)

3.7.1 Equipos y materiales

La recolección de datos, nos da una idea clara para replicar el estudio. El presupuesto del proyecto está basado según la tabla 11.

Tabla 11

Equipos y materiales

Variables	Equipos	Materiales de verificación	Recursos
Operatividad de la PTAR.	- Medidor Parshall.	- Revisión del reglamento	- Útiles de escritorio.
	- GPS.	- Resultados en campo	- Flexómetro.
	- Camara fotográfica	- Resultados de laboratorio	- Wincha de lona 50m.
	- Impresora	- Análisis de datos	- Libreta de notas
	- Laptop	- Normativa	- Equipo de protección personal.
			- Caja térmica.
			- Hielo.
			- Frascos etiquetados.
			- Cinta adhesiva
			- Plumón indeleble

Nota: se muestra los equipos, materiales y recursos utilizados in situ.



3.8 PROCEDIMIENTO

3.8.1 Planificación y recopilación.

Antes de llevar a cabo la visita y la recolección de datos en el campo, se realizó una revisión detallada de la información relacionada con tecnologías y procesos unitarios que son aplicables a la planta de tratamiento de aguas residuales, considerando las características específicas del lugar, como su altitud y clima. Esta etapa incluyó la consulta de los antecedentes y el análisis de literatura especializada. Posteriormente, se efectuó la primera visita al sitio, donde el investigador se presentó ante la Municipalidad Distrital de Conima y se solicitó el acceso a la PTAR para realizar la recolección de datos.

3.8.2 Metodología para la inspección in situ de los procesos unitarios

Se realizó una revisión en el lugar de los procesos individuales que componen la PTAR. En el transcurso de esta evaluación, se detectaron carencias y posibles problemas en las estructuras actuales.

3.8.3 Metodología para la medición de un caudal

Se construyó un medidor Parshall de 3 pulgadas de ancho de garganta para medir el flujo de agua. Durante cinco días, se realizaron campañas de aforo en días festivos en Conima, con el fin de determinar la variación horaria del caudal que ingresa a la PTAR. Estas actividades se realizaron conforme a las directrices establecidas en la NTP OS.090.



3.8.4 Metodología para el muestreo de aguas residuales

El procedimiento de muestreo se elaboró conforme a la Resolución Ministerial N° 273-2013-VIVIENDA. El objetivo de la toma de muestras in situ es obtener un volumen representativo de agua residual, adecuado para su caracterización y análisis en laboratorio. Para llevar a cabo el muestreo, se identificaron los puntos de monitoreo en el afluente y efluente, asegurando que cumplan con los siguientes criterios:

- La muestra sea la más representativa del flujo.
- Localizar donde haya una mejor mezcla.
- Acceso seguro y fácil.

Se llevó a cabo el muestreo de acuerdo con el "Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales", aprobado mediante RJ N° 010-2016-ANA. Para ello, se utilizó la técnica de medición compuesta, empleando los siguientes instrumentos: Fichas de registro e identificación para el muestreo de agua residual, formato de la cadena de custodia, frascos debidamente rotulados, caja térmica y hielo para conservación de muestras, cinta métrica para mediciones precisas, indumentaria de protección personal, GPS para la localización exacta de los puntos de muestreo, cámara fotográfica para el registro visual del proceso

El muestreo se realizó en dos puntos estratégicos: en el afluente de la cámara de rejas, que representa el afluente de la PTAR, y la salida de las lagunas de estabilización, que corresponde al efluente de la PTAR. Se evaluaron los parámetros establecidos en la Norma OS.090, que incluyen aceites y grasas, coliformes totales, DBO, DQO, pH y sólidos totales. Los análisis fueron llevados



a cabo en el laboratorio Analíticos del Sur y en el laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA Puno. Además, los parámetros de color y olor fueron evaluados in situ.



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 VARIACIÓN HORARIA DEL CAUDAL DE LA PTAR.

El aforo se llevó a cabo en cinco campañas de medición, siguiendo las directrices establecidas por la NTP OS.090. Las fechas seleccionadas para las mediciones fueron:

- 02/05/2023 (aniversario de la Municipalidad Distrital de Conima).
- 03/05/2023 (fiesta costumbrista achach kumo).
- 14/05/2023 (víspera de la fiesta costumbrista San Isidro Labrador).
- 15/05/2023 (día central de la fiesta costumbrista San Isidro Labrador).
- 01/06/2023 (feria dominical).

La elección de estas fechas se justifica por la dinámica poblacional de Conima, que presenta una tendencia decreciente. Sin embargo, durante las festividades costumbristas, se observa un aumento significativo en la población flotante.

Los caudales se registraron cada hora durante un período de 24 horas, comenzando a las 6:00 a.m. y finalizando a las 5:00 a.m. del día siguiente. Para evaluar las variaciones en el flujo, se construyó in situ un medidor de Parshall. A continuación, se detallan el procedimiento y los resultados obtenidos del aforo de caudales.

4.1.1 Resultados del caudal con el medidor Parshall por horas

Los procedimientos, validaciones y cálculos están disponibles en los Anexos 3 y 4. Los resultados de los caudales medidos en las fechas correspondientes se presentan de manera organizada en la tabla 12, que ofrece una visión detallada de las mediciones y valores obtenidos.

Tabla 12*Variación horaria del caudal*

Hora	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)	Q (L/s)
	02/05/2023	03/05/2023	14/05/2023	15/05/2023	04/06/2023
06:00 am	1.354	1.118	1.257	1.210	0.480
07:00 am	1.683	1.925	1.305	2.150	1.257
08:00 am	2.877	2.384	2.150	2.940	1.257
09:00 am	2.813	2.813	2.565	3.070	1.305
10:00 am	2.565	2.940	2.688	3.201	2.266
11:00 am	2.093	2.750	2.384	2.940	2.325
12:00 pm	2.384	2.384	2.065	2.325	2.266
01:00 pm	1.709	2.150	2.688	2.626	2.150
02:00 pm	1.257	2.093	2.150	2.037	2.037
03:00 pm	1.816	1.528	2.444	2.384	2.325
04:00 pm	1.871	1.118	2.504	2.384	1.657
05:00 pm	1.925	0.857	2.384	2.444	1.762
06:00 pm	1.981	1.164	2.208	2.355	1.925
07:00 pm	1.709	1.329	1.981	1.898	1.981
08:00 pm	1.605	1.073	1.354	1.631	1.305
09:00 pm	0.697	0.398	0.293	0.383	0.352
10:00 pm	0.322	0.064	0.041	0.049	0.120
11:00 pm	0.064	0.034	0.034	0.034	0.056
12:00 am	0.049	0.034	0.034	0.034	0.049
01:00 am	0.064	0.034	0.034	0.034	0.049
02:00 am	0.049	0.041	0.034	0.041	0.049
03:00 am	0.100	0.034	0.034	0.034	0.041
04:00 am	0.239	0.034	0.041	0.034	0.064
05:00 am	0.899	0.164	0.120	0.213	0.188
Q_{max}	2.877	2.940	2.688	3.201	2.325
Q_{min}	0.049	0.034	0.034	0.034	0.041

Nota. Se aprecia la variación horaria durante las 24 horas, de acuerdo al uso del agua.

4.1.2 Caudales máximos, mínimos y promedio por hora

A continuación, se detallan los caudales máximos, mínimos y promedios por hora, que se encuentran resumidos en la tabla 13 y la figura 14.

Tabla 13

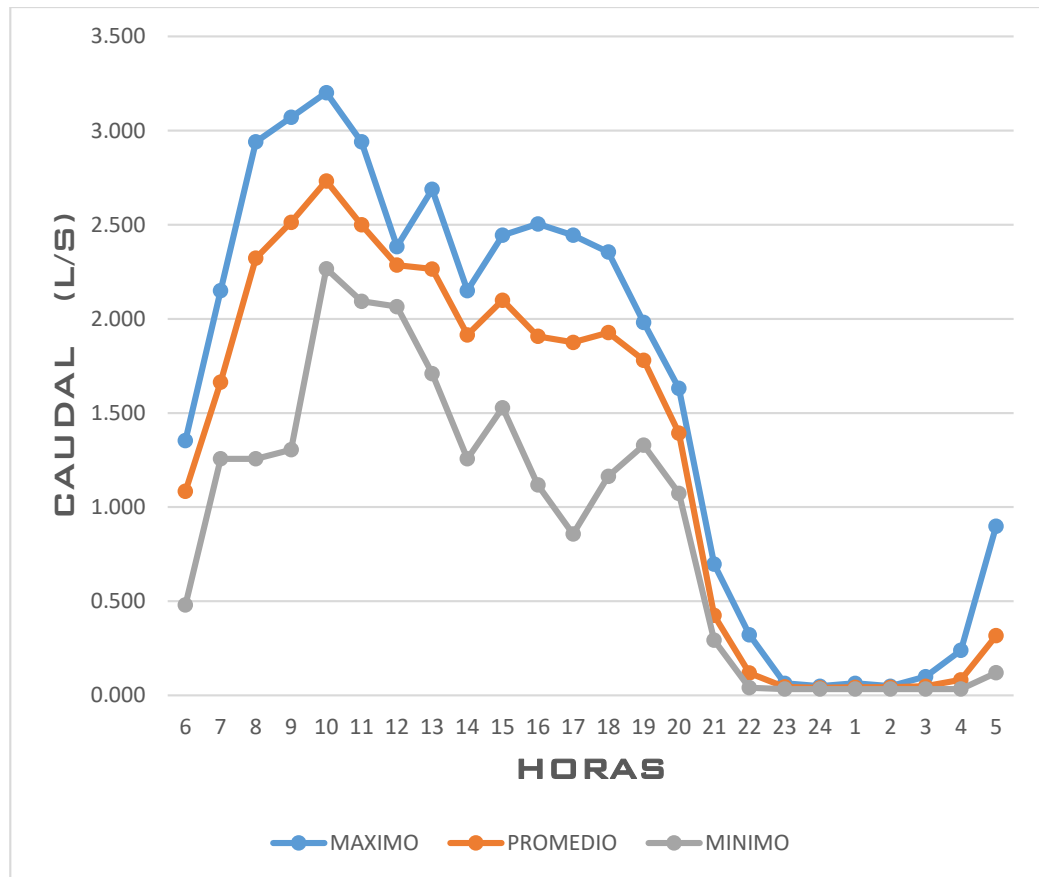
Caudales máximos, promedio y mínimos

Hora	Q_{max}	Q_{promedio}	Q_{min}
06:00 am	1.354	1.084	0.480
07:00 am	2.150	1.664	1.257
08:00 am	2.940	2.322	1.257
09:00 am	3.070	2.513	1.305
10:00 am	3.201	2.732	2.266
11:00 am	2.940	2.499	2.093
12:00 pm	2.384	2.285	2.065
01:00 pm	2.688	2.265	1.709
02:00 pm	2.150	1.915	1.257
03:00 pm	2.444	2.099	1.528
04:00 pm	2.504	1.907	1.118
05:00 pm	2.444	1.875	0.857
06:00 pm	2.355	1.927	1.164
07:00 pm	1.981	1.780	1.329
08:00 pm	1.631	1.393	1.073
09:00 pm	0.697	0.425	0.293
10:00 pm	0.322	0.119	0.041
11:00 pm	0.064	0.045	0.034
12:00 am	0.049	0.040	0.034
01:00 am	0.064	0.043	0.034
02:00 am	0.049	0.043	0.034
03:00 am	0.100	0.049	0.034
04:00 am	0.239	0.083	0.034
05:00 am	0.899	0.317	0.120

Nota. Se aprecia los caudales máximos, promedio y mínimos por horas

Figura 14

Variación horaria del caudal



Nota. Se aprecia en la figura la variación del caudal por horas del agua residual.

En el análisis de los caudales de aguas residuales, se observa que los caudales mínimos se presentan durante las primeras horas de la mañana, específicamente entre la 1:00 a.m. y las 4:00 a.m., así como al final del día, entre las 10:00 p.m. y la medianoche. Durante estos períodos, el consumo es reducido y el flujo se compone principalmente de infiltraciones.

Por otro lado, el caudal máximo se registra entre las 8:00 a.m. y las 11:00 a.m., coincidiendo con un aumento en la actividad diaria. Además, se destaca que entre las 7:00 a.m. y las 7:00 p.m., el caudal de aguas residuales es significativamente mayor en comparación con el flujo durante la noche.

Se han obtenido los siguientes resultados clave respecto al caudal en el sistema de alcantarillado que desemboca en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales:

- Caudal Máximo: 3,201 L/s
- Caudal Mínimo: 0.034 L/s

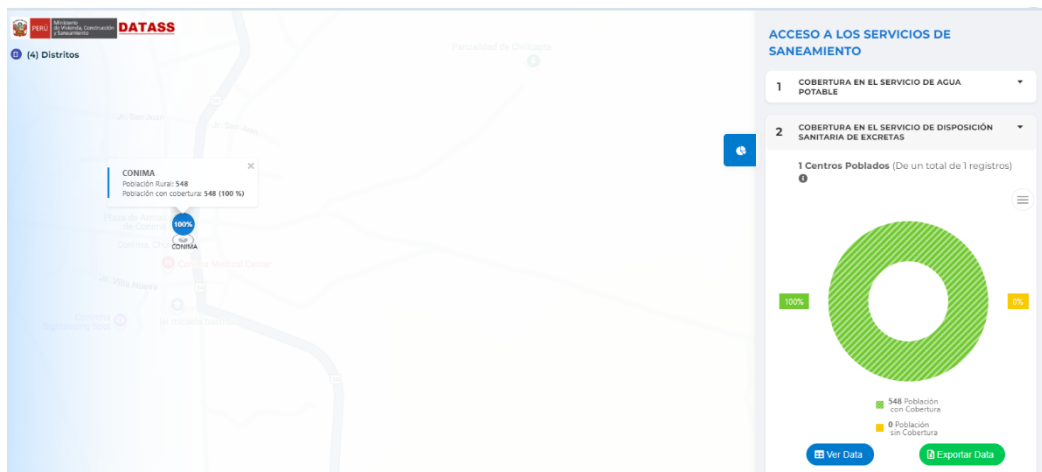
4.2 DESCRIPCIÓN DE LAS CONDICIONES DE LA PTAR

4.2.1 Situación de los servicios

DATASS (2022) se centra en la cobertura de eliminación de excretas en el distrito de Conima. Este indicador se presenta a través de PTAR, abarcando una población total de 1,750 habitantes y 548 viviendas.

Figura 15

Cobertura en el servicio de disposición de excretas



Nota. Vista de aplicativo DATASS, aplicativo del Ministerio de Vivienda.

En base a los datos presentados en la tabla 9, se observa una tendencia decreciente en la población según los censos oficiales de los años 1993, 2005, 2007 y 2017. Esta disminución poblacional indica que no es necesario ampliar el sistema de tratamiento de aguas residuales en la actualidad.

4.2.2 Situación de la infraestructura de la PTAR.

En la localidad de Conima, se construyó en 1992 una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas que ha estado en operación durante más de 30 años. Durante la visita al sitio, se observaron varias características clave de la infraestructura que se aprecia en la Tabla 14.

Tabla 14

Resultados evaluado in situ de la PTAR

Parámetro	Características	Observación
Olor	Produce malos olores	Esto debido a la formación de natas, por la sobrecarga de sedimentos en las lagunas.
Color	Tiene un color gris oscuro.	Característico de aguas residuales domésticas.

Nota. El olor y color fue evaluado con el olfato y vista respectivamente

Figura 16

Vista general de la PTAR Conima



Nota. Se aprecia que la PTAR no tiene cerco perimétrico



La PTAR de la localidad de Conima carece de cerco perimétrico tal como se visualiza en la figura 16. Según la NTP O.S. 090, en el ítem 4.2.5, es obligatorio que toda planta de tratamiento disponga de un cerco perimétrico y medidas de seguridad adecuadas.

La PTAR de Conima ha superado su periodo de diseño. De acuerdo con la NTP O.S. 090, específicamente en el ítem 4.3.9, se establece que el horizonte de diseño debe estar entre 20 y 30 años, lo cual debe ser justificado adecuadamente ante la autoridad competente.

También durante la visita al sitio, se constató que el sistema de tratamiento de la PTAR incluye varios componentes esenciales: una cámara de rejillas, una cámara de distribución de caudal y dos lagunas de estabilización dispuestas en paralelo. A continuación, se presentará un análisis detallado del estado físico de cada uno de estos elementos.

Situación in situ de la cámara de rejillas

Durante la inspección de campo, se observó que la infraestructura se encontraba en condiciones deplorables. La cámara de rejillas estaba cubierta por una tapa de concreto y, al destaparla, se encontraron residuos y raíces de vegetación que habían penetrado desde la parte superior.

En cuanto a la infraestructura civil, se evidencian fisuras y grietas, además de que las rejillas presentan un alto grado de oxidación y carecen de la separación adecuada. En lo que respecta a la infraestructura hidráulica, se constató que está colmatada de lodo, alcanzando aproximadamente la mitad de la tubería de ingreso y estas evidencias se muestran en la figura 17.

Figura 17

Estado in situ de la cámara de rejillas



Nota. Se aprecia la tapa, el aliviadero y las rejillas.

Situación in situ de la cámara de distribución del caudal

Durante la inspección de campo, se constató que la estructura se encuentra en condiciones deplorables. Se observó que está cubierta por una tapa de concreto de forma pentagonal, y en su interior se hallaron plásticos y raíces de vegetación que ingresan desde la parte superior.

En cuanto a la infraestructura civil, el concreto presenta fisuras y grietas significativas, además de contar con dos vertederos de material de acero que están completamente oxidados. Es importante señalar que, según la Norma Técnica Peruana O.S. 090, ítem 5.3.3.1, no se permite el uso de vertederos.

En el ámbito de la infraestructura hidráulica, la cámara de distribución de caudal se encontró que la estructura está colmatada de lodo hasta aproximadamente la mitad de su altura de la tubería de ingreso o hasta el nivel del vertedero, como se ilustra en la figura 18.

Figura 18

Estado in situ de la cámara de distribución de caudal



Nota. Se aprecia el estado actual de la cámara de distribución de caudal

Situación in situ de las lagunas de estabilización.

Durante la inspección de campo, se constató que las dos lagunas de estabilización en paralelo presentan un estado deficiente. En su interior, se observa un notable crecimiento de vegetación, especialmente totora, así como acumulación de basura, incluyendo bolsas de plástico y desechos descartables. Además, el talud y la corona de las lagunas también están cubiertos por vegetación, predominantemente pasto de la zona.

En el análisis de la infraestructura civil, se ha observado que el talud ha perdido su pendiente debido a la socavación, también se constató la ausencia de protección para el suelo natural, así como geomembranas u otros sistemas de impermeabilización.

En lo que respecta a la infraestructura hidráulica, se identificó que las estructuras están completamente colmatadas de lodo en el fondo de las lagunas, y existen filtraciones debido a la falta de impermeabilización del suelo.

Figura 19

Estado in situ de las lagunas de estabilización



Nota. Se aprecia el estado actual de las lagunas de estabilización

La colmatación de lodos en las lagunas de tratamiento limita su eficiencia y capacidad operativa, lo que repercute negativamente en la purificación de aguas residuales antes de su descarga al lago Titicaca. Es fundamental implementar estrategias de mantenimiento y gestión adecuadas para mitigar estos efectos y asegurar un tratamiento eficaz.

4.2.3 Situación actual de la operación y mantenimiento

Según indica un trabajador de la Municipalidad Distrital de Conima, encargado de la cobranza de agua y desagüe de la PTAR, se ha identificado que la situación actual de la infraestructura de la PTAR se debe a la ausencia de una política adecuada de mantenimiento y operación. Inicialmente, esta responsabilidad recaía en las Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS). Sin embargo, debido al abandono y descuido por parte de estas organizaciones, desde el año 2002, las JASS han transferido la administración y el mantenimiento de los servicios de saneamiento a la Municipalidad de Conima.

También la Municipalidad de Conima, se enfrenta un problema significativo relacionado con la falta de pago por parte de los usuarios, lo que ha llevado a que no se realicen actividades de mantenimiento hasta la fecha. Esta situación también ha resultado en la ausencia de personal capacitado para llevar a cabo estas labores esenciales.

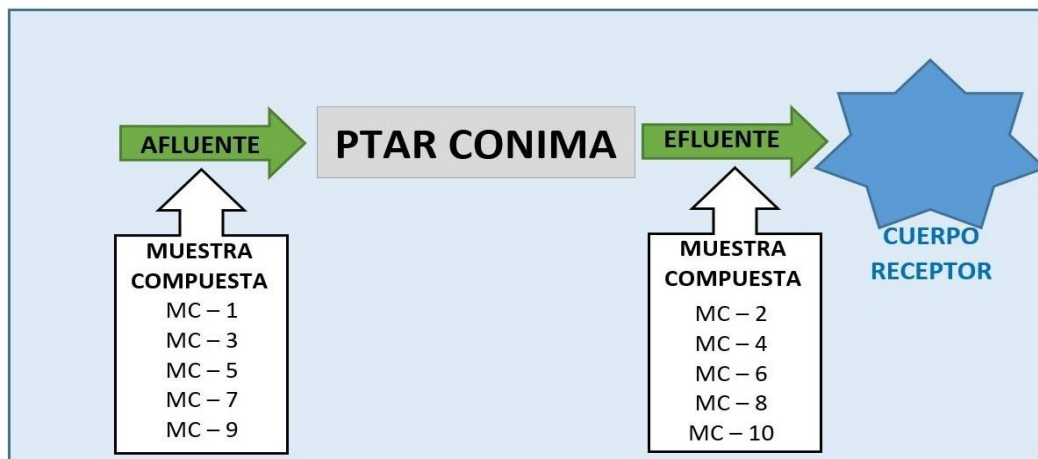
La falta de operación y el mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, especialmente en las lagunas de estabilización, han llevado a una acumulación excesiva de lodos en el fondo. Esta acumulación no solo reduce el volumen y la altura disponibles, sino que también compromete el diseño original de la planta, afectando directamente su eficiencia operativa.

4.2.4 Resultados de los muestreos de aguas residuales

Presentamos los resultados obtenidos del Laboratorio Analíticos de Sur y del laboratorio de la facultad de Química de la UNA Puno; para el muestreo se realizó en el afluente y efluente de la PTAR, como se detalla en la figura 20 la extracción de las muestras compuestas.

Figura 20

Esquema de la PTAR y las muestras realizadas



Nota. Se visualiza el programa de muestreo realizado a la PTAR según las Normas relacionados

Figura 21

Vista satelital de la PTAR



Nota. Se evidencia la infraestructura de la PTAR, indicando los puntos de muestreo

Tabla 15

Resultados de los parámetros del afluente en laboratorio

Parámetros	Und.	L.A.S.	Laboratorio Ing. Química –UNA PUNO			
		29/10/2020	31/07/2023	21/08/2023	12/09/2023	29/09/2023
Parámetros físico – químicos.						
Potencial hidrogeno	pH	7.22	6.85	6.92	6.73	7.16
temperatura	°C	22.6	18.02	18.4	17.4	18.16
Sólidos suspensión	mg/L	82	280	263	204	763
DQO	mg/L	390	323.1	425.72	624.23	210.3
DBO	mg/L	72.5	118.5	139.8	220	84
Aceites y grasas	mg/L		0.24	6.85	0.066	8.56
Parámetros microbiológicos						
Coliformes totales	NMP/ 100ml	92				
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100ml		93	93	93	93

Nota. Tomado de: L.A.S. (Laboratorio analíticos del sur, acreditado por INACAL con registro N° LE-50) y Laboratorio de control de calidad (Facultad de Ingeniería Química).

Tabla 16

Resultados de los parámetros de efluente en laboratorio

Parámetros	Und.	L.A.S.	Laboratorio Ing. Química –UNA PUNO			
		29/10/2020	31/07/2023	21/08/2023	12/09/2023	29/09/2023
Parámetros físico – químicos.						
Potencial hidrogeno	pH	7.41	6.98	6.88	7.03	6.68
temperatura	°C	22.3	18.05	18.6	17.4	18.30
Sólidos suspensión	mg/L	128	234	118.7	196.8	257
DQO	mg/L	324	165.68	268.8	276.3	110.32
DBO	mg/L	70.3	64.4	82.9	110.4	43.3
Aceites y grasas	mg/L		0.08	3.75	0.0012	8.41
Parámetros microbiológicos						
Coliformes totales	NMP/ 100ml	16				
Coliformes termotolerantes	NMP/ 100ml		23	23	23	23

Nota. Tomado de: L.A.S. (Laboratorio analíticos del sur, acreditado por INACAL con registro N° LE-50) y Laboratorio de control de calidad (Facultad de Ingeniería Química).

Figura 22

Vista de la extracción de las muestras para el laboratorio



Nota. Se muestra la caja térmica, las muestras del agua residual, materiales y equipos de protección.

4.3 ANÁLISIS DE LOS LMP Y ECA

4.3.1 Análisis de los resultados del efluente con los LMP.

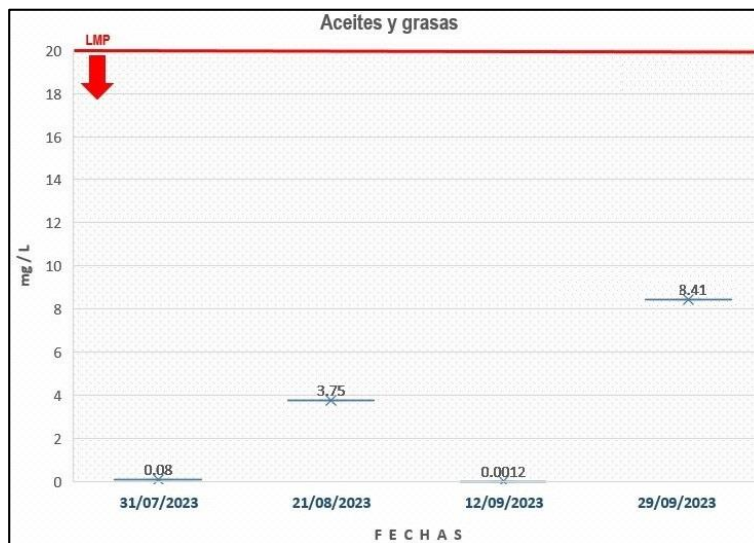
Los resultados del efluente, presentados en la tabla 16, se compararán con los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, que se detallan en la tabla 1

Aceites y grasas

Según la figura 23, el contenido de aceites y grasas en el agua residual es inferior a 20 mg/L, lo que la hace apta para su vertimiento.

Figura 23

Resultados de aceites y grasas en el efluente



Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 8.41 mg/L.

Coliformes termotolerantes

Los resultados de coliformes termotolerantes, presentados en la figura 24, muestran que no superan los 1000 NMP/100 mL, lo que indica que el agua es apta para su vertimiento.

Figura 24

Resultados de coliformes termotolerantes en el efluente



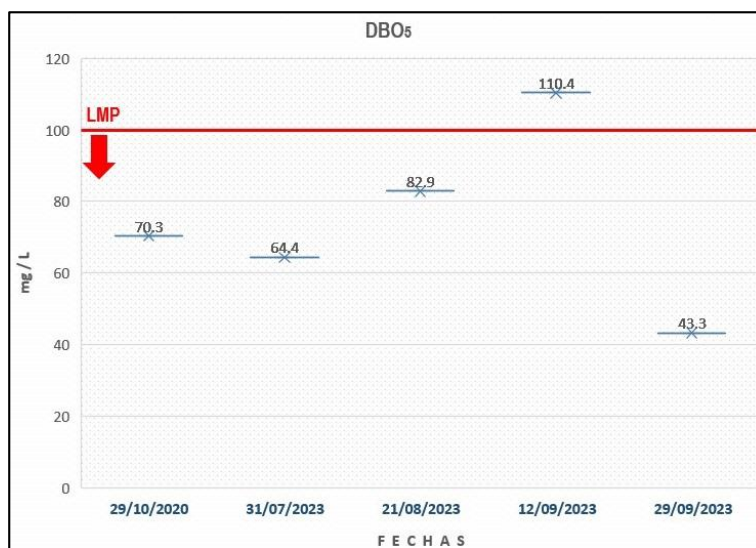
Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 23 NMP/100 mL

DBO

La DBO, como se muestra en la figura 25, indica que los resultados del agua residual en el afluente no cumplen con los LMP, lo que significa que el agua no es apta para su vertimiento.

Figura 25

Resultados de DBO₅ en el efluente



Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 110.4 mg/L.

DQO

Según la figura 26, la DQO excede los LMP, clasificando el agua residual como no apta para su vertimiento, ya que tres resultados del efluente superan dichos límites.

Figura 26

Resultados de la DQO en el efluente



Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 324 mg/L.

pH

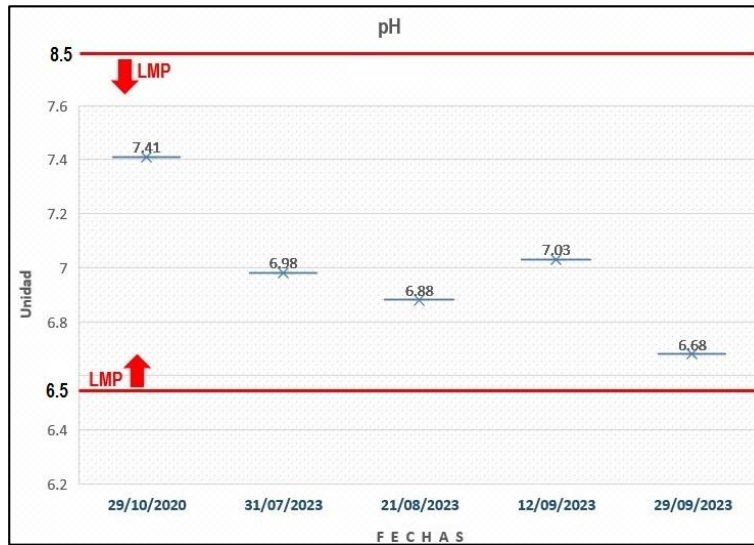
Según la figura 27, el pH del agua residual del efluente se encuentra dentro del rango establecido por los límites máximos permisibles, lo que confirma su idoneidad para el vertido

Sólidos totales en suspensión

Los sólidos totales en suspensión no cumplen con los LMP, como se ilustra en la figura 28, tres de los resultados de los efluentes analizados tampoco cumplen con estos estándares, lo que clasifica el agua como no apta para su vertimiento.

Figura 27

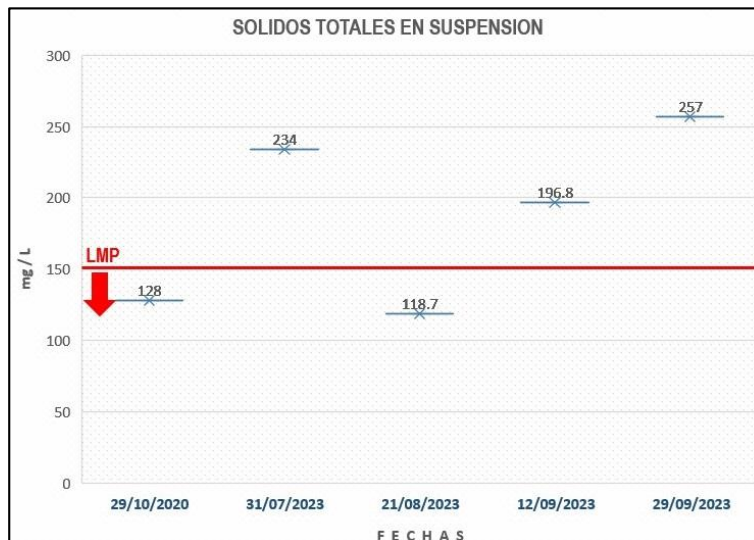
Resultados de pH



Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 7.41 y un valor mínimo de 6.68.

Figura 28

Resultados de solidos totales en suspensión.



Nota. El agua residual presenta un valor máximo de 257 mg/L.

4.3.2 Comparación con los LMP.

Para llevar a cabo la comparación con los LMP, se utilizarán los valores máximos obtenidos o las más críticas en el análisis del efluente de la PTAR. Los detalles de esta comparación se presentan en la tabla 17.

Tabla 17*Comparación del efluente con los LMP*

Parámetros	Unidad	LMP	Efluente de la PTAR	Comparación
Potencial de Hidrogeno	Unidad	6.5 – 8.5	6.68 – 7.41	Cumple
Solidos totales	mg/L	150	257	No cumple
DQO	mg/L	200	324	No cumple
DBO ₅	mg/L	100	110.40	No cumple
Aceites y grasas	mg/L	20	8.41	Cumple
Coliformes totales	NMP / 100mL	10000	23	Cumple

Nota. Se está realizando la comparación con los LMP del DS N° 003-2010-MINAM

En la comparación del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con los LMP establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM, se observa que los parámetros de pH, aceites y grasas, así como coliformes totales, cumplen con las normativas vigentes. Sin embargo, los niveles de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales no satisfacen dichos requisitos.

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM sobre los LMP, el agua residual supera estos valores, lo que genera daños a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente.

4.3.3 Análisis de los ECA para agua categoría 4.

El cuerpo receptor de nuestro estudio es el Lago Titicaca, clasificado como categoría 4 de lagunas y lagos según el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. En abril y septiembre/octubre de 2017, Siguyayro *et al.*, (2017) llevaron a cabo campañas de monitoreo en estaciones ubicadas en áreas de afluencia de la red

tributaria que desemboca en el lago. Uno de los puntos de monitoreo se situó en la descarga de la PTAR de Conima hacia el Lago Titicaca, como se ilustra en la figura 29.

Figura 29

Parámetros del cuerpo receptor Lago Titicaca

ZONA	EFLUENTE AGUAS RESUALES	ESTADÍSTICO	T (°C)	CE (µS/cm)	pH	OD (mg/L)	SAT (%)	NH ₄ (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	NO ₂ (mg/L)	NO ₃ (mg/L)	NT (mg/L)	PT (mg/L)	SST (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	CT (NMP/100 mL)
Desaguadero	Laguna oxidación	Media	15,80	1783,00	7,91	0,07	0,41	70,70	6,976	0,048	8,355	48,300	8,337	51,63	107,33	8,27E+05
		Dev. Estandar	2,55	203,65	0,16	0,03	0,56	28,19	1,295	0,013	3,717	1,782	4,915	72,66	59,87	1,09E+06
Yunguyo	Efluente	Media	13,25	1327,50	8,23	2,87	44,00	32,34	4,938	0,018	8,775	27,580	3,182	50,25	95,71	8,11E+05
		Dev. Estandar	0,21	598,92	0,16	1,81	28,57	0,50	0,266	0,000	4,062	7,326	1,454	66,82	38,12	1,12E+06
Pomata	PTAR	Media	13,10	699,65	8,23	0,79	12,11	29,05	6,185	0,016	3,965	14,700	5,776	21,25	103,46	8,07E+05
		Dev. Estandar	0,57	139,09	0,18	0,49	7,49	18,50	1,774	0,010	0,781	6,138	0,692	26,52	89,39	1,12E+06
Juli	Laguna oxidación	Media	13,65	795,90	8,49	9,18	141,50	37,62	4,899	0,070	6,116	13,720	6,673	187,50	112,73	8,09E+05
		Dev. Estandar	0,78	282,98	0,62	4,82	76,65	19,36	3,798	0,026	2,186	15,839	7,591	201,53	80,05	1,12E+06
Tilali	Laguna oxidación	Media	13,05	416,15	9,05	6,70	101,30	2,60	3,444	0,192	5,109	4,900	2,007	30,28	42,19	3,50E+03
		Dev. Estandar	0,07	148,28	1,18	7,78	117,95	2,19	0,816	0,260	5,034	3,762	2,054	37,51	23,77	1,56E+03
Conima	Laguna oxidación	Media	14,20	459,45	9,17	10,92	167,60	4,03	4,991	0,058	4,243	9,940	3,051	54,00	38,08	8,09E+05
		Dev. Estandar	1,84	47,45	0,18	1,87	20,65	0,29	0,803	0,049	2,681	8,514	0,761	33,23	12,14	1,12E+06
Moho	Laguna oxidación	Media	12,90	357,80	8,13	3,46	49,65	11,46	4,335	0,031	3,785	6,580	2,529	42,28	24,96	1,47E+05
		Dev. Estandar	1,27	28,43	0,18	0,44	4,31	5,97	0,395	0,032	0,029	1,386	1,731	27,54	2,42	1,89E+05
Puno	Laguna oxidación	Media	16,35	1790,50	8,20	0,15	2,46	74,99	6,339	0,079	10,277	58,240	4,389	154,38	142,77	1,20E+08
		Dev. Estandar	0,21	522,55	0,11	0,17	2,89	17,77	1,48	0,08	3,44	8,32	0,81	68,77	38,99	1,70E+08

Nota. Extraído de Siguayro et al, (2017, p. 373)

A partir de los parámetros obtenidos en la mezcla del cuerpo receptor del Lago Titicaca, se realizó a la concentración máxima una comparación con los ECA de categoría 4 (E1: Lagunas y lagos), como se detalla en la tabla 18.

Tabla 18

Comparación del efluente con los ECAs

Parámetros	Unidad	ECA Cat. 4 (E1)	Concentración máxima	Observación
Potencial de Hidrogeno	Unidad	6.5 – 9.0	9.17	No Cumple
DBO ₅	mg/L	5	38.08	No cumple
Solidos totales suspendidos	mg/L	≤25	54	No cumple
Coliformes totales	NMP / 100mL	1000	80900	No Cumple

Nota. Se está realizando la comparación con los ECA cat. 4 del D.S. N° 004-2017-MINAM

Al analizar los ECA de la mezcla de agua residual de la PTAR con el lago Titicaca, se observa que los parámetros de pH, DBO₅, sólidos suspendidos totales y coliformes totales no cumplen con lo establecido en el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM, categoría 4 (E1: lagunas y lagos).

De acuerdo con la definición de los ECA, la concentración en el cuerpo receptor supera los límites establecidos, lo que representa un riesgo significativo para la salud humana y el medio ambiente

4.3.4 Grado de contaminación

La forma más precisa de evaluar la contaminación del agua es a través de análisis de laboratorio, que permiten identificar la presencia y concentración de contaminantes, como bacterias, metales pesados y productos químicos. (Hernández, 2016).

Tabla 19

Grado de contaminación del agua residual

Parámetro	Co fuerte (mg/l)	Co media (mg/l)	Co ligera (mg/l)	Co max. lago Titicaca
Sólidos suspendidos	500	300	100	38.08
DBO ₅	300	250	120	54
pH	6.9	6.9	6.9	9.17

Nota. Adaptado a lo indicado por Hernández (2016). Co = concentración

Según el análisis realizado en los ECA, la mezcla de agua residual con el cuerpo receptor presenta un grado de contaminación ligero, tal como se detalla en la tabla 19. En contraste, los LMP muestran una concentración media, en comparación con los resultados obtenidos en la tabla 17.



4.4 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONTAMINANTES DE LA PTAR.

En la presente investigación los parámetros evaluados son establecidos en el D. S. N° 003-2010-MINAM, los cuales se detallan a continuación:

- Aceites y grasas.
- Coliformes temotolerantes.
- DBO.
- DQO.
- pH.
- Solidos totales en suspensión.

Los resultados del análisis efectuado por el Laboratorio Analíticos del Sur y el laboratorio de calidad de la Facultad de Ingeniería Química se presentan en las tablas 15 y 16, donde se detallan los parámetros evaluados.

4.4.1 Definición eficiencia de remoción

Guevara Vera (1996), es la medición de la capacidad degradativa que se realiza mediante la recolección de muestras en la entrada y salida de las lagunas. Los parámetros principales a evaluar son la DBO y la DQO. Un bajo rendimiento en estos indicadores sugiere que el sistema no está funcionando adecuadamente en términos de degradación. Por lo tanto, se diseñan los sistemas para alcanzar eficiencias elevadas. (p. 23)

De la Vega (2012) es la reducción porcentual de los parámetros de control y se define conforme a la normativa vigente. Esta reducción se determina mediante la relación entre la carga entrante a una unidad y la carga en el flujo de

salida, lo que permite calcular la cantidad de los parámetros específicos que han sido removidos (p. 81). La medición se realiza utilizando la siguiente fórmula:

$$E = \text{Remoción (\%)} = \frac{C_a - C_e}{C_a} * 100\%$$

Donde:

E = Eficiencia de remoción del sistema, o de cada componente (%)

Ca = Concentración afluente

Ce = Concentración efluente

4.4.2 Resultados de la eficiencia de la PTAR

Los resultados de la eficiencia se calcularán utilizando la fórmula propuesta por De la Vega (2012). Este análisis se aplicará a cada parámetro, tanto del afluente como del efluente, cuyos datos se presentan en las tablas 15 y 16.

Tabla 20

Resultados de remoción promedio de la PTAR

Parámetros	Unidad	Punto del muestreo		Eficiencia promedio
		Afluente promedio	Efluente promedio	
Potencia de Hidrogeno	Und. pH	6.976	6.996	-0.287%
DQO	mg/L	394.67	229.02	41.97%
DBO	mg/L	126.96	74.26	41.53%
Aceite y grasas	mg/L	3.93	3.06	22.14%
Solidos totales	mg/L	318.40	186.9	41.05%
Coliformes totales	UFC/100ml	92.8	21.6	76.72%

Nota. Haciendo uso de los resultados obtenidos, se hace el cálculo de la eficiencia promedio.

Los resultados de la eficiencia promedio en la remoción de contaminantes en la PTAR de Conima son los siguientes: DQO (41.97%), DBO (41.53%), aceites

y grasas (22.14%), sólidos totales (41.05%), Coliformes Totales (76.72%) y pH (-0.287%). Se observa que el parámetro de pH presenta una carga contaminante superior en el efluente que, en el afluente de la PTAR, lo que indica un desafío en el control del equilibrio químico del agua tratada. Estos resultados reflejan la capacidad de la PTAR para reducir los niveles de varios contaminantes.

4.4.3 Análisis de eficiencias del sistema.

Las lagunas se clasifican como parte del tratamiento secundario. En la tabla 21 se presenta una comparación que refleja la eficiencia que debería cumplir la norma NTP OS 090, según los estudios de Hernández (2016) y Edgardo (2018), los cuales se detallan en las tablas 5, 4 y 7, respectivamente.

Tabla 21

Análisis de eficiencia de remoción (%)

Parámetros	Lagunas	Tratamiento		PTAR Conima
	estabilización NTP OS 090	Hernández	Edgardo	
DBO ₅	70 – 85	75 – 95	80 – 85	41.53
Sólidos en suspensión		80 – 95	80 – 90	41.05
Coliformes totales		80 – 90	90 – 98	76.72

Nota. Las eficiencias de la PTAR se detallan en la Tabla 20.

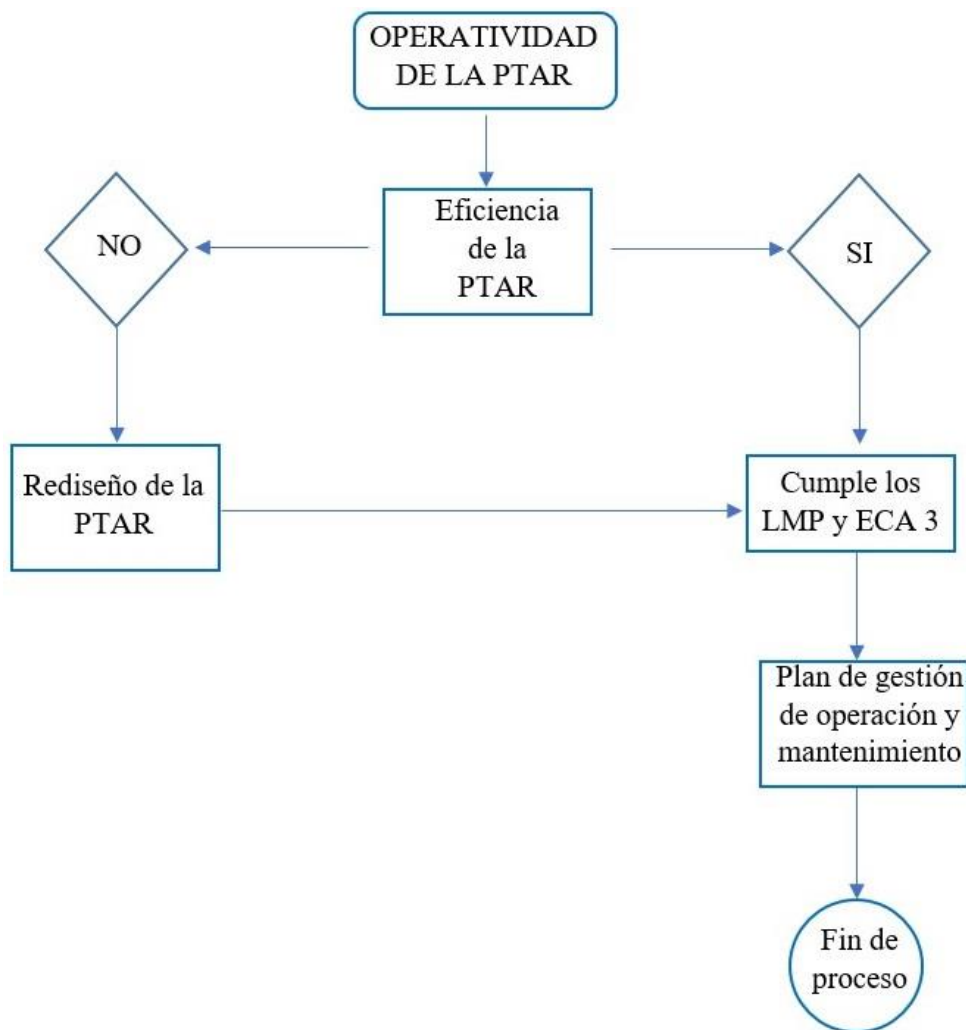
La eficiencia de la PTAR de Conima es significativamente inferior a lo estipulado por la normativa y los estudios previos. En términos de DBO₅, la planta solo logra remover el 50% del contaminante esperado. Asimismo, la reducción de sólidos en suspensión es similar. En cuanto a los coliformes totales, aunque se remueve el 76.72%, este valor también se encuentra por debajo de lo requerido.

4.5 PROPUESTA DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

La propuesta de mejora para optimizar la eficiencia en la remoción de contaminantes en la PTAR del distrito de Conima se fundamenta en un análisis detallado del diagrama de flujos del proceso que se aprecia en la figura 30.

Figura 30

Flujograma de la propuesta en la PTAR



Nota. Se aprecia el diagrama de flujos de análisis para la mejora de la PTAR de Conima.

La actual planta de tratamiento de aguas residuales no opera eficientemente, incumpliendo los LMP y los ECA. Esto se debe a que ha alcanzado su vida útil de diseño y carece de un plan adecuado de operación y mantenimiento. Para solucionar estas

deficiencias y asegurar el cumplimiento normativo, se propone el diseño de una nueva PTAR con un plan integral de gestión para su operación y mantenimiento.

4.5.1 Consideraciones técnicas de la propuesta

De acuerdo con la N.T.P. O.S. 090, específicamente en el ítem 4.3.15, el estudio de factibilidad técnico-económica evaluará diversas alternativas tecnológicas considerando los siguientes aspectos: Requerimientos del terreno, equipos necesarios, energía, personal especializado, confiabilidad en mantenimiento en situaciones de emergencia. Este marco establece un análisis integral que orientará el desarrollo de la propuesta para la PTAR en Conima, asegurándose que se consideren todos los factores críticos relevantes.

El terreno disponible para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales es de 1.39 hectáreas, como se aprecia en la figura 31.

Figura 31

Área total de la PTAR Conima



Nota. Se aprecia el área del terreno para su diseño



4.5.2 Pretratamiento

De acuerdo al ítem 5.3.1.1 de la N.T.P. O.S.090, todas las plantas de tratamiento de aguas residuales, independientemente de su complejidad, deben incorporar cribas o cámaras de rejas como parte integral del proceso de pretratamiento. Este requisito asegura la eliminación efectiva de sólidos grandes que podrían afectar el funcionamiento posterior del sistema.

El ítem 5.3.2.1 subraya la importancia de incluir desarenadores en aquellas plantas que dispongan de sedimentadores, digestores, y, opcionalmente, lagunas de estabilización. Estos dispositivos son esenciales para remover arena y otros sedimentos pesados antes del tratamiento biológico, optimizando así la eficiencia del proceso.

Además, el ítem 5.3.3.1 establece que es obligatorio instalar un medidor de caudal de régimen crítico tras las cribas y desarenadores, prohibiendo el uso de vertedores en este contexto. Esta medida garantiza una medición precisa del flujo, lo que es vital para el control y la regulación del tratamiento.

Por lo tanto, se propone:

- Una cámara de rejas
- La implementación de los desarenadores
- medidor Parshall de 3”.

4.5.3 Tratamiento primario

Para la selección de la alternativa, se utilizará el criterio de Collado (1990) para la selección de alternativas, clasificando los procesos unitarios según su rango de aplicación y considerando las características de la población a servir.

Este enfoque facilita una evaluación precisa y fundamentada de las opciones disponibles, garantizando la elección de la alternativa más adecuada para las necesidades específicas de la comunidad. A continuación, se presenta una tabla que detalla esta clasificación.

Tabla 22

Tecnologías de tratamiento según a la población a servir.

Sistema	Población							
	100	200	500	1000	2000	5000	10000	>20000
Fosa séptica	O	A	L					
Tanques Imhoff	A	A	O	O	O	A		
Zanjas y lechos filtrantes	O	O	O	A	L			
RAFA	Sa	Sa	L	A	O	O	A	
Zanjas de oxidación	Sa	Sa	Sa	A	A	O	O	O
Aireación prolongada	A	A	O	O	O	O	O	A
Filtro biológicos	Sa	L	A	O	O	O	A	L
Lagunas aireadas	Sa	Sa	L	A	O	O	O	O
Lagunas anaerobias	A	A	O	O	O	O	O	A
Lagunas facultativas	L	A	O	O	O	O	O	O

Nota. L=Límite, A=Aceptable, O=Óptimo, Sa=Sin Aplicación.

Para la localidad de Conima, con una población de 893 habitantes, se han evaluado diversas tecnologías para la PTAR según la tabla 22. Las opciones consideradas como óptimas incluyen tanques Imhoff, lagunas anaerobias y lagunas facultativas.

La elección de la tecnología adecuada no solo depende de su rendimiento, sino que también se deben considerar criterios complementarios específicos para

la zona, los cuales están detallados a continuación. Estos criterios son fundamentales para asegurar que la tecnología seleccionada sea efectiva y sostenible en el contexto local.

Tabla 23

Criterio de selección de PTAR

Criterio	Alternativas		
	L	TI	TI - L
Terreno disponible	1	4	2
Complejidad del tratamiento	5	4	4
Disponibilidad de recurso humano especializado	4	4	4
Costo de inversión	5	5	5
Operación y mantenimiento	5	4	5
Entorno social	3	4	4
Impacto ambiental	4	2	4
Sostenibilidad del sistema	5	5	5
Total	32	32	33

Nota. L=Lagunas, TI=Tanque Imhoff. 1 = mayor, 5 = menor. Se aprecia que la mayor puntuación lo tuvo los tanques imhoff y las lagunas.

Según la tabla 22 y 23, el Tanque Imhoff es el sistema óptimo para el tratamiento primario de aguas residuales, como es el caso de la localidad de Conima. La SUNASS (2015) evaluó 15 plantas de tratamiento de aguas residuales, encontrando que el Tanque Imhoff es el método más comúnmente utilizado. Por lo tanto, se propone implementar este proceso, que está regulado en el numeral 5.4.2 de la NTP OS 0.90.



4.5.4 Tratamiento secundario

El análisis de la tabla 23 revela que, entre las distintas alternativas evaluadas, las lagunas se presentan como la opción más adecuada para el nuevo diseño de la PTAR en la localidad de Conima. Esta elección se fundamenta en criterios técnicos y ambientales que aseguran una solución eficiente y sostenible para el tratamiento de aguas residuales en la zona.

La Norma Técnica Peruana OS.090, en su numeral 5.5.2.6, se recomienda que el diseño incorpore al menos dos unidades en paralelo, lo que garantiza la operación continua de una unidad mientras se lleva a cabo el mantenimiento de la otra. Además, para las lagunas facultativas, se sugiere una forma alargada con una relación mínima de largo a ancho de 2:1.

La construcción de lagunas de estabilización requiere consideraciones clave para asegurar su eficiencia. Es esencial que la unidad de entrada esté ubicada a la máxima distancia posible de la salida, lo que permite una distribución uniforme del agua residual y previene cortocircuitos. La impermeabilización debe realizarse con recubrimientos de telas plásticas, capas de arcilla, tierra compactada o geomembranas. Para el aforo, se recomienda instalar una canaleta de Parshall en la entrada y un vertedero en la salida. En poblaciones pequeñas, solo se necesita un operador residente, y las lagunas deben estar adecuadamente cercadas para evitar el acceso de personas y animales. (Romero, 1999, p. 175 - 180).

Los sistemas lagunares son una opción preferida en América Latina para el tratamiento de aguas residuales, adoptada tanto por comunidades como por gobiernos. Su creciente popularidad se atribuye a varios factores: Eficiencia alta en la degradación de contaminantes, costos reducidos (la implementación y



mantenimiento de lagunas de estabilización son más económicos en comparación con métodos convencionales), facilidad de construcción y operación (su diseño simple permite una operación eficiente con un requerimiento mínimo de personal especializado). Guevara (1996)

La Comisión Nacional del Agua (2008) considera que las lagunas de estabilización son una solución eficaz para el tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades que generan residuos biodegradables y que disponen del espacio y condiciones adecuadas. La creciente popularidad de las lagunas de estabilización se debe a su bajo costo, facilidad de operación y eficiencia energética, lo que las convierte en una opción viable y sostenible para el tratamiento de aguas residuales. Además, su diseño permite la eliminación efectiva de materia orgánica y microorganismos patógenos, siendo más económico en comparación con métodos convencionales, con costos reducidos tanto en instalación como en mantenimiento.

Para cumplir con el vertimiento de aguas residuales, se propondrán dos lagunas facultativas en paralelo y dos lagunas de maduración en paralelo, dispuestas en serie.

4.5.5 Tren de tratamiento propuesto

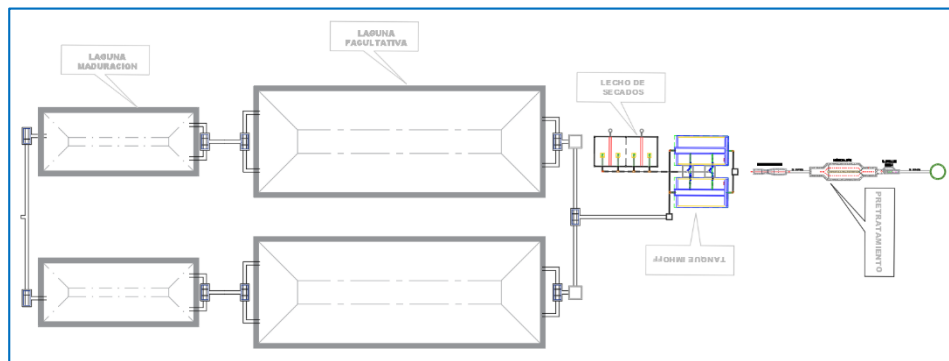
Los diseños y planos de cada componente se presentan en los Anexos 7 y 8, el sistema de tratamiento propuesto incluirá los siguientes componentes:

- 01 unidad cámara de rejillas.
- 01 unidad desarenador.
- 01 unidad medidor Parshall.
- 02 unidad de tanque imhoff

- 02 unidad lagunas facultativas en paralelo.
- 02 unidad lagunas de maduración en paralelo.
- 01 unidad de lecho de secados.

Figura 32

Propuesta de la PTAR para la localidad de Conima



Nota. Elaborado por el equipo de trabajo.

4.5.6 Resultado del balance de masas

Según el cálculo de balance de masas presentado en el Anexo 6, se cumple con los LMP y los ECA, (ver tabla 24). Esto se logra mediante el tren de tratamiento propuesto, que garantiza el cumplimiento de dichas normativas

Tabla 24

Resumen del balance de masas

Parámetro	ECA categoría 4	LMP	Valor de descarga	Observación
DBO5 (mg/L)	5	100	3.98	Cumple
Solidos suspendidos (mg/L)	25	100	18.34	Cumple
Coliformes termotolerantes (NMP/100ml)	1000	10000	92.80	Cumple

Nota. Se observa que el valor de descarga está por debajo que los ECA y LMP.



4.5.7 Operación y mantenimiento

La Comisión Nacional del Agua, se centra en la operación y mantenimiento de lagunas de estabilización, destacando la simplicidad de sus procesos en comparación con otros sistemas biológicos. Se enfatiza la importancia de realizar inspecciones regulares para identificar señales de erosión, grietas y agujeros provocados por fauna.

Las actividades rutinarias incluyen:

- Inspección de geomembranas: Verificar el sellado en las uniones si la laguna está impermeabilizada.
- Limpieza periódica: Mantener limpias las obras de llegada, canales de acceso, sistemas de pretratamiento (rejillas y desarenadores), así como las estructuras de entrada, interconexión y salida, eliminando las películas biológicas acumuladas en las paredes.
- Eliminación de material flotante: Retirar natas, vegetación y otros materiales flotantes de las lagunas, así como limpiar los diques de material vegetal.
- Monitoreo hidráulico: Medir el caudal de entrada y salida en cada laguna, además de verificar y controlar los niveles de agua.

A pesar de la aparente sencillez en su operación, es esencial llevar a cabo estas actividades operativas. Es crucial que tanto los administradores como los operadores comprendan la relevancia del seguimiento continuo del proceso y la medición de factores clave que puedan afectar su funcionamiento, así como el registro adecuado de estos datos.

4.6 DISCUSIÓN

La variación horaria del caudal en el estudio muestra un rango significativo, oscilando entre 3.201 l/s y 0.034 l/s. Se observa que los caudales mínimos se registran entre las 10:00 p.m. y las 4:00 a.m., periodo en el cual el consumo es bajo y el flujo se debe principalmente a infiltraciones. Por otro lado, los caudales máximos se presentan entre las 8:00 a.m. y las 11:00 a.m., coincidiendo con el aumento de la actividad diurna. En comparación, Izurieta (2020) reporta caudales que varían de 0.622 l/s a 5.042 l/s, con un pico de caudal que ocurre entre las 12:00 p.m. y la 1:00 p.m. También Villar (2023) presenta valores registrados que oscilan entre 13.92 l/s y 24.09 l/s, destacando el mayor caudal entre las 10:00 a.m. y las 11:00 a.m. Estas variaciones en el consumo de agua se alinean con lo expuesto por Metcalf & Eddy (1995) y Romero (1999), quienes destacan que los patrones de consumo están influenciados por las costumbres de la comunidad, la operación de industrias locales y las condiciones climáticas predominantes. Esta información es crucial para entender la dinámica del caudal y su relación con factores sociales y ambientales.

El diagnóstico de la estructura realizada en campo revela una notoria ausencia de operación y mantenimiento de las autoridades municipales competentes, lo que afecta directamente a la operación y eficiencia necesaria para cumplir con los LMP y los ECA 3 en el vertimiento y disposición final de efluentes. Esta situación se asemeja a los hallazgos de Gallardo y Jiménez (2023), quienes también documentan el incumplimiento de las condiciones operativas en la PTAR “Canton Salcedo”, sugiriendo un nuevo modelo óptimo para su tren de tratamiento. Investigaciones adicionales, como las de Izurieta (2020), Mercado et al. (2020), Auccatinco (2021) y Villar (2023), enfatizan la necesidad de implementar intervenciones civiles en las estructuras hidráulicas para mejorar su eficiencia. Estas propuestas incluyen el desarrollo de un plan integral de operación y



mantenimiento que facilite la gestión por parte del personal encargado. Este análisis se alinea con lo expuesto por Díaz et al. (2020), quienes encontraron que, en un estudio sobre 16 sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas alrededor del lago Titicaca, el 56.25% no había realizado mantenimiento en los últimos cinco años, mientras que el 43.75% había llevado a cabo solo mantenimientos mínimos. La principal causa identificada es la falta de recursos financieros, lo que impide que estos sistemas operen a su máxima capacidad, afectando así la eficiencia de los procesos. En el caso específico de la PTAR de Conima, la ausencia de recursos económicos y el desinterés por parte de las autoridades locales han contribuido a la falta de operatividad y mantenimiento, además de no contar con un cerco perimétrico adecuado.

En el análisis del efluente, se observó que algunos parámetros cumplen con los Límites Máximos Permisibles (LMP), mientras que otros no. Los parámetros que cumplen son: pH (7.03), aceites y grasas (0.0012 mg/L), Coliformes totales. Sin embargo, los siguientes parámetros exceden los límites establecidos: DBO es de 110.40 mg/L, cuando el límite es de 100 mg/L, la DQO es de 276.30 mg/L, superando el límite de 200 mg/L y los sólidos totales es de 196.80 mg/L, por encima del límite permitido de 150 mg/L. En cuanto a los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) categoría 4, el pH, sólidos suspendidos totales, DBO y coliformes totales no cumplen. Según la investigación de Paucar (2023) sobre el efluente de la PTAR Ajoyani, se confirma que este efluente supera los LMP en DBO, DQO y coliformes totales. En su estudio, se señala que solo el pH cumple, mientras que la DBO alcanza 110.40 mg/L (superior al límite de 15 mg/L) y la DQO llega a 276.30 mg/L (muy por encima del límite de 40 mg/L). De manera similar, la PTAR de Lampa, evaluada por Pacori (2024), también incumple con los parámetros de DBO, DQO y sólidos totales. Asimismo, el análisis del efluente de la PTAR Llaspay realizado por Alfaro y Nina (2022) confirma el incumplimiento en DBO y DQO.



Finalmente, los valores obtenidos son inferiores a los reportados por Auccatinco (2021) en la PTAR Cusipata, donde se registraron DBO de 120 mg/L y DQO de 274 mg/L. Ante esta situación, se proponen a implementar un nuevo tren de tratamiento que garantice el cumplimiento de la normativa de vertimiento y las condiciones de diseño establecidas en la NTP OS.090.

La evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales se llevó a cabo mediante un análisis exhaustivo de los materiales, métodos y resultados obtenidos. La caracterización y el muestreo en el afluente y efluente permitieron determinar las eficiencias en la remoción de contaminantes, alcanzando los siguientes porcentajes: Sólidos totales (41.05%), DBO (41.53%), DQO (41.97%), grasas y aceites (22.14%) y coliformes totales (76.72%). Aunque la eficiencia en la remoción de DQO es comparable, pero los valores obtenidos para DBO y sólidos suspendidos son inferiores a los reportados por Izurieta (2020), donde se observó una remoción entre el 27% y el 43%. Estos resultados no cumplen con la normativa TULSMA 2015. De manera similar, Auccatinco (2021) reportó eficiencias de DBO (26.9%), DQO (23.8%) y sólidos suspendidos (35.9%), todos por debajo del umbral del 36%, lo que también contraviene la NTP OS 090. Un aspecto destacado en nuestra investigación es la baja eficiencia en la remoción de grasas y aceites, que se debe a una carga contaminante inicial mínima (3.93 mg/L). Este valor cumple con el límite permisible establecido por el D.S. N° 003-2010-MINAM, que es de 20 mg/L para aceites y grasas. Por otro lado, la eficiencia en la remoción de coliformes totales también se alinea con las normativas vigentes. En comparación con otros estudios, Paucar (2023) reportó una eficiencia mínima del 8.96% también para grasas y aceites y un 42.45% para DQO, similar a nuestros hallazgos; sin embargo, su estudio mostró un DBO del 57.27% y sólidos totales del 50.15%. Además, se observó un aumento en la carga contaminante de coliformes termotolerantes en el efluente respecto



al afluente de -68.97%. Finalmente, Pacori (2024) evidenció variaciones en las eficiencias según las temporadas de lluvia y estiaje, encontrando mejores resultados en estiaje para DBO, DQO y sólidos totales, mientras que las eficiencias para grasas y aceites fueron superiores durante las lluvias. Estas fluctuaciones se atribuyen a la mezcla del agua residual con aguas pluviales durante las épocas de lluvia, lo que impacta directamente en las eficiencias del tratamiento. Aunque algunos parámetros cumplen con las normativas vigentes, es necesario implementar mejoras en la eficiencia del tratamiento para asegurar el cumplimiento total de los estándares establecidos y optimizar el proceso en función de las variaciones estacionales.

La propuesta de solución se centra en un sistema que incluye la cámara de rejas, desarenador, medidor Parshall, tanque Imhoff y lagunas de estabilización. Este sistema se fundamenta en el balance de masas y considera diversas tecnologías aerobias y anaerobias, adecuadas para Conima. Paucar (2023) presenta un tren de tratamiento similar, ajustado a las condiciones de temperatura y altitud de su zona, aunque incorpora un filtro percolador para optimizar su balance de masas en el vertimiento. Por otro lado, Gallardo y Jiménez (2023) junto con Villar (2023), sugieren el uso del tanque Imhoff como tratamiento primario, destacando su efectividad en la remoción de sólidos y materia orgánica.



V. CONCLUSIONES

PRIMERA: La evaluación de la variación del caudal en un periodo de 24 horas revela patrones significativos en el consumo de agua. Se observa que los caudales mínimos se registran durante las primeras horas de la mañana, específicamente entre la 01:00 y las 04:00 horas, así como al final del día, entre las 22:00 y las 24:00 horas. En estos intervalos, el consumo es reducido, y el flujo en el sistema se debe principalmente a la infiltración. Por otro lado, el caudal máximo se presenta entre las 08:00 y las 11:00, coincidiendo con el aumento en la actividad diurna. Además, entre las 07:00 y las 19:00 horas, el caudal de aguas residuales es consistentemente mayor que durante la noche. En términos cuantitativos, el caudal máximo que ingresa del alcantarillado hacia la PTAR alcanza los 3.201 l/s, mientras que el caudal mínimo desciende a 0.034 l/s.

SEGUNDA: El análisis del estado de la PTAR en Conima revela varios problemas críticos que afectan su funcionamiento y cumplimiento normativo, así como: Falta de infraestructura, desinterés institucional, deficiencias operativas, impacto ambiental negativo. La falta de operación y mantenimiento es lo que impide alcanzar los estándares requeridos para la eficiencia del tratamiento. Esta situación se traduce en el incumplimiento de los LMP y los ECA establecidos para el vertimiento y disposición final del efluente.

TERCERA: Los parámetros en el análisis del efluente revelan que algunos parámetros cumplen con los LMP, mientras que otros exceden los valores establecidos. Los parámetros que cumplen son: pH con 7.03, aceites y



grasas con 0.0012 mg/L, coliformes totales con 23 NMP/100 mL. Por otro lado, los parámetros que no cumplen son: DBO con 110.40 mg/L (LMP: 100 mg/L), DQO con 276.30 mg/L (LMP: 200 mg/L), sólidos totales con 196.80 mg/L (LMP: 150 mg/L). En cuanto a los ECA para agua, categoría 4, se observa que el pH (9.17), DBO (38.08 mg/L), sólidos suspendidos totales (54 mg/L) y coliformes totales (80900 NMP/100 mL) superan significativamente los límites permitidos.

CUARTA: La planta de tratamiento de aguas residuales de Conima presenta una eficiencia variable en la remoción de contaminantes, alcanzando los siguientes porcentajes: 41.05% en sólidos totales, 41.53% en demanda biológica de oxígeno, 41.97% en demanda química de oxígeno, 22.14% en aceites y grasas, y 76.72% en coliformes totales. Además, se ha observado un incremento del 0.287% en la carga contaminante relacionada con el potencial de hidrógeno.

QUINTA: La propuesta de mejora para la remoción eficiente de contaminantes en la PTAR del distrito de Conima se fundamenta en un análisis exhaustivo de la caracterización fisicoquímica del agua, el cálculo de eficiencias del sistema y una evaluación detallada de la infraestructura existente. El tren de tratamiento sugerido incluye una cámara de rejillas, un desarenador, un medidor Parshall, dos unidades de tanque Imhoff, dos lagunas facultativas en paralelo, dos lagunas de maduración y lecho de secado. Esta configuración no solo optimiza el proceso de tratamiento, sino que también asegura que los efluentes cumplan con los estándares de calidad requeridos.



VI. RECOMENDACIONES

- Se sugiere llevar a cabo investigaciones adicionales sobre la operatividad de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la región de Puno. Este estudio es crucial para evaluar la calidad de los efluentes domésticos a nivel regional, lo que permitirá identificar las plantas que no cumplen con las normativas vigentes sobre calidad del agua. Con esta información, se facilitará la intervención de los organismos reguladores en aquellas plantas que presenten deficiencias, garantizando así una gestión adecuada y sostenible de los recursos hídricos en la región.
- Se sugiere a los investigadores ampliar el análisis de la calidad del agua residual mediante la inclusión de muestras de metales pesados. Esta práctica permitirá un control más efectivo de la contaminación, dado que el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM no contempla estos parámetros en los Límites Máximos Permisibles (LMP). Al incorporar estos análisis, se podrá obtener una visión más integral de la calidad del agua y se contribuirá a la protección del medio ambiente y la salud pública.
- Para garantizar la vida útil de la PTAR en el distrito de Conima, es crucial que la Municipalidad Distrital implemente acciones efectivas en su operación y mantenimiento. Esto no solo asegurará un funcionamiento eficiente de la planta, sino que también es fundamental para prevenir problemas como malos olores, acumulación de sedimentos y fallas en el sistema, que pueden surgir por falta de atención adecuada. Además, es esencial fomentar la conciencia pública sobre la importancia del pago por el servicio de saneamiento. La educación a los usuarios y a la población en general sobre los beneficios del mantenimiento regular y las



consecuencias negativas de su ausencia contribuirá a un mejor uso y cuidado de la infraestructura existente.

- Se sugiere a los investigadores explorar alternativas adicionales de solución, tales como sistemas aerobios. Asimismo, es fundamental investigar las tecnologías anaerobias que puedan adaptarse a la región específica. Esto incluye la implementación de métodos para aumentar la temperatura del agua. Es importante destacar que, antes de seleccionar un sistema, se debe llevar a cabo un balance de masas exhaustivo.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alasino, N. (2009). *Síntesis y Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Santa Fe, Argentina.
- Alianza por el Agua. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. Ideasmares.
- Alvarez, J., Hugh, S., Cuba, N., & Loza Murguía, M. (Julio de 2011). Evaluación de un sistema de tratamiento de aguas residuales del prebeneficiado de café (*Coffea arabica*) implementado en la comunidad Carmen Pampa provincia Nor Yungas del Departamento de La Paz. *Selva Andina Research Society*, 34-42.
- ASTM. (2013). *Standard Test Method for Open Channel Flow Measurement of Water with the Parshall (D1941 – 91)*.
- Auccatinco, R. (2021). *Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia Quispicanchi – Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Continental]*. Repositorio institucional.
<https://hdl.handle.net/20.500.12394/11355>
- Ayala, R., & Gonzales, G. (2008). *Apoyo Didáctico en la Enseñanza – Aprendizaje de la Asignatura de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Cochabamba, Bolivia: Universidad Mayor de San Simón.
- Bermeo, M. (2016). *Tratamiento de aguas residuales técnicas convencionales*. Guayaquil: EMSABA EP.
- Carrasco, S. (2005). *Metodología de la investigación científica*. San Marcos.
- Castillo, H. A. (2022). *Determinación experimental de la ecuación del aforador parshall de 3" sobre los 3800 msnm en la ciudad de Juliaca [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17821>
- CEPIS. (2005). *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores*. Lima: COSUDE.



- Charaja, F. (2011). *El MAPIC en la Metodología de Investigación* (2 ed.). Sagitario impresores.
- COMISION NACIONAL DEL AGUA. (2019). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento (MAPAS). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Lagunas de Estabilizacion*. coyoacan, Mexico.
- Cortes, F., Treviño, A., & Tomasini, A. C. (2017). *Dimensionamiento de lagunas de estabilizacion* (1 ed.). Divulgacion.
- De Azevedo, J. M., & Acosta, G. (1975). *Manual de Hidraulica* (6 ed.). Harla.
- De La Vega, M. Y. (2012). *Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales. Instituto nacional de desarrollo social* (Vol. 53).
- Dueñas, R. P. (2015). *Evaluación y Propuestas de Mejoramiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el Centro Poblado de Quiquijana, Distrito de Quiquijana, Provincia de Quispicanchis, Región Cusco [Tesis de pregrado, Universidad Catolica de Santa Maria]*. Repositorio institucional.
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/2137>
- Edgardo, J. (2008). *Manual de Depuración de Aguas Residuales Urbanas*. España: ideasmares.
- Espinoza, R. E. (2010). *Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores*. Piura: PIRHUA.
- Fuentes, A. (2012). *Diseño y Cálculo de la Obra de Llegada y Pretratamiento de una EDARU*. España.
- Gallardo, C., & Jimenez, J. (2023). *Diseño del sistema de alcantarillado y planta de tratamiento de aguas residuales en el barrio Bellavista del Canton Salcedo de la provincia de Cotopaxi [Tesis de pregrado, Universidad Tecnica de Ambato]*. Ambato, Ecuador. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37141>
- Guevara, A. (1996). *Propuesta metodologica evaluación de lagunas de estabilización*. Lima: CEPIS.



- Hernandez, M. (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*. Bogota.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37141>
- Hernandez, R., Fernandez, C., & Baptista, M. (2014). *Metodologia de la investigacion* (6 ed.). Mc Graw Hill.
- Izurieta, V. (2020). *Evaluacio de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Parroquia Poatug, Canton Grande, provincia de Tungurahua*. Ecuador.
<https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/30630>
- Lizarazo, J. M., & Orjuela, M. I. (2013). *Sistemas de plantas de tratamiento de aguas residuales en Colombia [trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia]*. Repositorio institucional. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/20486>
- Lozano, W. (2012). *Fundamentos de Diseño de Plantas Depuradoras de Aguas Residuales*. Colombia.
- Mamani, Y. (2017). *Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de el Collao [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Altiplano]*. Repositorio institucional.
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/5674>
- Manrique, M. (2004). *Calibracion de Estructuras Hidraulicas de Medicion*. Lima.
- Martin, A., & Oses, M. (2013). *Operacion y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales con el proceso de lodos activados*. Guadalajara: Jalisco.
- Medrano, M., Mamani , A., Muñoz, E., Diaz, R., & Medrano, E. (01 de Junio de 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. *Ciencia y Desarrollo*.
<http://revistas.uap.edu.pe/ojs/index.php/CYD/index>
- Mercado, A., Cossio, C., & Copa, M. (marzo de 2020). Eficiencia vinculada a la operación y mantenimiento de pequeñas plantas de tratamiento de aguas



residuales domésticas en Cochabamba, Bolivia. *SCIELO ACTA NOVA* ISSN:
1693-0768, 9(4), 524-542.

METCALF & EDDY. (1995). *Ingeniería de aguas residuales* (3 ed.). McGraw-Hill.

MMAA. (2013). *Sistematización Sobre Tratamiento y Reúso de Aguas Residuales*. La Paz, Bolivia: PROAGRO.

Murillo, B. (2018). *Evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria alimentaria, trabajo monográfico para optar el grado de Ingeniero Ambiental, de la Universidad Nacional Agraria la Molina*. Lima, Peru.

Noyola, A., Morgan, J., & Guereca, L. (2013). *Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales Guía para Ciudades Pequeñas y Medianas*. Mexico: UNAM.

Noyola, A., Vega, E., Ramos, J., & Calderon, C. (2000). *Alternativas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Mexico: IMTA.

Nuñez, A. (2015). *Manual del calculo de eficiencia para sistemas de riego*. Lima.

Olea, R. C. (2013). *Evaluacion de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Coatepec, Veracruz [Tesis de pregrado, Universidad Veracruzana]*. Repositorio institucional.

<https://api.semanticscholar.org/CorpusID:126425424>

ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. (13 de septiembre de 2023). *Agua para consumo humano*. Retrieved 2023, from Agua y salud:

<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>

Pacori, J. (2024). *Evaluacion de la eficiencia y alternativa de solucion de la planta de tratamiento de aguas residuales en Lampa [Tesis de posgrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional.

<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/21932>

Panca, O. (2016). *Evaluación de la operatividad y alternativa de solución de la planta de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Putina. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/9799>



- Parra, L. M. (2006). *Operación de un filtro anaerobio de flujo ascendente (fafa) hasta alcanzar el estado estable [Trabajo de grado, Universidad Nacional de Colombia sede Manizales]*. Repositorio institucional.
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/2805>
- Paucar, A. (2023). *Evaluación de la eficiencia de los procesos unitarios de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Ajoyani - Carabaya, 2022 [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]*. Repositorio institucional.
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/20898>
- Pedroza, E. (2001). *Canal parshall*. Jiutepec: IMTA.
- Perez, M. L., Piñas, L., Del Valle, J., & Aguirre, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales*. Mexico: Nosotrica.
- Rolim, S. (1999). *Lagunas de Estabilización*. Bogota: cidbimena.desastres.hn.
- Romero. (2005). *Lagunas de estabilización de aguas residuales*. Bogota: Escuela colombiana de ingeniería.
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales teoría y principios de diseño* (3 ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Romero, J. A. (2010). *Tratamiento de Aguas Residuales Teorías y Principios de Diseño*. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Siguayro, H., Pasapera, J., Villanueva, C., Coila, Y., & Gamarra, C. (2017). Evaluación de fuentes contaminantes en el anillo circunlastre del Lago Titicaca (sector Peruano), 2017. *Instituto del Mar Peruano*, 361-386.
- Terence J., M. (1999). *Abastecimiento de agua y alcantarillado. Ingeniería Ambiental*. Bogota: Mc Graw Hill.
- Vasquez, F. A. (2016). Lagunas de estabilización . *Extensionismo, Innovación Y Transferencia Tecnológica*, 3(643), 148-163.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30972/eitt.303004>
- Vilca, E. (2017). *Evaluación y propuesta de mejoramiento de los sistemas de tratamiento de aguas residuales de la localidad del distrito de Taraco, provincia*



de Huancané - Puno [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano].

Repositorio institucional.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/8862>

Villar, J. (2023). *Evaluacion de la planta de tratamiento de aguas residuales N° 02 de la ciudad de Cajabamba - Cajamarca.* <http://hdl.handle.net/20.500.14074/5874>

Von, S. (1998). *Introdução ã qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.* Belo Horizonte, Brasil: SEGRAC.



ANEXOS

ANEXO 1: Matriz de consistencia.

ANEXO 2: Certificados de los laboratorios.

ANEXO 3: Construcción y procedimiento de las lecturas del medidor Parshall.

ANEXO 4: Lecturas de Ha y Hb in situ.

ANEXO 5: Panel fotográfico.

ANEXO 6: Análisis del balance de masas.

ANEXO 7: Memoria de cálculo de la propuesta del sistema de tratamiento de aguas residuales de la localidad de Conima.

ANEXO 8: Planos de la propuesta de la PTAR de la localidad de Conima.



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo DIOMEDES CERZO VILLASANTE
identificado con DNI 45559561 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:

“ EVALUACION DE LA OPERATIVIDAD Y PROPUESTA DE UNA
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA
LOCALIDAD DE CONIMA, DISTRITO DE CONIMA, MOHO, REGION PUNO ”

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 10 de DICIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella



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

Por el presente documento, Yo DIOMEDES CEREZO VILLASANTO,
identificado con DNI 45559561 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:

"EVALUACION DE LA OPERATIVIDAD Y PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA LOCALIDAD DE CONIMA, DISTRITO DE CONIMA, MOHO, REGION PUNO"

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 10 de DICIEMBRE del 2024


FIRMA (obligatoria)



Huella