

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y
RECURSOS NATURALES



Tesis

**Eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales de los sectores de
Pucyura y Huancacalle, Distrito de Vilcabamba – Cusco, en el año 2024**

Asesor:

Mag. Choquevilca Lira, Walter Florencio

Autores:

Quispe Cusihuallpa, Rosavilma

Saldivar Quispicusi, Ronaldo

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Ambiental

Cusco – Cusco – Perú

2025



" Año de la Recuperación y Consolidación de la Economía Peruana "

ACTA DE SUSTENTACIÓN ORAL DE LA TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL Y RECURSOS NATURALES

Modalidad de titulación: Presentación, Sustentación y Aprobación de Tesis Profesional.

En la ciudad del Cusco siendo las 11:00 horas del día 06 de enero del año dos mil veinticinco, en concordancia con el Reglamento General de Grados Académicos y Títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes, y en mérito a la Resolución Sub Directoral N° RSD- 168-2024-UTEA-FIEPIARN-SD del 30 de diciembre del 2024, se realiza el acto académico de sustentación de la tesis, intitulada "EFICIENCIA DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LOS SECTORES DE PUCYURA Y HUANCACALLE, DISTRITO DE VILCABAMBA – CUSCO, EN EL AÑO 2024, presentado por los bachilleres señorita **QUISPE CUSIHUALLPA ROSAVILMA** y el señor **SALDIVAR QUISPICUSI RONALDO**, como asesor del trabajo de investigación Mg. Choquevilca Lira, Walter Florencio.

Habiéndose nombrado al jurado con RESOLUCIÓN SUB DIRECTORAL N° 168 - 2024-UTEA-FI-EPIARN-SD, que está conformada por los señores docentes:

- Presidente: Mg. Paul Gerardo Vargas Meza
- Replicante: Mg. Helidia Hanco Loayza
- Dictaminante: Mg. José Salustio Pozo Gonzales

El acto académico se realiza de la siguiente manera:

PRIMERO: el docente secretario designado dio lectura de la RESOLUCIÓN SUB DIRECTORAL N° 168-2024-UTEA-FI-EPIARN-SD, en el que se señala la fecha y hora y el jurado correspondiente para la sustentación de la tesis antes mencionada, así como el artículo 19 del Reglamento General de Grados Académicos y títulos de la Universidad Tecnológica de los Andes.

SEGUNDO: se procedió con la sustentación de la tesis por el(a) señor(ita) bachiller aspirantes al título de Ingeniero Ambiental y Recursos Naturales.

TERCERO: se procedió con las preguntas y repreguntas por parte del jurado calificador quienes en una ficha de observaciones hacen conocer por escrito sus apreciaciones y observaciones al trabajo de investigación(tesis).

CUARTO: El presidente del jurado invita a los bachilleres y al público en general para que se sirvan desocupar el salón de grados para que el jurado dilucide las calificaciones y determine la nota calificadora de cada uno de los aspirantes al título profesional.

QUINTO: culminada con la calificación de parte de los señores integrantes del jurado se da a conocer públicamente la nota obtenida por los señores bachilleres, la misma que fue de 17 Diecisiete puntos.

El presidente del jurado calificador hará llegar a los bachilleres las fichas de observaciones del jurado para que puedan levantar las observaciones en los plazos previstos.

Siendo las 12:40 pm horas se dio por concluido el acto de sustentación, firmando los señores integrantes del jurado, los señores bachilleres en señal de conformidad.

.....
Mg. Paul Gerardo Vargas Meza
Presidente

.....
Mg. José Salustio Pozo Gonzales
Dictaminante

.....
Mg. Helidia Hanco Loayza
Replicante

.....
Bch. Rosavilma Quispe Cusihuallpa.

.....
Bch. Ronaldo Saldivar Quispicusi

Eficiencia de plantas de tratamiento de aguas residuales de los sectores de Pucyura y Huancacalle, Distrito de Vilcabamba – Cusco, en el año 2024.docx

INFORME DE ORIGINALIDAD

19%	19%	11%	8%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	4%
2	repositorio.upsc.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	2%
4	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	idoc.pub Fuente de Internet	1%
6	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	www.repositorio.usac.edu.gt Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1%

Metadatos

Datos del Autor	
Apellidos y nombres	: Quispe Cusihualpa, Rosavilma
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 72553949
URL ORCID	: https://orcid.org/0000-0002-1982-0194
Apellidos y nombres	: Saldivar Quispicusi, Ronaldo
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Numero de Documento de Identidad	: 72083783
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0005-1976-1533
Datos del Asesor	
Apellidos y nombres	: Mag. Choquevilca Lira, Walter Florencio
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de identidad	: 23829600
URL ORCID	: https://orcid.org/0009-0002-2144-5781
Datos de la investigación	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años en que se realizó la investigación	: marzo del 2024 – julio del 2024
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 18%
URL de OCDE	: https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01

Dedicatoria

Dedico esta tesis a mis amados padres Sr. Romulo Saldivar Moroccolla, Sra. Yovanna Quispicusi Cruz, por su amor y todo el esfuerzo desplegado para que yo pueda tener oportunidad a un estudio superior, a mi hermano Jhohan Saldivar Quispicusi, por su apoyo moral y haber compartido sus conocimientos.

Ronaldo Saldivar Quispicusi

Dedicado a nuestro padre celestial y ser supremo que día a día derrama sus bendiciones sobre nosotros, a mis padres Sr. Abelardo Quispe Herrera, Sra. Vilma Cusihuallpa Gómez, por el apoyo y amor que me brindaron y haber estado presentes en los días más difíciles de mi vida, y también dedicado al Mg. Ing. Walter Florencio Choquevilca Lira por haberme brindado su apoyo y haber impartido sus conocimientos para poder finalizar con éxito la tesis.

Rosavilma Quispe Cusihuallpa

Agradecimiento

Nuestro agradecimiento en primer lugar a Dios, por guiarnos, cuidarnos y darnos salud para que este estudio se haya culminado con éxito.

Nuestro agradecimiento a la Universidad por habernos acogido durante nuestra formación profesional, en especial a nuestro asesor Walter Florencio Choquevilca Lira, por su apoyo incondicional, por su tiempo, y sobre todo por la gran persona que fue con nosotros.

Resumen

El estudio evaluó la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los sectores de Pucyura y Huancacalle, distrito de Vilcabamba, en el año 2024. La investigación tuvo un enfoque cuantitativo, nivel descriptivo y diseño no experimental. La población incluyó las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle, tomando como muestra las aguas residuales entrantes y salientes de ambas instalaciones. Se utilizó la guía del Protocolo de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) para monitoreo de efluentes y análisis de parámetros fisicoquímicos y biológicos. Los resultados mostraron que, aunque los parámetros fisicoquímicos evaluados (DBO5: 38.3 mg/l y 28.2 mg/l; DQO: 60.6 mg/l y 65.9 mg/l; pH: 7.34 y 7.62; aceites y grasas: 2.1 mg/l y 2.7 mg/l; temperatura: 20 °C) cumplieron los límites máximos permisibles, las concentraciones de coliformes termotolerantes en los efluentes (350.000 NMP/100 ml y 79.000 NMP/100 ml) excedieron ampliamente lo establecido por las normativas. La eficiencia de depuración fue del 49% en Pucyura y 48% en Huancacalle, evidenciando deficiencias significativas en los procesos operativos y de mantenimiento. Esto se traduce en una depuración insuficiente para garantizar la calidad ambiental y proteger la salud pública. Se concluye que, aunque ciertos parámetros cumplen con los estándares, los procesos actuales no aseguran un tratamiento efectivo. Es imprescindible implementar mejoras en el diseño, operación y mantenimiento de las plantas, incluyendo tecnologías avanzadas y una gestión más eficiente, para alcanzar un desempeño que cumpla con las normativas ambientales y reduzca los riesgos asociados a la contaminación por coliformes.

Palabras clave: Eficiencia, operación, mantenimiento, parámetros fisicoquímicos.

Abstract

The study evaluated the efficiency of the wastewater treatment plants in the sectors of Pucyura and Huancacalle, Vilcabamba district, in the year 2024. The research had a quantitative approach, descriptive level and non-experimental design. The population included the Pucyura and Huancacalle treatment plants, taking as a sample the incoming and outgoing wastewater from both facilities. The National Water Authority (ANA) protocol guidelines for effluent monitoring and analysis of physicochemical and biological parameters were used. The results showed that, although the physicochemical parameters evaluated (BOD₅: 38.3 mg/l and 28.2 mg/l; COD: 60.6 mg/l and 65.9 mg/l; pH: 7.34 and 7.62; oils and fats: 2.1 mg/l and 2.7 mg/l; temperature: 20 °C) met the maximum permissible limits, the concentrations of thermotolerant coliforms in the effluents (350,000 NMP/100 ml and 79,000 NMP/100 ml) greatly exceeded what is established by the regulations. Purification efficiency was 49% at Pucyura and 48% at Huancacalle, showing significant deficiencies in the operational and maintenance processes. This results in insufficient treatment to guarantee environmental quality and protect public health. It is concluded that, although certain parameters meet the standards, the current processes do not ensure effective treatment. Improvements in plant design, operation and maintenance, including advanced technologies and more efficient management, are essential to achieve performance that complies with environmental regulations and reduces the risks associated with coliform contamination.

Key words: Efficiency, operation, maintenance, physicochemical parameters

Índice

Portada	i
Acta de sustentación	ii
Reporte de similitud	iii
Metadatos	iv
Dedicatoria	v
Agradecimiento.....	vi
Resumen	vii
Abstract	viii
Índice de tablas	xiii
Índice de figuras	xiv
Índice de anexos	xvi
Acrónimos	xvi
I. Introducción	18
II. Planteamiento del problema.....	20
2.1. Descripción y formulación del problema.....	20
2.1.1. Problema general.....	21
2.1.2. Problemas específicos	21
2.2. Objetivos.....	21
2.2.1. Objetivo general.....	21
2.2.2. Objetivos específicos	22
2.3. Justificación e importancia	22
2.3.1. Conveniencia	22
2.3.2. Relevancia social	22

2.3.3. Implicancias prácticas	22
2.3.4. Valor teórico	23
2.3.5. Utilidad metodológica.....	23
2.4. Hipótesis	23
2.4.1. Hipótesis General	23
2.4.2. Hipótesis Especificas	23
2.5. Variables	24
III. Marco teórico	25
3.1. Antecedentes.....	25
3.1.1. A nivel internacional	25
3.1.2. A nivel nacional	27
3.1.3. A nivel regional y local.....	29
3.2. Bases teóricas	30
3.2.1. Aguas residuales	30
3.2.2. Propiedades físicas, químicas y biológicas de aguas residuales.....	31
3.2.3. Planta de tratamiento.....	34
3.2.4. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento.....	35
3.2.5. Eficiencia de una planta de tratamiento.....	35
3.2.6. Normas Nacionales Ambientales de Calidad del Agua	36
3.3. Definición de términos.....	37
IV. Metodología.....	39
4.1. Tipo y nivel de investigación	39
4.2. Ámbito temporal y espacial	39

4.2.1. Temporal	39
4.2.2. Espacial	39
4.3. Población y muestra	41
4.3.1. Población	41
4.3.2. Muestra.....	42
4.4. Instrumentos	42
4.4.1. Guía del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y efluentes de plantas de tratamiento (ANA, 2016)	42
4.4.2. Ficha de muestreo o cadena custodia.....	42
4.4.3. Ficha de recolección de datos.....	42
4.5. Procedimientos	42
4.5.1. Fase de pre monitoreo	43
4.5.2. Fase de monitoreo	46
4.5.3. Fase post monitoreo	47
4.6. Análisis de datos.....	48
4.7. Consideraciones éticas	48
V. Resultados y discusión	49
5.1. Resultados.....	49
5.1.1. Características de entrada de los elementos, sustancias o parámetros de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle	49
5.1.2. Procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas que se efectúan en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle	51

5.1.3. Valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, posteriores al tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle	70
5.1.5. Determinación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.....	82
5.1.6. Propuesta de mejora de los procesos de tratamiento de aguas residuales de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.....	85
5.2. Discusión	100
5.2.1. Objetivo específico 1: Características de entrada de los parámetros	100
5.2.2. Objetivo específico 2: Descripción de los procesos de tratamiento	100
5.2.3. Objetivo específico 3: Valores de los parámetros posteriores al tratamiento	101
5.2.4. Objetivo específico 4: Propuesta de mejora de los procesos de tratamiento	101
VI. Conclusiones	103
VII. Recomendaciones	105
VIII. Referencias	106
IX. Anexos	109

Índice de tablas

Tabla 1 Operacionalización de variables	24
Tabla 2 Límites máximos admisibles de vertido de aguas servidas procedentes de plantas depuradoras	37
Tabla 3 Coordenadas UTM de la Planta depuradora de Aguas servidas de la localidad de Pucyura	40
Tabla 4 Coordenadas geográficas de la Planta depuradora de aguas servidas de la localidad de Huancacalle	41
Tabla 5 Estimación caudal de la planta de depuradora de Pucyura.....	49
Tabla 6 Características de los elementos de entrada a la planta depuradora de Pucyura	50
Tabla 7 estimación caudal de la planta depuradora de Huancacalle	50
Tabla 8 Características de los elementos de entrada a la planta depuradora de Huancacalle	51
Tabla 9 Resultado de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la planta depuradora de Pucyura	70
Tabla 10 Resultado de los valores obtenidos en contraste con los ECAs según la cuarta categoría de conservación de ecosistemas acuáticos.	71
Tabla 11 Resultado de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la planta depuradora de Huancacalle.....	76
Tabla 12 Resultado de los valores obtenidos en contraste con los ECAs según la cuarta categoría de conservación de ecosistemas acuáticos	77
Tabla 13 Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta depuradora de Pucyura	83
Tabla 14 Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta depuradora de Huancacalle	84
Tabla 15 Presupuesto del plan de operación y mantenimiento	96
Tabla 16 Relación de materiales	97
Tabla 17 Relación de herramientas	97
Tabla 18 Análisis de costos unitarios	98

Índice de figuras

Figura 1 Planta depuradora de aguas servidas de la localidad de Pucyura	40
Figura 2 Planta depuradora de aguas servidas del centro poblado de Huancacalle	41
Figura 3 Procedimientos para la evaluación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle	43
Figura 4 Puntos de monitoreo de la planta de tratamiento de Pucyura	44
Figura 5 Puntos de monitoreo de la planta de tratamiento de Huancacalle	45
Figura 6 Diagrama de los procesos de tratamiento en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle	52
Figura 7 Plano perimétrico de la planta depuradora de aguas servidas de Pucyura.....	52
Figura 8 Dimensiones de la cámara de rejillas y desarenador	53
Figura 9 Condición actual de las rejillas de desbaste	54
Figura 10 Dimensiones del tanque Imhoff.....	55
Figura 11 Estado actual del tanque Imhoff	55
Figura 12 Dimensiones del filtro biológico.....	57
Figura 13 Estado actual del filtro biológico.....	57
Figura 14 Dimensiones de la cámara de contacto y de cloración.....	58
Figura 15 Estado actual de la cámara de contacto y de cloración.....	59
Figura 16 Dimensiones de los lechos de secado	60
Figura 17 Estado actual de los lechos de secado	61
Figura 18 Válvula de pase de lodos	61
Figura 19 Valla perimetral de la planta depuradora de Pucyura	62
Figura 20 Plano Perimetral de la cámara de rejillas y desarenador	63
Figura 21 Plano perimetral del sedimentador y demás componentes	64
Figura 22 Estado actual de la cámara de rejillas y desarenador.....	65
Figura 23 Presencia de grieta entre el tubo proveniente del colector y la infraestructura del desarenador	65
Figura 24 Estado situacional del tanque Imhoff	66
Figura 25 Estado situacional del filtro biológico	67
Figura 26 Estado situacional de la cámara de cloración	68

Figura 27 Estado situacional de los Lechos de secado	69
Figura 28 Perímetro de la planta depuradora de Huancacalle.....	69
Figura 29 Concentración de aceites y grasas en el efluente	72
Figura 30 Concentración de coliformes termotolerantes en el efluente	72
Figura 31 Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en el efluente	73
Figura 32 Concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente	73
Figura 33 Potencial de hidrogeniones (pH) en el efluente	74
Figura 34 Concentración de Solidos suspendidos totales en el efluente.....	75
Figura 35 Nivel de temperatura en el efluente	75
Figura 36 Para aceites y grasas en el efluente	78
Figura 37 Para coliformes termo tolerantes en el efluente.....	78
Figura 38 Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el efluente.....	79
Figura 39 Para la demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente	80
Figura 40 Potencial de hidrogeniones (pH) en el efluente	80
Figura 41 Para solidos suspendidos totales en el efluente	81
Figura 42 Nivel de temperatura en el efluente	82
Figura 43 Diagrama estadístico de la eficiencia de la planta depuradora de Pucyura	83
Figura 44 Diagrama estadístico de la eficiencia de la planta depuradora de Pucyura	85
Figura 45 Cronograma de ejecución de actividades	93

Índice de anexos

Anexo 01 Matriz de consistencia	111
Anexo 02 Marco Normativo Aplicable	113
Anexo 03 Instrumentos de recolección de datos.....	119
Anexo 04 Informes de análisis de muestras	127
Anexo 05 Panel fotográfico.....	135

Acrónimos

DBO	: Demanda Bioquímica de Oxígeno
SST	: Sólidos Suspendidos Totales
DQO	: Demanda Química de Oxígeno
pH	: Potencial de Hidrogeniones
MINAM	: Ministerio del Ambiente
P01AF-P	: Punto 1 Afluente (planta de Pucyura)
P02AF-P	: Punto 2 Efluente (planta de Pucyura)
P01AF-H	: Punto 1 Afluente (planta de Huancacalle)
P02AF-H	: Punto 2 Efluente (planta de Huancacalle)

I. Introducción

El tratamiento de aguas residuales es un proceso esencial para la protección del medio ambiente y la salud pública. Las plantas de tratamiento de agua residuales (PTAR) desempeñan un papel fundamental en la descontaminación de los cuerpos de agua al eliminar los contaminantes de origen doméstico e industrial. En el contexto del distrito de Vilcabamba, en la región de Cusco, provincia la Convención, los sectores de Pucyura y Huancacalle cuentan con instalaciones de tratamiento de aguas residuales que buscan mitigar los efectos negativos de la contaminación del agua. Sin embargo, la eficiencia de estas plantas, sigue siendo un tema poco explorado, lo que constituye una preocupación para el desarrollo sostenible de la zona. El interés por realizar esta investigación surge de la necesidad de evaluar y mejorar el desempeño de las plantas de tratamiento en estas áreas específicas, dado el impacto directo de la calidad del agua en la salud y el bienestar de las comunidades que dependen de estos recursos hídricos. Además, el estudio busca aportar datos relevantes que puedan guiar futuras intervenciones y optimizar los procesos de tratamiento, mejorando la calidad ambiental en la región. Para abordar esta problemática, la metodología seguida en este estudio se basa en las directrices de la Guía para el Monitoreo de las Aguas Superficiales y Efluentes de Plantas de Tratamiento, elaborada por la Autoridad Nacional del Agua (ANA). Este marco normativo asegura la recolección de datos precisos y comparables sobre la eficiencia operativa de las plantas, permitiendo una evaluación adecuada de los parámetros clave como la concentración de contaminantes, el caudal tratado y el cumplimiento de los estándares de calidad establecidos. El objetivo principal de este estudio es evaluar la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales en los sectores de Pucyura y Huancacalle, mediante un

análisis exhaustivo de los efluentes y su capacidad para cumplir con los estándares de calidad establecidos. Asimismo, se pretende identificar posibles deficiencias en los procesos de tratamiento y proponer mejoras que optimicen el rendimiento de las instalaciones, contribuyendo a la mejora de la calidad ambiental en el distrito de Vilcabamba. Por ello, el estudio se estructura de la siguiente manera:

ÍTEM I: aborda la problemática de la gestión de aguas residuales domésticas, ofreciendo una base para la selección del tema, objetivos, justificación e hipótesis.

ÍTEM II: se enfatiza el marco teórico, destacando antecedentes a nivel mundial, nacional y local, y se abordan las bases teóricas sobre aguas residuales domésticas, su clasificación y propiedades fisicoquímicas y microbiológicas y la normativa que regula el vertimiento de estos efluentes.

ÍTEM III: engloba la metodología empleada, especificando el tipo, nivel y diseño de la investigación, el ámbito temporal y espacial, la población y muestra consideradas, y los instrumentos y procedimientos de recolección de datos.

ÍTEM IV: se presenta el análisis de los resultados, la discusión y las recomendaciones correspondiente

II. Planteamiento del problema

2.1. Descripción y formulación del problema

El agua es un recurso vital que sustenta la biodiversidad, la salud humana y el progreso económico. Sin embargo, el agua también es un bien escaso y vulnerable, que se enfrenta a múltiples amenazas (Navarro, 2004). A nivel mundial, el crecimiento de la población en las grandes urbes y en las zonas rurales está provocando un aumento constante de la demanda de agua. En Latinoamérica, sólo el 14% de las aguas servidas urbanas se trata adecuadamente, lo que supone un riesgo para la salud humana y una importante contaminación de las masas de agua. Además, la inversión en infraestructura sanitaria es insuficiente y no se recupera a falta de tarifas justas y sostenibles (Nuñez, 2013)

Un estudio realizado en el Perú por el Ministerio de Medio Ambiente (MINAM), en el año 2007, reveló que sólo se trataba el 29,1% de los 747,3 millones de metros cúbicos de aguas servidas recogidas por los sistemas de alcantarillado. El resto era aplicado inmediatamente en la agricultura, se absorbía en la tierra o se vertía en masas de agua (MINAM, 2011).

En 2008 la superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS), en su estudio efectuado en el Perú, indica que más del 70% de las aguas servidas no pasan por un proceso de depuración, registrándose 143 plantas depuradoras, de las cuales solo el 14% cumple con las normas legales para su correcto funcionamiento (Larios et al., 2015).

En el nivel local, las plantas depuradoras de aguas servidas de las zonas urbanas de Pucyura y Huancacalle, del distrito de Vilcabamba, provincia de la convención, en el departamento del Cusco, vienen funcionando hace más de una década. No obstante, la

ausencia de mantenimiento y el desconocimiento del desempeño de las plantas depuradoras han perjudicado su rendimiento, ocasionando que las aguas servidas que se vierten al río Vilcabamba, no se depuren adecuadamente.

Esto está ocasionando problemas en la salud pública y el medio ambiente, puesto que se ha observado materia orgánica, presencia de vectores y malos olores, que conllevan a la contaminación del cuerpo receptor y a su vez el daño a las actividades económicas que dependen del río. Por consiguiente, es imprescindible conocer el nivel de desempeño de las plantas depuradoras para que se apliquen medidas para optimizar el funcionamiento y asegurar que el agua que se descarga al río Vilcabamba respete los criterios de calidad implantados por el Ministerio del Ambiente (MINAM).

2.1.1. Problema general

¿Cuál es nivel de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los sectores de Pucyura y Huancacalle en el distrito de Vilcabamba, en el año 2024?

2.1.2. Problemas específicos

- 1) ¿Cuáles son las características de entrada de los elementos, sustancias o parámetros de las aguas residuales domésticas en la planta de tratamiento de Pucyura en comparación de la planta de tratamiento de Huancacalle?
- 2) ¿Cómo son los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas que se efectúan en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle?
- 3) ¿Cuáles son los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, posteriores al tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de los sectores de Pucyura y Huancacalle?
- 4) ¿Es posible sugerir una propuesta de mejora de los procesos de tratamiento con los resultados obtenidos?

2.2. Objetivos

2.2.1. Objetivo general

Determinar el nivel de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los sectores de Pucyura y Huancacalle del distrito de Vilcabamba, en el año 2024

2.2.2. Objetivos específicos

- 1) Determinar las características de entrada de los elementos, sustancias o parámetros de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle
- 2) Describir los procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas que se efectúan en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle
- 3) Determinar los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, posteriores al tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de los sectores de Pucyura y Huancacalle
- 4) Sugerir una propuesta de mejora de los procesos de tratamiento con los resultados obtenidos

2.3. Justificación e importancia

2.3.1. Conveniencia

El estudio es relevante porque se enfoca en la problemática de la polución de las masas de agua y la conservación de las mismas, asegurando que el agua que se procesa y descarga al río Vilcabamba respete los criterios de calidad y no provoque ningún daño o alteración del ecosistema acuático.

2.3.2. Relevancia social

Con el estudio del desempeño de las plantas depuradoras, mejorara la calidad en la salud pública con la disminución en las enfermedades transmitidas por las aguas servidas no tratadas adecuadamente, minimizará el impacto al cuerpo receptor, generara un incremento en el desarrollo económico en las actividades dependientes del río Vilcabamba y se garantizara el cumplimiento de la normativa, evitando sanciones hacia los responsables de las plantas depuradoras, con el objeto de buscar siempre la sostenibilidad.

2.3.3. Implicancias prácticas

Es importante porque, si se implementan las medidas adecuadas, mejorará la calidad del suministro de agua y se asegurará su uso sostenible, lo que beneficiará a los sectores de Pucyura y Huancacalle.

2.3.4. Valor teórico

Esta investigación proporciona información del desempeño y el funcionamiento de plantas depuradoras, generando una base de datos sólida para la toma de decisiones, asimismo aporte a la generación de soluciones innovadoras y sostenibles para el problema ambiental de agua contaminada.

2.3.5. Utilidad metodológica

La metodología empleada sigue las directrices establecidas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), lo que asegura el cumplimiento de normas y estándares reconocidos. Esta conformidad garantiza que los procedimientos de recolección y análisis de muestras sean precisos y estandarizados, facilitando la comparación de los resultados con otros estudios y asegurando su validez

2.4. Hipótesis

2.4.1. Hipótesis General

El nivel de eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales de los sectores de Pucyura y Huancacalle, del distrito de Vilcabamba, está por debajo del 50%

2.4.2. Hipótesis Específicas

- 1) Las características de entrada de los elementos, sustancias y parámetros de las aguas residuales domésticas en la planta de tratamiento de Pucyura son semejantes a la planta de tratamiento de Huancacalle.
- 2) Los procesos de tratamiento de aguas residuales domésticas llevados a cabo en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle no resultan eficaces en la reducción de contaminantes presentes en el agua residual.
- 3) Los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, posteriores al tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de los sectores de Pucyura y Huancacalle superan los límites máximos permisibles del D.S.Nº 003-2010-MINAM-LMP
- 4) Es posible sugerir una propuesta de mejora de los procesos de tratamiento con los resultados obtenidos.

2.5. Variables

Tabla 1

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida
Plantas de tratamiento	La eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales se define como la capacidad de remoción de contaminantes en relación a la calidad de agua tratada de acuerdo a la normativa vigente.	Para determinar cantidad removida de los parámetros de control específicos se considera la relación entre la carga que entra a la planta, o a una unidad de ella, y la correspondiente carga en el flujo de salida.	Capacidad de remoción de aceites y grasas, materia orgánica, sólidos suspendidos totales.	-Capacidad de remoción de Aceites y grasas	mg/l (%)
				-Capacidad de remoción de materia orgánica.	DBO ₅ (%)
				-Capacidad de remoción de Sólidos suspendidos totales	mg/l (%)
				-Capacidad de remoción de coliformes termotolerantes	NMP/100 ml
				-Aceites y grasas	mg/l
				-Materia orgánica	DBO ₅
				-Sólidos suspendidos totales	mg/l
Estándares de calidad del efluente.	Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml			

III. Marco teórico

3.1. Antecedentes

3.1.1. A nivel internacional

Paredes (2023), en su estudio titulado “Evaluación de la eficiencia y repotenciación de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio del Camal Municipal del Cantón Pelileo”, planteo como objetivo: determinar el desempeño de la planta de tratamiento y proponer un sistema para mejorarla. Utilizó un enfoque descriptivo para describir la situación actual de la planta y detectar posibles fallas o problemas que afectaran su rendimiento. Como exige la norma ecuatoriana, se recogieron muestras del agua que entraba y salía de la planta y se examinaron en un laboratorio reconocido. Los resultados mostraron que el agua entrante tenía mayores cantidades de concentración de nitrógeno (138 mg/l), lípidos grasos (96,30 mg/l) y demanda química de oxígeno (6952 mg/l) que las indicadas en la norma TULAS -AM097. Además, el afluente presentaba concentraciones inferiores de concentración de nitrógeno (116 mg/l), lípidos grasos (70,00 mg/l) y demanda química de oxígeno (2210 mg/l), todas ellas por debajo de permitido por la norma. Concluyendo que la eficiencia de la planta presentó un valor de 68.21%, valor promedio que sin embargo no cumple con la norma ambiental ecuatoriana.

Moyano y Guerrero (2023) en su estudio titulado “Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales las Esclusas, línea Líquida. Guayaquil, Guayas”, cuyo propósito fue evaluar la planta depuradora de aguas servidas de Las Esclusas, para ello se recogieron muestras a la entrada y a la salida de la instalación, que luego se examinaron en un laboratorio. La eficiencia de la planta se calculó como sigue: 8,19% para sulfuros, 59,24% para sólidos totales en suspensión, 50,50% para

requerimiento bioquímico de oxígeno y 51,85% para requerimiento químico de oxígeno. Concluyendo que la planta en la remoción de los parámetros evaluados presento una eficiencia baja.

González et al. (2022) realizó un estudio titulado “Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí”, que consistió en tres fases: en la primera fase efectuó la evaluación de la infraestructura utilizando como instrumento un chek list, en la segunda fase tomó cinco muestras por cada etapa de tratamiento, por consiguiente, se recogieron muestras en la salida de cada componente de la planta depuradora como en los reactores, laguna de estabilización, laguna de maduración y a la salida de toda la instalación, y la tercera fase consistió únicamente en el análisis de las muestras y compararlas con los estándares de calidad según la norma ambiental ecuatoriana. Procedido la inspección de las etapas de tratamiento se constató deficiencias en la etapa preliminar y secundario de la planta depuradora, cuyos parámetros de evaluación como la DBO y DQO se encontraron por encima de las exigencias de la norma. Concluyendo que la situación reciente de la planta depuradora de aguas servidas del Cantón Jipijapa tiene un nivel de eficiencia bajo y con impacto significativo.

Vintimilla (2022) en su investigación titulada “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales *Laureles* ubicado en la parroquia Santa Ana de del cantón cuenca”, Tuvo como propósito examinar el desempeño de la planta de depuración de aguas servidas. La metodología del estudio se basó en dos fases: la primera consistió en el trabajo de campo, que abarco la evaluación técnica de la planta y el muestreo de las aguas no tratadas y depuradas, y en la segunda fase comprendió en el procesamiento de datos de caudales y el análisis de laboratorio. Como hallazgos del estudio se obtuvieron porcentajes altos de depuración de la planta, en cuanto a solidos disueltos tuvo un valor de 51.30%, para la DBO y DQO tuvo un valor promedio de 64.07 %, para solidos en suspensión se tuvo 71.02%, para el amonio un valor de 38.23%, fosfatos 27.75% y nitratos con un valor alto de 85.54%. El efluente de la planta depuradora de aguas servidas, se encuentra dentro

del rango permitido por la normativa ecuatoriana. Demostrando que el desempeño de la planta depuradora es muy bueno y se encuentra en óptimas condiciones.

Criollo (2021) realizó una investigación titulada "Eficiencia de las plantas de tratamiento tipo para agua residual implementadas en la parroquia Luis Cordero del cantón Azogues". Cuyo propósito consistió en valorar el desempeño de las plantas depuradoras en la parroquia Luis Cordero, mediante un análisis de la evaluación de las instalaciones, así como un análisis de contaminación de las masas de aguas receptoras. El estudio consistió en mediciones de caudales mediante el uso del método volumétrico para corrientes reducidas, con el fin de estimar el caudal de agua en m³/s que ingresan a las plantas depuradoras de aguas servidas, se empleó el procedimiento de obtención instantánea de muestra, conforme a la norma ecuatoriana (INEN 2169). El estudio realizado revela que los parámetros examinados como la DBO₅, DQO, sólidos en suspensión, cometen una infracción dada la normativa ambiental ecuatoriana, asimismo las plantas depuradoras apenas registran un 54.59% de desempeño.

3.1.2. A nivel nacional

Nevado (2022) en su estudio titulado "Evaluación y estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayalti en el departamento de Lambayeque 2020" tuvo como propósito valorar el desempeño de cada una de los componentes de la planta depuradora, recogiendo muestras en el efluente y verificar que los parámetros estén dentro del rango permitido para la reutilización del agua en suelos agrícolas. Durante la evaluación se constató que la planta depuradora carece de manual de funcionamiento y plan de mantenimiento, y que sus parámetros, como los indicadores de calidad del agua, están fuera de lo permitido por la normativa peruana. Constatando que la planta es ineficiente.

Cueva y García (2021) realizaron un estudio titulado "Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en una empresa minera, Cajamarca 2020", cuyo objetivo fue valorar el rendimiento de la planta depuradora de aguas servidas de una compañía minera situada en Cajamarca, definiéndose como un

estudio de tipo cuantitativo, con enfoque no experimental y con alcance descriptivo. El espacio muestral se constituyó por las emisiones de aguas servidas generada por actividades de la compañía minera. Se analizaron los datos proporcionados por la compañía de años anteriores, para luego constatarla y como resultado se obtuvo para grasas y aceites un valor de 99.213%, para sólidos en suspensión fue de 89.339%, Requerimiento bioquímico de oxígeno fue de 99.487%, requerimiento químico de oxígeno fue 94.035%, validando que la planta de tratamiento tiene un buen desempeño en la remoción de contaminantes.

Andrade (2020) en su estudio titulado “Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales Distrito de Macusani, Región Puno- 2020” planteó como propósito valorar el rendimiento de la planta depuradora de aguas servidas. Se recogieron muestras de agua de los tres puntos seleccionados ubicados en la entrada de fase preliminar del tratamiento y salida de todas las instalaciones, incrementándose el recojo de muestra en el mismo río, permitiendo estimar los valores de los contaminantes. En el período de sequía, la eficiencia de remoción del requerimiento bioquímico de oxígeno (DBO5) se incrementó en 93.42%, mientras que el requerimiento químico de oxígeno (DQO) se incrementó en 94.88%, mientras que los sólidos en suspensión se incrementaron en 67.16%, concluyendo que la planta depuradora de Macusani tiene un nivel alto de desempeño en cuanto a la reducción de contaminantes.

Ancalle y Ledesma (2020), realizaron un estudio titulado “Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del área Yauri-Huancavelica”, cuya tarea consistió en examinar los valores de los parámetros que muestran la calidad del agua que entra y sale de la estación de tratamiento. Para evaluar el rendimiento de la planta, se tomaron ocho muestras de agua a la entrada y salida de la planta. Los resultados revelan que para la demanda bioquímica de oxígeno es de 670 mg/l, parámetro según el DS.N° 003-2010, no cumple con los requisitos de la norma. Los parámetros del Ministerio del Ambiente (MINAM) para sólidos en suspendidos totales, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, cumplen con la norma. La eficiencia

de la planta en cuanto a la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno fue del 3.98%, para aceites y grasas fue del 40.61% y para coliformes termotolerantes fue 73.15%. En conclusión, la estación de tratamiento de aguas servidas de Yauri demuestra una eficiencia notable en la reducción de ciertos contaminantes, aunque presenta áreas de mejora en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

Díaz (2020) en su investigación titulada “Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas, 2020” tuvo como objetivo valorar el desempeño de la planta depuradora de materia orgánica, utilizando ocho muestras recolectadas en el afluente y el efluente durante un período de tiempo que abarcó desde noviembre de 2020 hasta febrero de 2021. El requerimiento químico de oxígeno (DQO), requerimiento bioquímico de oxígeno en cinco días (DBO5) y los residuos no filtrados (SST) fueron los parámetros examinados. Como resultado, se encontraron concentraciones de requerimiento bioquímica de oxígeno (DBO5) de 67,9 mgO₂/l en el ingreso y 5,6 mgO₂/l en la salida; requerimiento químico de oxígeno (DQO) fue de 131,8 mgO₂/l en el ingreso y 12,3 mgO₂/l en la salida; y los residuos no filtrados (SST) fueron 41 mg/l en el ingreso y 10,65 mg/l en la salida. Los hallazgos indican que la planta depuradora de la ciudad de Lajas remueve el 91,83% para el requerimiento bioquímico de oxígeno (DBO5); el 90,72% para el requerimiento químico de oxígeno (DQO); y el 73,79% de los residuos no filtrados (SST). Concluyendo que la estación de tratamiento de la ciudad de Lajas es eficiente y que los parámetros evaluados se encuentran dentro del límite permitido por la normativa peruana.

3.1.3. A nivel regional y local

Carrasco (2022) en su estudio realizado sobre “Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022” tuvo como propósito evaluar y sugerir una nueva planta depuradora de aguas servidas. Definiéndose como un estudio aplicado con un corte cuasiexperimental y de tipo cuantitativo. El estudio se extendió por toda la planta depuradora de Poroy. Se tomaron muestras para analizarlas y se evaluaron las anomalías del concreto en toda la planta

depuradora. Obteniendo los siguientes valores con respecto a la carga orgánica en el ingreso: Para el requerimiento químico de oxígeno (DQO) tuvo un valor de 305.98 mg/l, para el requerimiento bioquímico de oxígeno (DBO5) con un valor de 135.09 mg/l, para sólidos en suspensión cuyo valor fue 114.62 mg/l, coliformes termotolerantes fue de 17×10^5 , temperatura fue de 20.5°C y el potencial de hidrogeniones fue de 7.5, y la concentración orgánica en la salida de la planta: Para el requerimiento químico de oxígeno cuyo valor fue 205 mg/l, para el requerimiento bioquímico de oxígeno cuyo valor fue 101.09 mg/l, para sólidos en suspensión tuvo un valor de 80.54 mg/l, coliformes termotolerantes fue de 15×10^5 , temperatura fue de 20.3°C y el potencial de hidrogeniones fue de 7.42, comparando con las exigencias de la norma D.S 003-2010 MINAM, los parámetros finales incumplen con lo establecido. Concluyendo que la planta depuradora de aguas servidas de Poroy es ineficiente.

Aunccatinco (2021) realizó la investigación “Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia de Quispicanchi-Cusco”, cuyo objetivo fue evaluar el nivel de eficiencia de la Planta de Tratamiento de Cusipata, donde se consideraron dos puntos de muestreo, el primero ubicado en el afluente en la fase de pretratamiento, el segundo ubicado en el efluente que se vierte al río Vilcanota, Los resultados demostraron una reducción del 35,9% del total de sólidos en suspensión (SST), del 23,8% para el requerimiento químico de oxígeno (DQO) y del 26,9% para el requerimiento bioquímico de oxígeno (DBO5). Se observó un valor de 35000000 NMP/100 ml para la disminución de coliformes termotolerantes en la entrada, y de 54000000 NMP/100 ml en la salida. En términos de eficiencia, se determina que la planta depuradora de aguas servidas del distrito de Cusipata tiene una calificación de -54%.

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Aguas residuales

Son aquellos que, debido a alteraciones en sus cualidades originales provocadas por la actividad humana, necesitan ser depurados antes de ser reutilizados y liberados en cuerpos de agua naturales o enviados a la red de colectores (OEFA,2014).

Existen tres categorías de aguas servidas: industriales, municipales y domésticas.

3.2.1.1. Aguas residuales domésticas. Estos líquidos proceden del uso del agua en el hogar por actividades como lavar la ropa, cocinar, bañarse y la higiene personal. Si no se gestionan adecuadamente, la abundancia de residuos orgánicos, nutrientes, microbios y sustancias químicas en estos líquidos podría tener efectos perjudiciales como para el bienestar del hombre y del medio natural (OEFA, 2014).

3.2.1.2. Aguas residuales municipales. Las aguas servidas municipales se combinan con los líquidos que proceden de las industrias que se vierten en sistemas de alcantarillado combinados, o pueden ser aguas servidas domésticas mezcladas con agua de lluvia (OEFA, 2014)

3.2.1.3. Aguas residuales industriales. Los líquidos resultantes de la producción se conocen como aguas residuales industriales, ya sea en actividades de origen minero, agrícola, energético, agroindustrial, u otras. Estos residuos pueden tener un impacto ambiental negativo si no se gestionan adecuadamente (OEFA, 2014)

3.2.2. Propiedades físicas, químicas y biológicas de aguas residuales

3.2.2.1. Propiedades físicas de las aguas servidas.

Sólidos. A menudo se observan sólidos orgánicos. Estos sólidos se clasifican en una de estas cuatro categorías: fijos (SF), disueltos (SD), suspendidos (SS) y volátiles (SV), que son principalmente inorgánicos. Además, algunos de los sólidos en suspensión se sedimentan (Lozano, 2012).

Turbiedad. Es una métrica adicional que mide la cantidad de partículas suspendidas que obstruyen el flujo luminoso. Cuanto mayor es la turbidez, menor es la claridad del agua (Moeller et al, 2011).

Color. Es una característica óptica causada por interferencia de materia orgánica suspendidas o en disolución. El color verdadero es el que se observa en la muestra filtrada, mientras que el color visible es el que se aprecia en la muestra sin tratar. El color verdadero depende del tamaño del poro del filtro utilizado, y se mide comparando la muestra con una

escala de colores producidos por soluciones de cloroplatinato de potasio (KPtCL₆) de diferentes concentraciones (Moeller et al, 2011).

Temperatura. Tiene un notable impacto en la biodiversidad e influye de manera significativa en los procesos químicos, las tasas de reacción y la pureza del agua destinada al consumo humano. Un aumento en la temperatura provoca alteraciones en los peces que habitan en un cuerpo de agua receptora. Como las aguas residuales se combinan con agua caliente proveniente de usos residenciales y comerciales, su temperatura es más alta que la del agua de suministro. (Moeller et al, 2011).

3.2.2.2. Características químicas.

Acidez. El agua se considera neutra, ya que tiene un pH de 7, lo que significa que no es ni ácida ni básica. Normalmente, un sistema CO₂-HCO₃⁻ sirve de tampón tanto para el agua natural como para las aguas servidas domésticas. En este sistema, el pH no se neutraliza totalmente por encima de 8,2 ni se reduce por debajo de 4,5 por el ácido carbónico (H₂CO₃). Mientras que la acidez generada por el CO₂ se produce entre pH 8,2 y 4,5, la acidez mineral, que suele proceder de residuos industriales, se produce por debajo de pH 4,5. (Moeller et al, 2011).

Alcalinidad. Medida de la capacidad de neutralización de ácidos del agua, expresada como la cantidad de ácido que una solución puede absorber sin elevar su pH. Las sustancias y compuestos como bicarbonatos (HCO₃⁻), Carbonatos (CO₃²⁻), hidróxidos (OH⁻), contribuyen a la alcalinidad del agua. (Moeller et al, 2011).

Oxígeno disuelto. La mayoría de las especies superiores necesitan que este valor sea superior a 4 mg/L para vivir, ya que es vital para vivir en el agua. Sirve como indicador del estado o bienestar de los medios acuáticos. Debe garantizarse una concentración de al menos 1 mg/L, y el proceso de depuración aeróbico de las aguas servidas debe funcionar eficazmente. (Lozano, 2012).

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). Calcula cuánto oxígeno necesitan los microbios para descomponer los materiales orgánicos. La determinación normalizada (DBO₅) tarda cinco días en completarse, y las circunstancias endógenas de las bacterias pueden

provocar interferencias. La cantidad de sustrato que puede descomponerse biológicamente en entornos anaeróbicos suele ser superior a lo que indica el contenido de DBO5 (Moeller et al, 2011).

Demanda química de oxígeno (DQO). Volumen de oxígeno consumido durante la oxidación de materiales orgánicos en un medio ácido utilizando dicromato potásico, un potente oxidante. La prueba es extremadamente rápida en contraste con la DBO, pero también oxida sustancias inorgánicas, lo que eleva la puntuación de la DQO. La mayoría de los materiales orgánicos han sufrido una oxidación completa (Lozano, 2012).

Grasa y aceites. Los líquidos grasos son combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno que no se mezclan con el agua, sino que la cubren con una capa brillante, se llaman grasas y aceites. Estos compuestos afectan a los seres vivos que habitan el agua, ya que su degradación es muy lenta (Moeller et al, 2011).

3.2.2.3. Características biológicas.

Coliformes. Los coliformes son una clase de bacterias útiles como marcadores de la polución de las masas de agua porque presentan rasgos bioquímicos similares. Estas bacterias suelen encontrarse en la ecología bacteriana típica del tubo digestivo de algunos animales y son miembros de la familia Enterobacteriaceae, la bacteria más conocida de este grupo, *Escherichia coli*, es la fuente del término "coliformes" (Moeller et al, 2011).

Protozoos. Los organismos unicelulares llamados protozoos pueden encontrarse en las aguas servidas y otros ecosistemas diversos. Estos microbios contribuyen a la depuración biológica y la eliminación de patógenos, que pueden ser pasos cruciales en la depuración de las aguas servidas. Pero como algunos protozoos pueden infectar tanto a humanos como a animales y causar enfermedades infecciosas, pueden ser potencialmente peligrosos para la salud pública. Por ello, es importante conocer el tipo y el número de protozoos presentes en las aguas servidas (Moeller et al, 2011).

Helmintos. El ser humano puede contraer parásitos helmínticos al entrar en contacto con aguas residuales contaminadas. Entre ellos se encuentran lombrices intestinales como *Necator americanus*, *Ancylostoma duodenale*, *Trichuris trichuria*, *Taenia saginata*, *Taenia*

solium, *Ascaris lumbricoides* y *Strongyloides stercoralis*. Estos parásitos presentan diferentes ciclos vitales y modos de transmisión. Mientras que algunos son infecciosos en su fase de huevo, otros lo son en su forma adulta o larvaria. Los nematodos son un tipo de helmintos que pueden encontrarse en las aguas servidas pero que no enferman al hombre. Dado que huevos y larvas de helmintos pueden resistir las duras condiciones ambientales y las técnicas de desinfección habituales, para erradicarlos hay que recurrir a tratamientos especializados como la sedimentación, la filtración o las balsas estabilizadoras (Moeller et al, 2011).

3.2.3. Planta de tratamiento

Se denomina planta depuradora de aguas servidas a una infraestructura cuyos procesos que se dan dentro de ella permiten la depuración de aguas servidas (Norma OS.090, 2006).

3.2.3.1. Partes de una planta depuradora de aguas servidas. Cada sección de una planta depuradora de aguas servidas tiene un propósito y una función específicos para los que fue construida.

Rejas de desbaste. La reducción de sólidos gruesos empleando rejas es una de las técnicas más antiguas que se han aplicado al agua residual y su objetivo es evitar que los equipos ubicados aguas abajo sufran daños por objetos de gran tamaño. Esta etapa es fundamental dentro de una planta de tratamiento (Isla, 2005).

Tamices. Son una forma de eliminar los sólidos que flotan en el agua, su rendimiento en la eliminación es similar al de las rejillas de filtrado y los sedimentadores primarios (Isla, 2005).

Desarenadores. La presencia de materiales abrasivos y/o arena en las aguas servidas puede provocar graves problemas en las depuradoras. Estas sustancias tienen el potencial de erosionar y desgastar la maquinaria, obstruir canales y tuberías y acumular sedimentos en los procesos que tienen lugar aguas abajo, como la digestión. Por consiguiente, el objetivo principal del desarenador es extraer los sólidos y la arena. sólidos (Isla, 2005).

Tanques sépticos o fosas sépticas. Este sistema está compuesto por una serie de tanques o cámaras en los que las bacterias anaerobias descomponen los compuestos orgánicos y permiten que las partículas suspendidas se asienten. Las aguas residuales domésticas pueden tratarse con este método fácil de usar y de precio razonable, que se ha adoptado en todo el mundo. Pero debido a sus limitaciones, necesita un sistema complementario para eliminar más eficazmente las partículas en suspensión y la materia orgánica (Isla, 2005).

Filtros intermitentes de arena. En complemento a la eficiencia de los tanques sépticos vienen los filtros de arena o piedra chancada que mejoran ampliamente en la disminución de sólidos, materia orgánica y otros microorganismos (Norma OS.090, 2006).

Tanque Imhoff. Un tipo de reactor biológico empleado en el tratamiento de aguas residuales es el tanque Imhoff. Este dispositivo está compuesto por dos secciones verticales: en la parte inferior, los microorganismos anaerobios se encargan de almacenar y descomponer los lodos que se han sedimentado, mientras que, en la parte superior, los sólidos suspendidos se asientan y se forma una capa de espuma y grasa en la superficie (Isla, 2005).

3.2.4. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento

Conjunto de acciones que aseguran el adecuado funcionamiento del sistema hidráulico y del proceso biológico en una planta. Esto incluye la supervisión de las variables físicas, químicas y biológicas que afectan tanto la eficiencia energética del sistema como la calidad del agua tratada (Lopera, 2010).

Las acciones necesarias para mantener los equipos y estructuras de la planta (obra civil) funcionando con la máxima eficiencia se denominan mantenimiento. Incluye la evaluación de determinadas piezas (válvulas de cierre), la lubricación de la maquinaria, la limpieza de las instalaciones, la sustitución de cualquier pieza rota, o ambas cosas. El mantenimiento de las estructuras tiene por objeto aumentar su vida útil (Lopera, 2010).

3.2.5. Eficiencia de una planta de tratamiento

Se refiere a su capacidad para eliminar contaminantes. Para calcular esta eficiencia, se considera la diferencia entre la carga de contaminantes que ingresa y la que sale de ella, se utiliza para calcular la eficiencia (De la Vega, 2012)

Empleando la formula se podrá valorar la eficiencia de una planta depuradora:

$$E = \frac{(S_0 - S)}{S_0} \times 100$$

Dónde:

S₀: Valor de entrada.

S: Valor de salida.

3.2.6. Normas Nacionales Ambientales de Calidad del Agua

3.2.6.1. Decreto supremo N° 004-2017- MINAM. Las normas que regulan los recursos hídricos del Perú se conocen como Normas Nacionales Ambientales de Calidad del Agua. Los criterios de calidad de agua vigentes y su anexo fueron creados mediante Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Los requisitos de calidad del agua, incluyendo sus valores, características, categorías y subcategorías relacionadas con el uso del agua, han sido revisados y modificados en la norma vigente.

3.2.6.2. Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. El Ministerio del Ambiente definió los límites máximos admisibles para las descargas de las plantas depuradoras de aguas servidas domésticas o municipales del sector vivienda mediante el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM. Estas limitaciones tienen por objeto proteger la salud humana, evitar la contaminación del medio ambiente y mantener la calidad del agua.

Tabla 2

Límites máximos admisibles de vertido de aguas servidas procedentes de plantas depuradoras

Indicador	Unidad	LMP para efluentes de PTAR
Grasas y aceites	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	10000
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	mg/l	200
Sólidos totales en suspensión	mg/l	150
pH	Unidad	6.5-8.5
Temperatura	°C	Menor a 35

Fuente: (MINAM, 2010)

3.3. Definición de términos

Aguas residuales: Los líquidos residuales son el producto final de la actividad humana que modifica las características inherentes del agua (OEFA, 2014).

Afluente: Es Una corriente de agua que contiene contaminantes procedentes de fuentes domésticas, industriales o agrícolas (Norma OS.090, 2006).

Efluente: Es un líquido que se produce cuando se tratan las aguas residuales; se distingue por tener menos contaminantes que cuando era originalmente agua (Norma OS.090, 2006).

Depuración de aguas residuales: Procedimiento para eliminar agentes patógenos antropogénicos físicos, químicos y biológicos del agua (Norma OS.090, 2006).

DBO₅: Se trata de una métrica que calcula cuánto oxígeno consumen los microorganismos que viven en el agua durante un periodo de cinco días (Valeriano, 2022).

DQO: Este parámetro evalúa la cantidad de oxígeno requerida para descomponer los compuestos orgánicos presentes en una muestra de agua (Norma OS.090, 2006).

Aceites y grasas: Presentan características lipídicas que están presentes tanto en los alimentos como en los seres vivos (García & Ramírez, 2019)

SST: Es la fracción de partículas suspendidas en el agua que un filtro de poros específico es capaz de retener (Lapeña, 1989).

pH: Indicador de la acidez o alcalinidad en una solución acuosa, (Norma OS.090, 2006).

Eficiencia: Es un término utilizado para evaluar la productividad de un sistema o de un individuo en proporción a los objetivos que deben alcanzarse. (Espinoza, 2022).

Planta de tratamiento: Instalaciones que permiten la depuración de aguas servidas

Límites máximos permisibles: Medida de control de las emisiones o efluentes procedentes de la actividad humana en términos de calidad medioambiental. (MINAM, 2010)

Mantenimiento: Conjunto de tareas realizadas para mantener una máquina, un equipo o un sistema funcionando con la máxima eficacia. (Lopera, 2010).

Decreto supremo N° 004-2017- MINAM: Es una normativa emitida por el Ministerio del Ambiente (MINAM) del Perú que establece disposiciones técnicas para la gestión adecuada de aguas residuales tratadas y la regulación de su reutilización en diferentes actividades económicas, como riego agrícola, forestal, recarga de acuíferos, entre otras. Este decreto busca promover el uso eficiente y sostenible de los recursos hídricos, garantizando que las aguas residuales tratadas cumplan con los estándares de calidad ambiental y sanitaria establecidos.

Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM: Es una normativa emitida por el Ministerio del Ambiente (MINAM) del Perú que aprueba los Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de actividades productivas y de servicios que se vierten en el ambiente. Este decreto tiene como objetivo principal proteger la calidad de los cuerpos de agua y prevenir la contaminación, estableciendo parámetros específicos que deben cumplir los efluentes tratados antes de su disposición o reutilización.

IV. Metodología

4.1. Tipo y nivel de investigación

El estudio es de tipo cuantitativo, ya que aborda cuestiones relacionadas con un fenómeno o faceta de la realidad que entra dentro del ámbito de un campo científico. Se enfoca en la aplicación del conocimiento actual sobre los estándares de calidad del agua en el contexto ambiental (Hernández et al., 2014)

Nivel descriptivo, porque consistió en describir las características y causas de un determinado fenómeno. Su única finalidad es medir o recopilar datos sobre una variable de estudio, analizarlos y, a continuación, sugerir una solución al problema de investigación. Enmarcándose en un diseño no experimental, ya que se basa en la medición de variables tal como se dan en la realidad, sin manipularlas ni intervenirlas. Se trata de un diseño transeccional o transversal, pues se realiza en un solo momento y se comparara la situación actual de las plantas depuradoras de aguas servidas en términos de eficiencia.

4.2. Ámbito temporal y espacial

4.2.1. Temporal

La investigación se realizó entre los meses de marzo a julio del año 2024

4.2.2. Espacial

Geográficamente Las plantas depuradoras de aguas servidas evaluadas, se ubican en los sectores de Pucyura y Huancacalle, ubicándose dentro de los límites territoriales de Vilcabamba, provincia La Convención, departamento del Cusco.

La planta depuradora del centro poblado de Pucyura está ubicada en el margen izquierdo del río Vilcabamba, y sus coordenadas son las siguientes:

Tabla 3

Coordenadas UTM de la Planta depuradora de Aguas servidas de la localidad de Pucyura

UTM	18 L
Este	723767.00 m E
Norte	8551098.00 m S
Altitud	2934 msnm

Figura 1

Planta depuradora de aguas servidas de la localidad de Pucyura



Fuente: Google Earth

La planta depuradora de aguas servidas del Poblado de Huancacalle, está ubicada en la margen izquierda del río Vilcabamba, con las siguientes coordenadas:

Tabla 4

Coordenadas geográficas de la Planta depuradora de aguas servidas de la localidad de Huancacalle

UTM	18 L
Este	723709.90 m E
Norte	8549508.65 m S
Altitud	3489 msnm

Figura 2

Planta depuradora de aguas servidas del centro poblado de Huancacalle



Fuente: Google Earth

4.3. Población y muestra

4.3.1. Población

La población está constituida por dos estaciones de tratamiento de aguas residuales de los sectores de Pucyura y Huancacalle, fueron seleccionados por su

relevancia en el contexto del tratamiento de las aguas residuales ya que estos poseen las cualidades requeridas para el análisis

4.3.2. Muestra

La muestra seleccionada, de tipo no probabilístico por conveniencia, se componen por el agua residual no depurada (entrada) y el agua residual depurada (salida) de las plantas de tratamiento. Este tipo de muestra fue elegido debido a la accesibilidad y disponibilidad de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle para el monitoreo, con el objetivo de analizar su eficiencia en la depuración de las aguas residuales.

4.4. Instrumentos

Los instrumentos utilizados en el desenlace de la investigación, se compone de los siguientes:

4.4.1. Guía del Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y efluentes de plantas de tratamiento (ANA, 2016)

La guía estableció los procedimientos estandarizados para el recojo de las muestras, parámetros a medir, técnicas analíticas, aseguro la consistencia y precisión en la recolección de datos.

4.4.2. Ficha de muestreo o cadena custodia

Con este instrumento se documentó el proceso de recolección de muestras, incluyendo detalles como la ubicación del muestreo, fecha y hora, condiciones ambientales, y personal responsable. La cadena de custodia aseguro la integridad de las muestras desde el punto de recolección hasta el análisis en laboratorio.

4.4.3. Ficha de recolección de datos

Este formato estandarizado se utilizó para registrar todas las observaciones y mediciones realizadas durante el proceso de recolección de datos. Incluye campos para anotar parámetros específicos, condiciones del sitio.

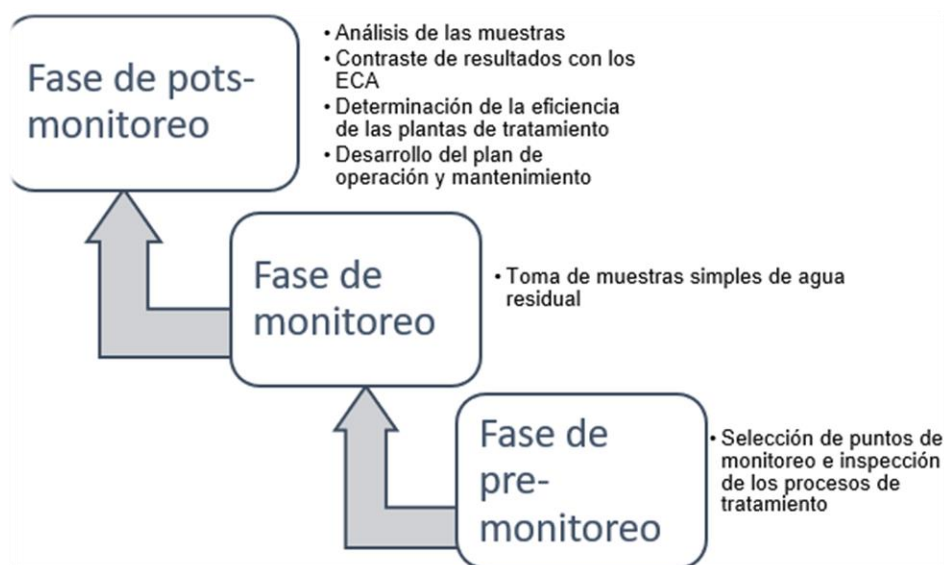
4.5. Procedimientos

Para llevar a cabo este estudio, se empleó el método inductivo, que parte de la contemplación de casos particulares con el objetivo principal de establecer

generalizaciones para averiguar si estas se aplican a circunstancias específicas. Para llegar a una conclusión general que sugiriera la consecución del objetivo general, (Palmett, 2020).

Figura 3

Procedimientos para la evaluación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle



Nota. El diagrama muestra el proceso empleado para determinar la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.

4.5.1. Fase de pre monitoreo

Durante esta fase, se llevaron a cabo visitas de campo para reconocer el entorno de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle. Simultáneamente, se identificaron los puntos de monitoreo siguiendo las directrices establecidas en el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y Efluentes de Plantas”

Según la sugerencia del protocolo para la ubicación de los puntos de monitoreo, se ubicó a la entrada y salida en ambas estaciones de tratamiento, considerándose como zonas más representativas para la toma de las muestras.

Figura 4

Puntos de monitoreo de la planta de tratamiento de Pucyura



Nota. Los puntos georreferenciados representados en la imagen partieron de la sugerencia del protocolo para el monitoreo de las aguas superficiales y efluentes de plantas de tratamiento.

Figura 5

Puntos de monitoreo de la planta de tratamiento de Huancacalle



Nota. El punto P01AF-H indica la entrada o el inicio del tratamiento de las aguas servidas entrantes hacia la estación de tratamiento y el punto P002EF-H hace referencia

el punto de toma de muestra del efluente, ubicado antes de la zona de mezcla con el río Vilcabamba.

4.5.2. Fase de monitoreo

4.5.2.1. Recolección de muestras. Se realizó la recolección de muestras simples en frascos de vidrio oscuro en los cuatro puntos de monitoreo, siguiendo el procedimiento descrito en el “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y Efluentes de Plantas de Tratamiento”. Las acciones llevadas a cabo fueron las siguientes:

Rotulado y etiquetado de envases. Este procedimiento se efectuó previo al recojo de las muestras que consistió en el registro de envases mediante rótulos diferenciados con los siguientes datos: Nombre de la muestra, Coordenadas geográficas, fecha y hora y datos del encargado del recojo de las muestras.

Registros de caudales. La estimación del caudal en el ingreso y salida de las estaciones de tratamiento, se realizó mediante dos métodos, el método del flotador se utilizó para estimar el caudal en el ingreso y el método volumétrico para estimar el flujo del agua a la salida, métodos que siguieron los lineamientos del “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales y Efluentes de Plantas de tratamiento”.

La fórmula general del método flotador

$$Q = A * V * C$$

Donde:

Q: Caudal

A: Área promedio

V: Velocidad promedio

C: Coeficiente de variación

Fórmula general del método volumétrico

$$Q_{caudal} = \frac{V(L)}{T(s)}$$

Donde:

Q: Caudal

V: Volumen

T: Tiempo

Documentación de cadena custodia. La documentación de la cadena de custodia fue esencial para registrar los datos de campo y garantizar la correcta identificación de las muestras para su posterior análisis.

Preservación y transporte de las muestras. Una vez recogido las muestras en los envases establecidos se procedió a preservar las muestras en un cooler refrigerado, para su transporte seguro y su posterior análisis.

4.5.3. Fase post monitoreo

Análisis de las muestras. Las muestras recolectadas fueron evaluadas en dos laboratorios diferentes. Los análisis de parámetros como aceites y grasas, demanda bioquímica de oxígeno (DBO), demanda química de oxígeno (DQO), pH, sólidos en suspensión, y temperatura se llevaron a cabo en el laboratorio de la Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco. Por otro lado, el análisis de coliformes termotolerantes se realizó en el laboratorio Louis Pasteur SRL.

Contraste de los resultados con los ECA. Los resultados obtenidos de los parámetros evaluados se compararon con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el Agua según el D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP, que define los límites máximos permisibles para las aguas depuradas provenientes de las estaciones de tratamiento de aguas servidas.

Determinación de la eficiencia. La eficiencia de las plantas de tratamiento se determinó mediante la fórmula propuesta por De la Vega (2010).

$$E = \frac{(S_o - S)}{S_o} \times 100$$

Donde:

S_o: Valor de entrada

S: Valor de salida

Desarrollo del plan de operación y mantenimiento. El desarrollo del plan de operación y mantenimiento se efectuó en base a la determinación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.

4.6. Análisis de datos

Se empleó la estadística descriptiva porque facilitó la organización, resumen y análisis de los datos obtenidos, permitiendo una comparación precisa con los límites máximos permisibles establecidos, lo que resultó fundamental para evaluar el cumplimiento normativo y detectar posibles anomalías.

4.7. Consideraciones éticas

Con la ejecución del estudio se pudo ampliar la comprensión de la ciencia y solucionar los problemas de la sociedad. Por ello, para preservar la validez y credibilidad de la investigación, los investigadores abordaron su desarrollo con una mentalidad ética y veraz, respetando la fidelidad de los datos que se obtuvieron y absteniéndose de cualquier tipo de manipulación, falsificación o plagio.

V. Resultados y discusión

5.1. Resultados

5.1.1. Características de entrada de los elementos, sustancias o parámetros de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de Pucyura y

Huancacalle

5.1.1.1. Planta depuradora de aguas residuales de Pucyura.

La estación de tratamiento de Pucyura recibe el flujo de aguas residuales correspondiente a una población de 600 habitantes, cuyo caudal de entrada y salida de la estación de tratamiento se visualiza en la tabla 5

Tabla 5

Estimación caudal de la planta de depuradora de Pucyura

FECHA	PLANTA	NOMBRE	CAUDAL Q (L/S)
15/04/2024	Pucyura	Afluente	9.03
15/04/2024	Pucyura	Efluente	2.79

La tabla 6 presenta las concentraciones de ingreso de los elementos, sustancias o parámetros posterior análisis de las muestras efectuados en los laboratorios de Louis Pasteur SRL para los parámetros microbiológicos, y para los parámetros fisicoquímicos en el laboratorio de la Universidad San Antonio Abad del Cusco, resultados que se evidencian en el anexo 03 de informe de muestras.

Tabla 6

Características de los elementos de entrada a la planta depuradora de Pucyura

Parámetro	Unidad	Concentración de Afluente	D.S. Nº 003-2010-MINAM-LMP	Método analítico
Aceites y grasas	mg/l	5.82	20	JEAN RODIER, 9EDICION
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	580000	10000	SMEWN— APHA-AWWA- WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)
DBO5	mg/l	69.3	100	JEAN RODIER, 9EDICION
DQO	mg/l	106.8	200	JEAN RODIER, 9EDICION
Ph	Unidad	7.52	6.5-8.5	JEAN RODIER, 9EDICION
Solidos suspendidos totales	mg/l	90.4	150	JEAN RODIER, 9EDICION
Temperatura	° Celsius	20.2	<35	JEAN RODIER, 9EDICION

De acuerdo con la tabla 6, se puede observar una excesiva concentración de coliformes termotolerantes en el afluente del agua residual, con respecto a los demás parámetros evaluados.

5.1.1.2. Planta depuradora de aguas residuales de Huancacalle.

La estación de tratamiento de Huancacalle atiende a una población en promedio de 550 habitantes, de acuerdo a ello en la tabla 7 se aprecia el flujo del caudal que ingresa y sale de la estación de tratamiento.

Tabla 7

estimación caudal de la planta depuradora de Huancacalle

FECHA	PLANTA	NOMBRE	Q (L/s)
22/04/2024	Huancacalle	Afluente	5.67
22/04/2024	Huancacalle	Efluente	5.00

Para el análisis de las muestras se consideraron dos laboratorios, para los parámetros microbiológicos se efectuó en el laboratorio Louis Pasteur SRL y para los parámetros fisicoquímicos se efectuó en el laboratorio de físico química de la universidad San Antonio Abad del Cusco, resultados que se evidencian en el anexo 03 de informe de muestras.

Tabla 8

Características de los elementos de entrada a la planta depuradora de Huancacalle

Parámetro	Unidad	Concentración de Afluente	D.S.Nº 003-2010-MINAM-LMP	Método analítico
Aceites y grasas	mg/l	6.7	20	JEAN RODIER, 9EDICION
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	150000	10000	SMEWN— APHA-AWWA-WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)
DBO5	mg/l	46.6	100	JEAN RODIER, 9EDICION
DQO	mg/l	88	200	JEAN RODIER, 9EDICION
Ph	Unidad	7.4	6.5-8.5	JEAN RODIER, 9EDICION
Solidos suspendidos totales	mg/l	65.3	150	JEAN RODIER, 9EDICION
Temperatura	° Celsius	20.5	<35	JEAN RODIER, 9EDICION

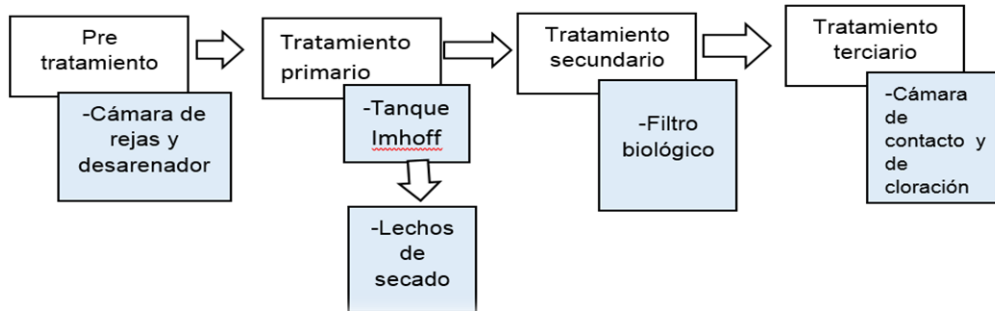
De acuerdo a los resultados del análisis, se evidencia una concentración alta de coliformes termotolerantes con 150000 NMP/100 ml, resaltando ante el resto de los parámetros evaluados.

5.1.2. Procesos de tratamiento de las aguas residuales domésticas que se efectúan en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle

Las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle para el tratamiento de las aguas servidas realizan los siguientes procedimientos.

Figura 6

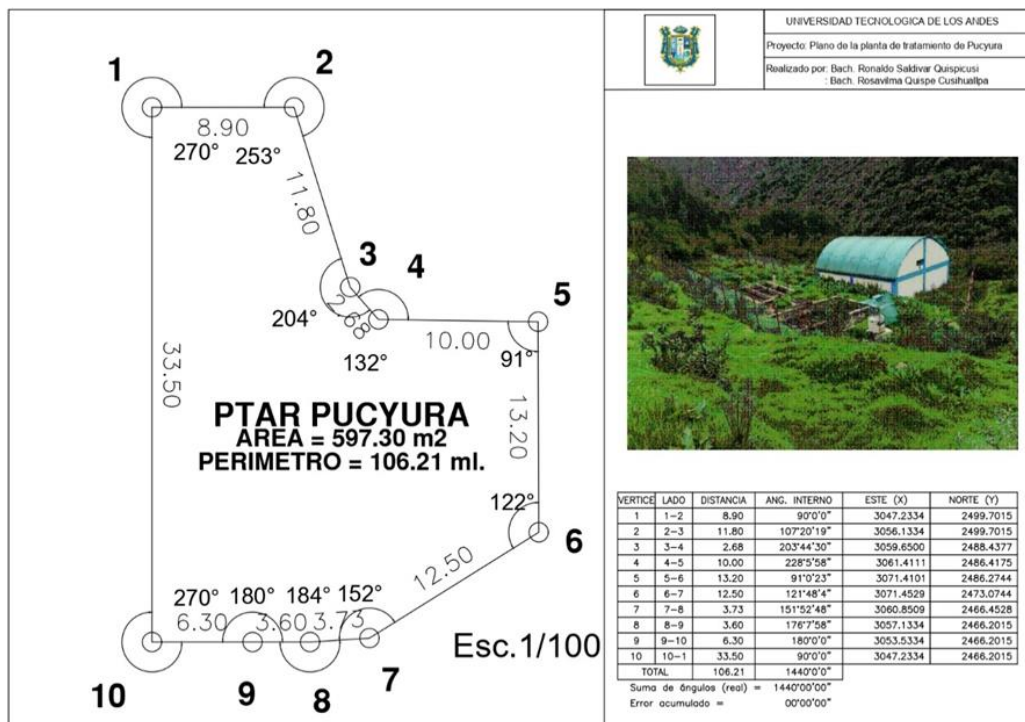
Diagrama de los procesos de tratamiento en las plantas depuradoras de Pucyura y Huancacalle



5.1.2.1. Planta depuradora de aguas residuales de Pucyura. La instalación de tratamiento de aguas residuales domésticas del centro urbano de Pucyura tiene 106,21 ml de circunferencia y 597,30 m² de superficie total.

Figura 7

Plano perimétrico de la planta depuradora de aguas servidas de Pucyura

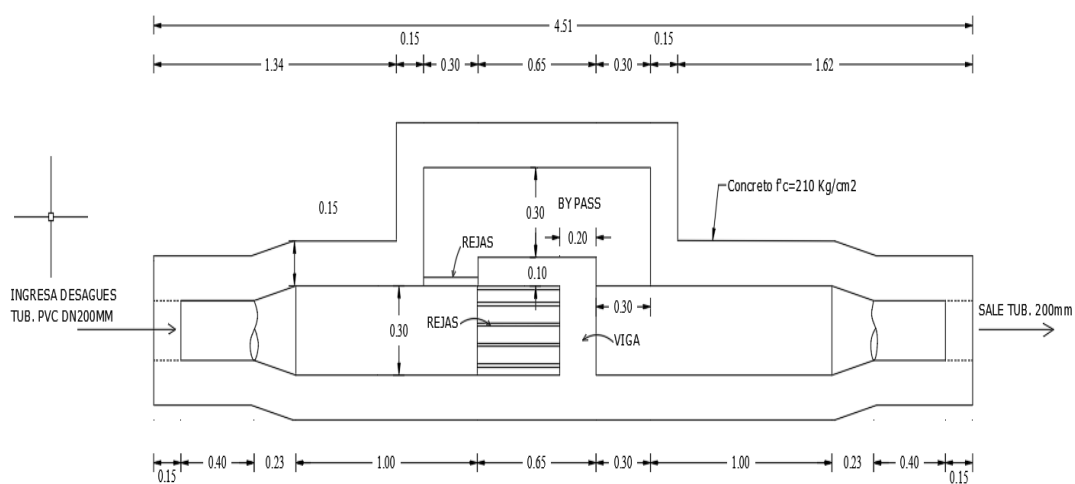


Pretratamiento. Cuando se trata de tratar las aguas residuales domésticas, ésta es la etapa más crucial. La planta depuradora de Pucyura utiliza actualmente cámaras de rejilla y un desarenador en las fases iniciales del tratamiento de las aguas residuales. Estos dispositivos sirven principalmente para separar sólidos o partículas de un tamaño significativo, impidiendo su paso y causando daños a los componentes aguas abajo.

a) Cámara de rejillas y desarenador. Las dimensiones de la estructura son las siguientes: la longitud es de 4.51 m, la amplitud del canal de cribado es de 0.30 m, al igual el ancho de canal BY PASS es 0.30 m, el espacio entre las rejillas es de 0.10 m.

Figura 8

Dimensiones de la cámara de rejillas y desarenador



CAMARA DE REJAS DE LIMPIEZA MANUAL-PLANTA

ESC. 1:20

A. 11

Figura 9

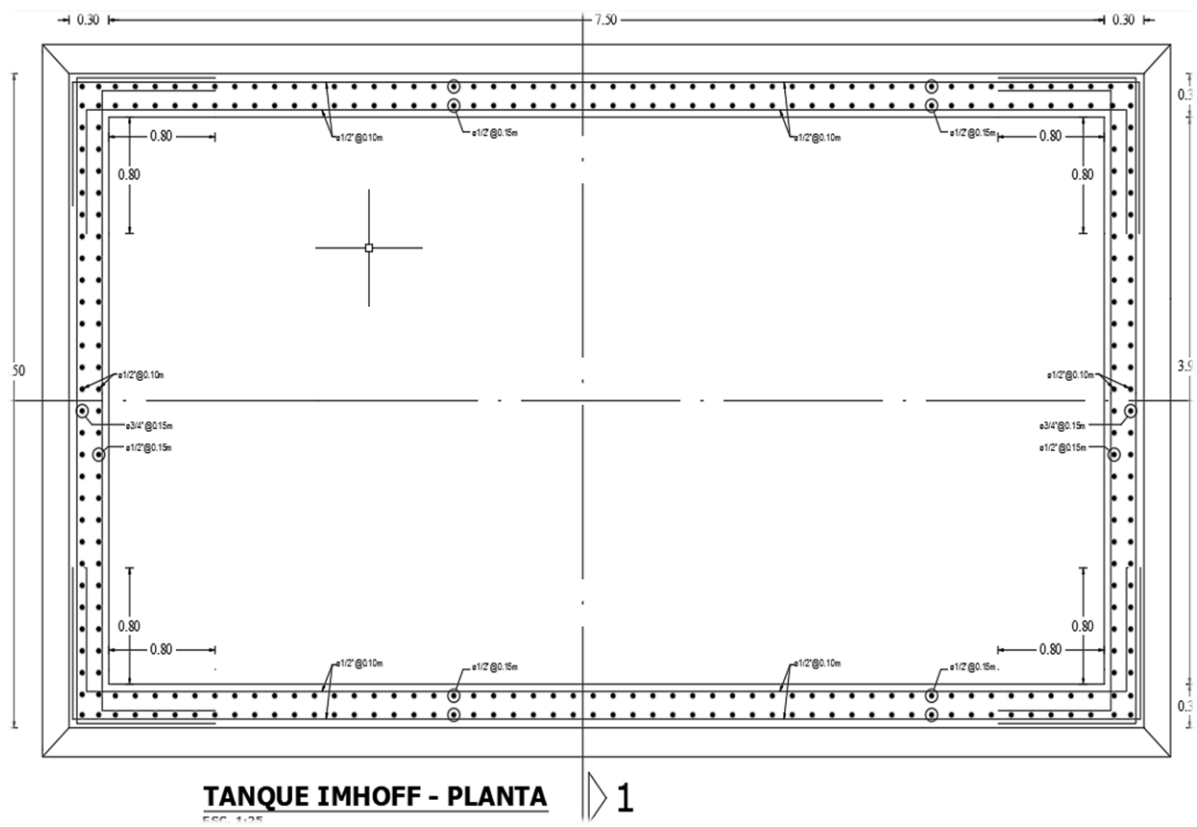
Condición actual de las rejillas de desbaste



De acuerdo con la figura 9, el interior de la cámara de rejillas se encuentra obstruida por materia orgánica y residuos sólidos proveniente del arrastre del alcantarillado, como también se evidencia la presencia de malezas en el entorno podría ser un problema de saturación y de colapso del agua residual. Para mantener la estructura, normalmente se realiza una limpieza manual diaria; sin embargo, como se aprecia en la imagen, las limpiezas de malezas no se efectúan de manera regular.

Tratamiento primario. Consiste en reducir la materia orgánica suspendida, en este proceso se emplea el tanque Imhoff que desempeña un papel crucial en la depuración de las aguas residuales.

a) Tanque Imhoff. Durante este procedimiento, los sólidos más ligeros permanecen en la superficie y se limpian manualmente, mientras que los más pesados se hunden en el fondo del sedimentador por gravedad y producen lodos, el tanque Imhoff tiene 4.50 m de ancho y 7.50 m de largo.

Figura 10*Dimensiones del tanque Imhoff***Figura 11***Estado actual del tanque Imhoff*

Como se puede observar en la imagen, el perímetro del tanque Imhoff está invadido de maleza de la especie *Cynodon dactylon*, comúnmente denominada hierba. Se observan sólidos flotantes en grandes cantidades cerca de obstruir el paso del agua al siguiente tratamiento, y se confirmó que no se están abriendo las válvulas para pasar los lodos al lecho de secado. Como consecuencia, se reduce la capacidad del decantador para separar los sólidos y, además, corre peligro de colapsar.

Tratamiento secundario. Este procedimiento se centra principalmente en el tratamiento biológico de las aguas servidas, por lo que la planta de depuradora dispone de un filtro biológico para eliminar las partículas residuales.

a) Filtro biológico. Tras su paso por un filtro compuesto de arena fina y grava, el agua que sale del decantador se limpia de partículas grandes y pequeñas, las dimensiones del filtro son: 4,20 m de ancho y 6.40 m de largo.

Figura 12

Dimensiones del filtro biológico

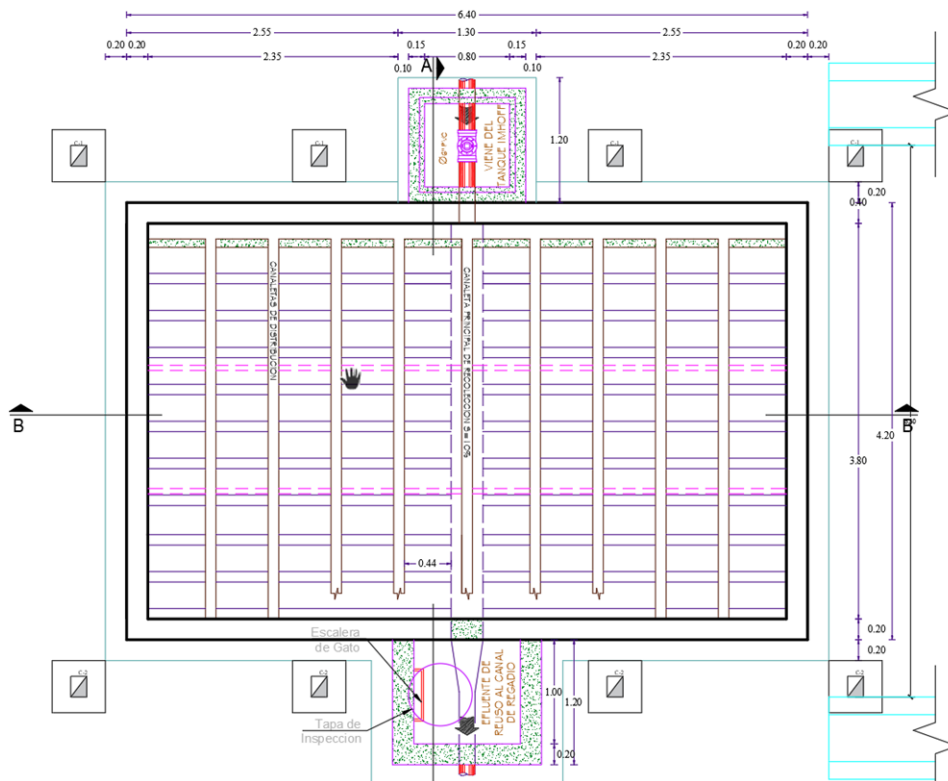


Figura 13

Estado actual del filtro biológico



Se descubrieron malas hierbas y objetos sólidos en el interior de esta estructura, lo que sugiere la necesidad de llevar a cabo una limpieza exhaustiva del filtro de arena y grava, también conocido como filtro percolador. Sin embargo, la estructura y demás accesorios como las tuberías y válvulas se encuentran en perfecto estado.

Tratamiento terciario. se utiliza para desinfectar y eliminar los agentes patógenos del agua tratada una vez que se ha reducido o eliminado la materia orgánica, previo a su descarga en el cuerpo de agua receptor, que en este caso es el río Vilcabamba.

a) **Cámara de contacto y de cloración.** Para llevar a cabo este proceso de desinfección se utiliza una cámara de cloración con dimensiones de 3.50 m de largo x 1,10 m de ancho.

Figura 14

Dimensiones de la cámara de contacto y de cloración

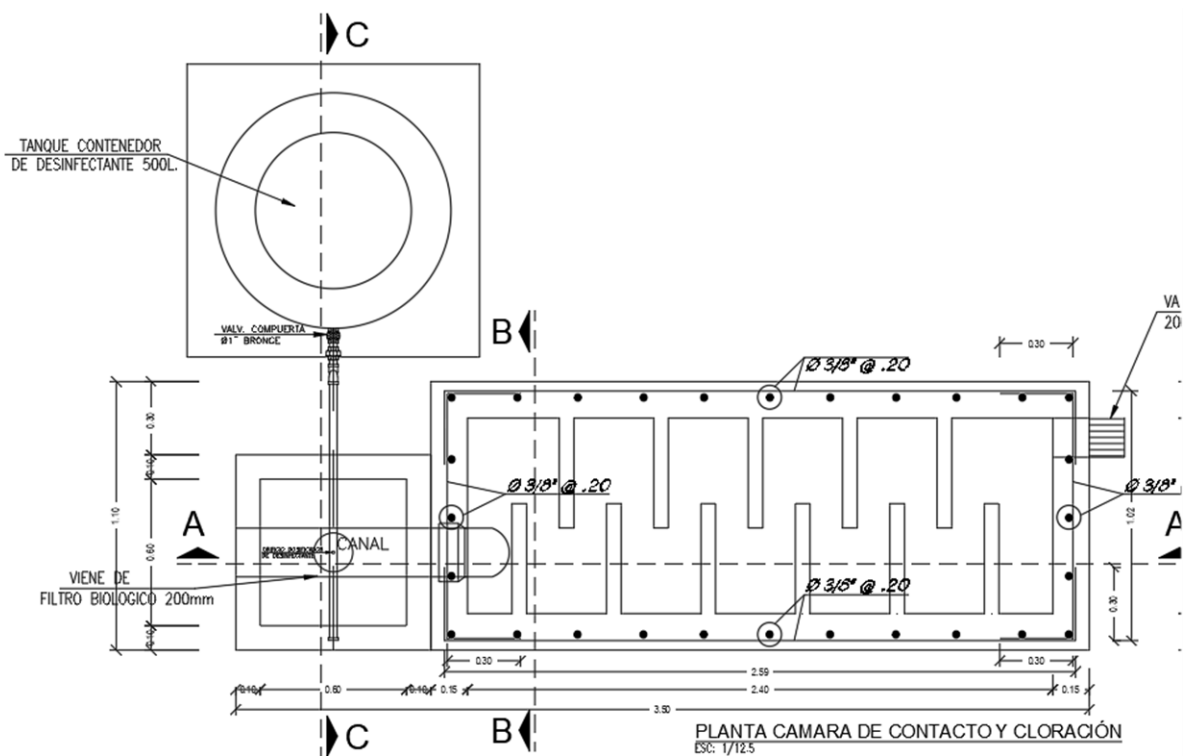


Figura 15

Estado actual de la cámara de contacto y de cloración



De la observación in situ se desprende que la planta dispone de una cámara de cloración. Sin embargo, no se está utilizando y la invasión de maleza en el perímetro del tanque obliga a limpiarlo manualmente.

Tratamiento de lodos. Este proceso no forma parte del tratamiento de las aguas servidas, sin embargo, es fundamental para tratar y almacenar los lodos que provienen del sedimentador.

a) Lechos de secado. Como en este caso, la instalación del tratamiento de aguas residuales de Pucyura incluye una estructura de lecho de secado con las siguientes dimensiones: 1,70 m de profundidad, 5,40 m de ancho y 7,20 m de largo. Los lechos de secado se utilizan normalmente en plantas de tratamiento para pequeñas poblaciones o zonas urbanas. Durante este procedimiento sólo se eliminan los lodos del decantador primario, a continuación, se reduce la humedad de los lodos

Figura 17

Estado actual de los lechos de secado



Se evidencia una escasa acumulación de lodos, por la no apertura de las válvulas de pase de lodos del sedimentador hacia los lechos de secado, de igual forma se aprecia que la estructura se encuentra en óptimas condiciones.

Figura 18

Válvula de pase de lodos



Como se confirmó que no hay fugas y que el tubo transportador no presenta fracturas, los accesorios se encuentran en buen estado a pesar de la acumulación excesiva de lodos en el tanque de sedimentación provocada por la no apertura de la válvula de paso.

Perímetro general. La planta depuradora de Pucyura está protegida por valla y postes metálicos, cuya función principal es proporcionar seguridad y evitar el acceso de personas y animales que pudieran deteriorar la infraestructura.

Figura 19

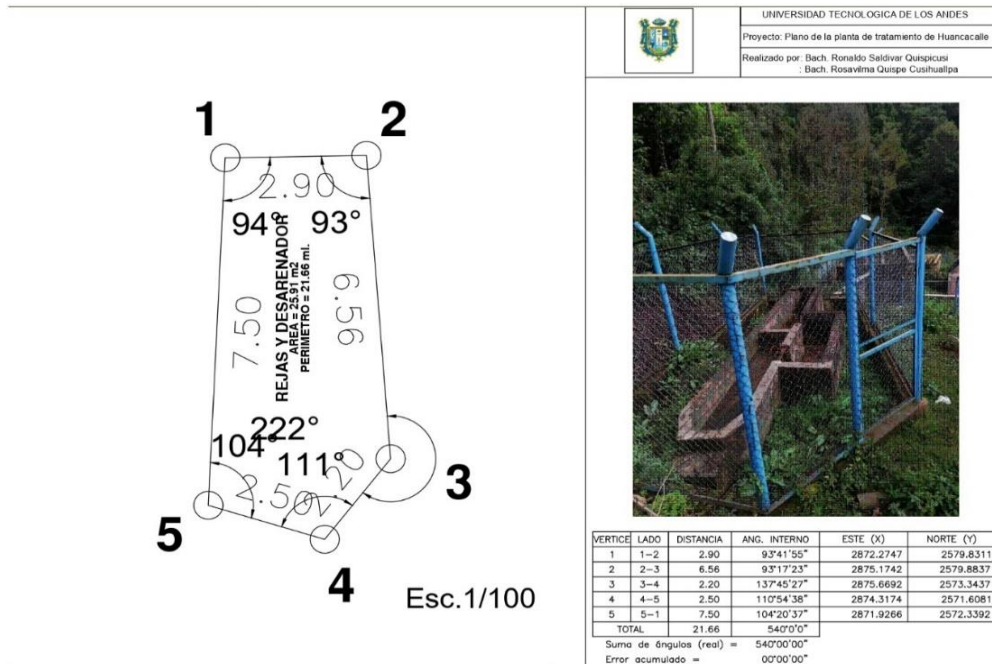
Valla perimetral de la planta depuradora de Pucyura



5.1.2.2. Planta de depuradora de aguas residuales de Huancacalle Está situada en la margen izquierda del río Vilcabamba. Debido a la geomorfología del terreno, el perímetro de la planta está dividido en dos vallas perimetrales. La cámara de rejillas y desarenadores se encuentra al inicio y tiene un cerco perimétrico de 25,91 m² y un perímetro de 21,66 m, según se detalla en la Figura 20.

Figura 20

Plano Perimetral de la cámara de rejas y desarenador

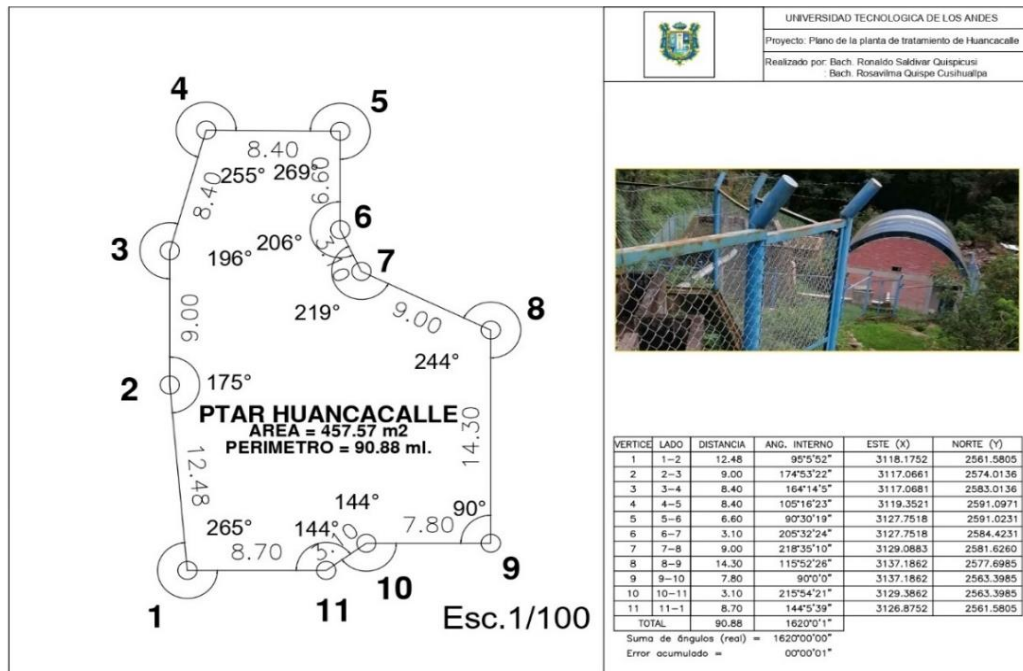


Nota. La construcción dividida en dos secciones perimetrales se debe a la geomorfología del terreno.

A continuación, se muestra la disposición de las demás partes, que incluyen los lechos de secado, el filtro biológico, el tanque Imhoff y la cámara de cloración. Con una superficie de 457,57 m² y un contorno de 90,88 m.

Figura 21

Plano perimetral del sedimentador y demás componentes



A excepción de la ubicación y la geomorfología del sitio, los componentes de la planta depuradora de aguas servidas de Huancacalle son idénticos a los de la planta de depuradora de aguas servidas de Pucyura en términos de diseño y proporciones.

A continuación, se describen los procedimientos de tratamiento utilizados en la planta depuradora de aguas servidas de Huancacalle

Pretratamiento.

a) **Cámara de rejillas y desarenador.** La cámara de rejillas y el desarenador de la planta de tratamiento de Huancacalle tienen las mismas medidas que la planta de tratamiento de Pucyura, la longitud es de 4.51 m, el ancho del canal de las rejillas es de 0.30 m, al igual el ancho de canal BY PASS es 0.30 m, el espacio entre las rejillas es de 0.10 m.

Figura 22

Estado actual de la cámara de rejillas y desarenador



Según la figura 22, las rejillas presentan obstrucción por materia orgánica, y residuos sólidos resultante de la red de alcantarillado, por otro lado, los accesorios como las rejillas y canal de By- Pass requieren mantenimiento.

Figura 23

Presencia de grieta entre el tubo proveniente del colector y la infraestructura del desarenador



La figura 23 evidencia fugas de agua residual por el deterioro de las tuberías y el concreto de la cámara de rejas y desarenador.

Tratamiento primario. Consiste en reducir la materia orgánica suspendida, en este proceso se emplea el tanque Imhoff que desempeña un papel crucial en la depuración de las aguas residuales.

a) Tanque Imhoff. El agua del desarenador entra al tanque Imhoff, que elimina los residuos no retenidos por la rejilla y las cámaras del desarenador. Los sólidos más pesados se depositan en el fondo, formando lodos, y posteriormente se depositan en el lecho de secado. El tanque Imhoff, también conocido como sedimentador, mide 7.50 metros de largo, 4.50 metros de ancho y 5 metros de profundidad.

Figura 24

Estado situacional del tanque Imhoff



Tratamiento secundario. Para esta etapa se utiliza un filtro percolador o biológico, cuya función es retener y eliminar las partículas del agua a través de los microorganismos que viven en la biopelícula.

a) Filtro biológico. Este método, también conocido como filtro percolador, filtra físicamente el agua a través de un medio de arena o piedra triturada para eliminar

la mayor parte de la materia orgánica, lo que también reduce el color, el olor y los microorganismos nocivos. Sus proporciones, de 6.40 m de largo y 4,20 m de ancho, son comparables a las de la instalación de tratamiento de Pucyura.

Figura 25

Estado situacional del filtro biológico



Ciertos accesorios, como las tuberías de los canales de goteo, requieren mantenimiento porque algunos de ellos están rotos u obstruidos y disminuyen el funcionamiento de la infraestructura. Se observaron malezas y residuos sólidos inorgánicos en el interior, lo que indica una falta de mantenimiento en términos de limpieza.

Tratamiento terciario. Este proceso consiste en la cloración del agua para eliminar las bacterias virus y otros microorganismos como posibles causantes de daños a la salud,

a) Cámara de contacto y de cloración. Para el tratamiento terciario, la instalación cuenta con un tanque de cloración. Mediante este proceso, antes de su vertido al río Vilcabamba, se eliminan algunos agentes patógenos mediante cloración. Cuyas dimensiones son las siguientes: 3.50 m de largo x 1,10 m de ancho.

Figura 26*Estado situacional de la cámara de cloración*

La escorrentía superficial sin canalizar que entra en la instalación corroe el concreto, lo que hace necesaria la rápida intervención de una cuadrilla de obreros calificados. Debido a la apatía de los usuarios y la carencia de mantenimiento en la infraestructura, la planta se encuentra en mal estado. Muchas especies de malezas han invadido el perímetro y no se realiza una cloración adecuada. En consecuencia, el agua se vierte al río sin clorar.

Tratamiento de lodos. Los lodos provenientes del tanque de sedimentación son almacenados en los lechos de secado para la deshidratación y usos como materia orgánica aprovechable.

a) Lechos de secado. Una característica adicional de la planta de tratamiento de Huancacalle es la infraestructura de lechos de secado, crucial para procesar los lodos procedentes del tanque de decantación. Mide 1,70 metros de profundidad, 5,40 metros de ancho y 7,20 metros de largo.

Figura 27

Estado situacional de los Lechos de secado



Hay una acumulación excesiva de lodos en el sedimentador que puede estar a punto de colapsarse, pero en general el concreto de los lechos de secado está en buenas condiciones. La altura del lodo seco es de 0,10 cm. La válvula de paso no se está abriendo, por lo que no hay mucho lodo.

Figura 28

Perímetro de la planta depuradora de Huancacalle



Al carecer de barrera protectora y estar debilitada por el paso del tiempo, la valla perimetral está abierta al acceso de animales y personas no autorizadas, lo que podría causar daños a la infraestructura.

5.1.3. Valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos, posteriores al tratamiento de las aguas residuales domésticas en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle

5.1.3.1. Planta depuradora de aguas residuales de Pucyura.

Los resultados de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos tanto del afluente como del efluente en la planta de tratamiento de aguas residuales de Pucyura están detallados en la tabla 9

Tabla 9

Resultado de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la planta depuradora de Pucyura

Parámetro	Unidad	Resultados de Afluente	Resultados de Efluente	D.S.Nº 003-2010-MINAM-LMP	Método analítico
Aceites y grasas	mg/l	5.82	2.1	20	JEAN RODIER, 9EDICION
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	580000	350000	10000	SMEWN— APHA-AWWA- WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)
DBO5	mg/l	69.3	38.3	100	JEAN RODIER, 9EDICION
DQO	mg/l	106.8	60.6	200	JEAN RODIER, 9EDICION
Ph	Unidad	7.52	7.34	6.5-8.5	JEAN RODIER, 9EDICION
Solidos suspendidos totales	mg/l	90.4	40.3	150	JEAN RODIER, 9EDICION
Temperatura	° Celsius	20.2	20	<35	JEAN RODIER, 9EDICION

Tabla 10

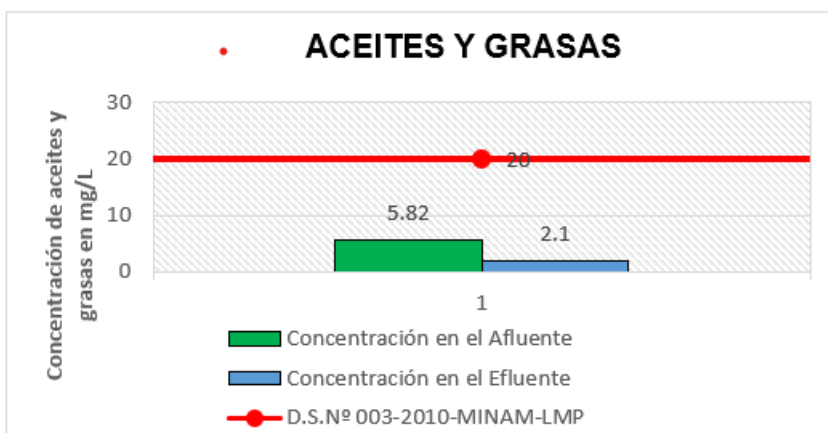
Resultado de los valores obtenidos en contraste con los ECAs según la cuarta categoría de conservación de ecosistemas acuáticos.

Parámetro	Unidad	Resultados de Efluente	D.S. Nº 004-2017-MINAM-ECAs-IV Categoría de conservación de ecosistemas acuáticos
Aceites y grasas	mg/l	2.1	5
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	350000	2000
DBO5	mg/l	38.3	10
DQO	mg/l	60.6	-
Ph	Unidad	7.34	6.5-9
Sólidos suspendidos totales	mg/l	40.3	100
Temperatura	° Celsius	20	<35

De acuerdo al contraste de los valores del efluente se evidencia un impacto significativo en los ecosistemas acuáticos debido a que algunos parámetros exceden los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) establecidos en el DS N° 004-2017-MINAM para la conservación de ecosistemas acuáticos. En particular, los coliformes termotolerantes (350.000 NMP/100 ml) y la DBO5 (38,3 mg/l) superan ampliamente los límites permitidos de 2.000 NMP/100 ml y 10 mg/l, respectivamente, indicando una alta contaminación microbiológica y orgánica que puede alterar gravemente la calidad del agua del río Vilcabamba, reducir el oxígeno disuelto y afectar la biodiversidad. Aunque otros parámetros, como aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, pH y temperatura, están dentro de los límites.

Figura 29

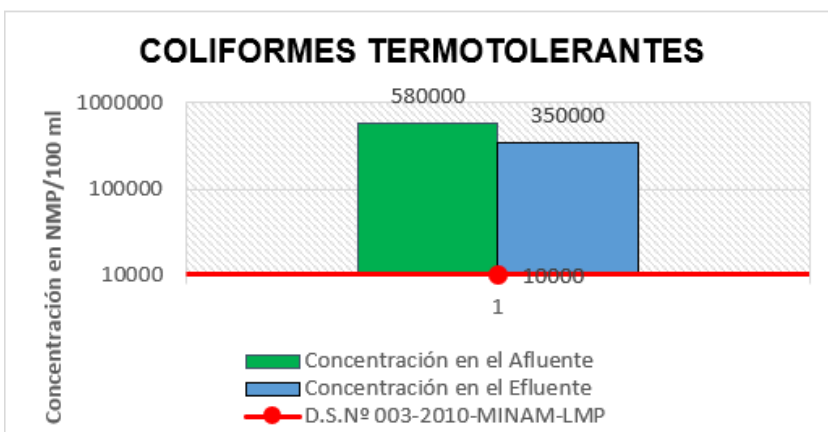
Concentración de aceites y grasas en el efluente



Según el análisis, la concentración en el ingreso fue de 5.82 mg/l, mientras que en la salida fue de 2.1 mg/l. La normativa peruana, estipulada en el D.S. N° 003-2010-MINAM-LMP, establece un límite máximo de 20 mg/l para aceites y grasas. Estos resultados indican que los valores están dentro de los límites permitidos por la normativa, tanto al ingresar como al egresar del efluente.

Figura 30

Concentración de coliformes termotolerantes en el efluente

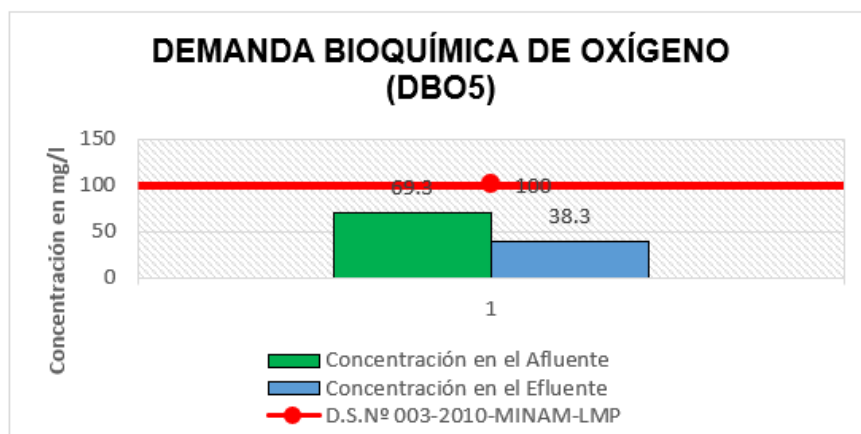


Se observa una concentración elevada de coliformes termotolerantes, con un valor de 580000 NMP/100 ml en la entrada y 350000 NMP/100 ml en la salida, esto se debe a que en el tanque Imhoff se encontró demasiada acumulación de lodos y residuos sólidos, por lo que la materia fecal pasa sin previo tratamiento al siguiente componente que es el

filtro biológico. El límite máximo permitido en el efluente es de 10000 NMP/100 ml. Como resultado, los valores tanto en el ingreso como en el egreso están por encima del límite permitido.

Figura 31

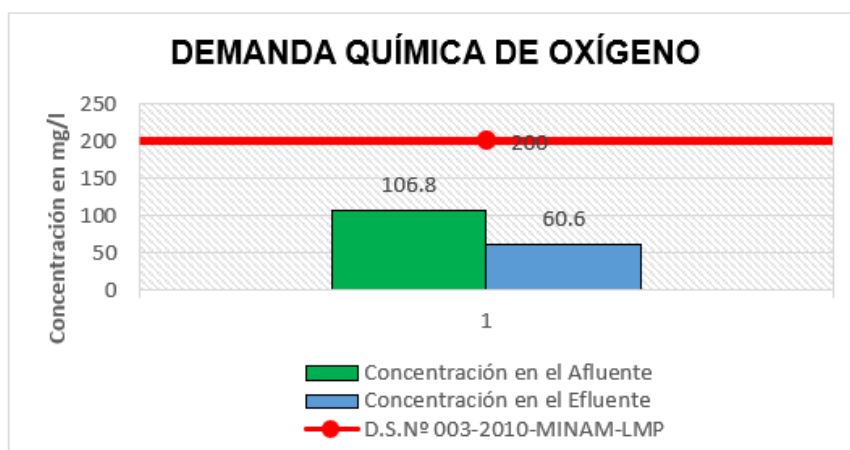
Concentración de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) en el efluente



La figura 31 muestra los valores como resultado obtenido en la entrada y salida del efluente, la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada es de 69.3 mg/l, mientras que en el efluente se tuvo 38.3 mg/l, la depuración de la materia orgánica se redujo considerablemente, los valores obtenidos están dentro de lo permitido por la norma.

Figura 32

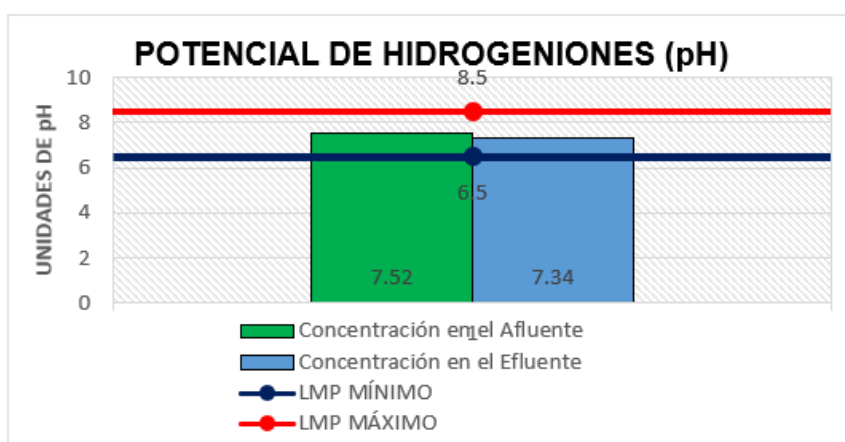
Concentración de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente



La figura 32 ilustra los niveles de materia orgánica tanto en el afluente como en el efluente. La barra verde indica la cantidad de materia orgánica en la entrada, con un valor de 106.8 mg/l, mientras que en la salida es de 60.6 mg/l, reflejando una notable reducción en la materia orgánica. De acuerdo con la normativa peruana, el límite máximo permisible para la demanda bioquímica de oxígeno es de 200 mg/l; por lo tanto, los valores obtenidos están por debajo de este umbral establecido.

Figura 33

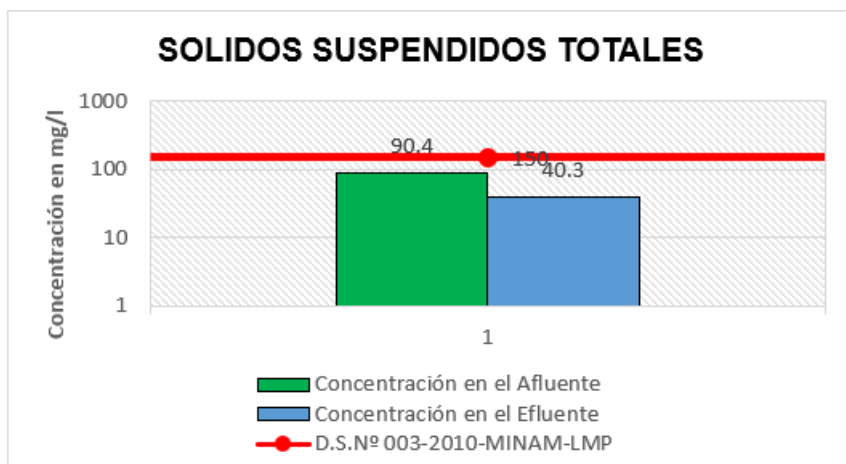
Potencial de hidrogeniones (pH) en el efluente



Como se puede observar, el valor del pH en la entrada fue de 7.52 y en el efluente fue de 7.34, según el rango admisible por la norma indica que los valores deben estar entre 6.5 - 8.5. Por lo tanto, los valores obtenidos en el estudio se encuentran dentro del rango permitido para efluentes de plantas depuradoras.

Figura 34

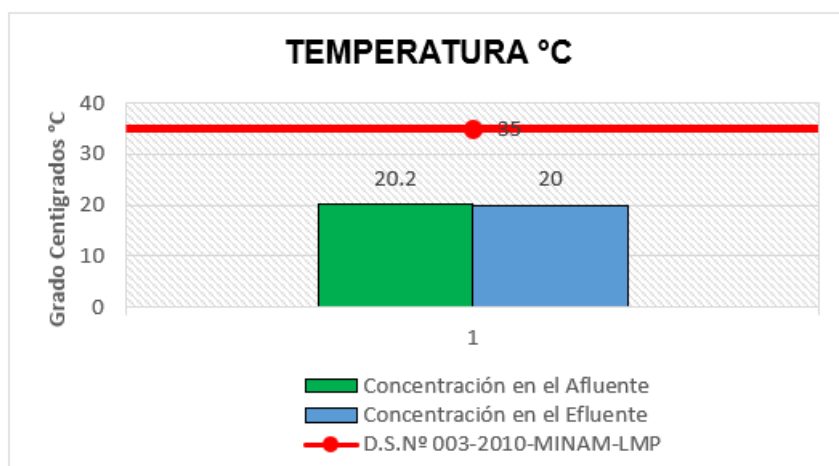
Concentración de Sólidos suspendidos totales en el efluente



La figura 34 indica el límite admisible para sólidos suspendidos totales, siendo el valor máximo de 150 mg/l, tras el análisis de las muestras en el afluente y efluente de la planta, se obtuvieron: 90.4 mg/l en el afluente y 40.3 mg/l en la salida, se aprecia una reducción significativa y considerable, porque el valor del efluente se encuentra dentro de los límites permisibles por la norma.

Figura 35

Nivel de temperatura en el efluente



La figura 35 muestra el nivel de temperatura óptima para el efluente de la planta depuradora, por disposición de la norma tienen que ser valores menores a 35 °C. Los

valores obtenidos en las muestras fueron: 20.2 °C en el afluente y 20 °C en el efluente. Estos valores cumplen con las exigencias de la norma.

5.1.3.2. Planta depuradora de aguas residuales de Huancacalle. Los resultados de los análisis físico-químicos y biológicos del agua residual del poblado de Huancacalle se contrastaron con los parámetros establecidos en el Decreto Supremo N° 0003-2010 del Ministerio del Ambiente, el cual define los límites permisibles para aguas tratadas. Esto se hizo para evaluar la calidad del agua que se descarga en el río Vilcabamba. Los datos correspondientes están presentados en la tabla 11.

Tabla 11

Resultado de los valores de los parámetros físicos, químicos y biológicos del afluente y efluente de la planta depuradora de Huancacalle

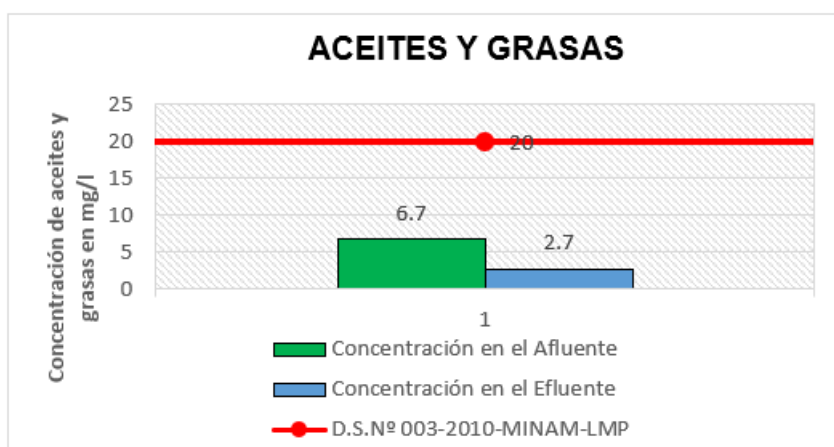
Parámetro	Unidad	Resultados de Afluente	Resultados de Efluente	D.S.N° 003-2010-MINAM-LMP	Método analítico
Aceites y grasas	mg/l	6.7	2.7	20	JEAN RODIER, 9EDICION
Coliformes termotolerantes	NMP/100 ml	150000	79000	10000	SMEWN— APHA-AWWA- WEF Part. 9221 E-1, 24th Ed. (2023)
DBO5	mg/l	46.6	28.2	100	JEAN RODIER, 9EDICION
DQO	mg/l	88	65.9	200	JEAN RODIER, 9EDICION
Ph	Unidad	7.4	7.62	6.5-8.5	JEAN RODIER, 9EDICION
Solidos suspendidos totales	mg/l	65.3	17.5	150	JEAN RODIER, 9EDICION
Temperatura	° Celsius	20.5	20	<35	JEAN RODIER, 9EDICION

Tabla 12

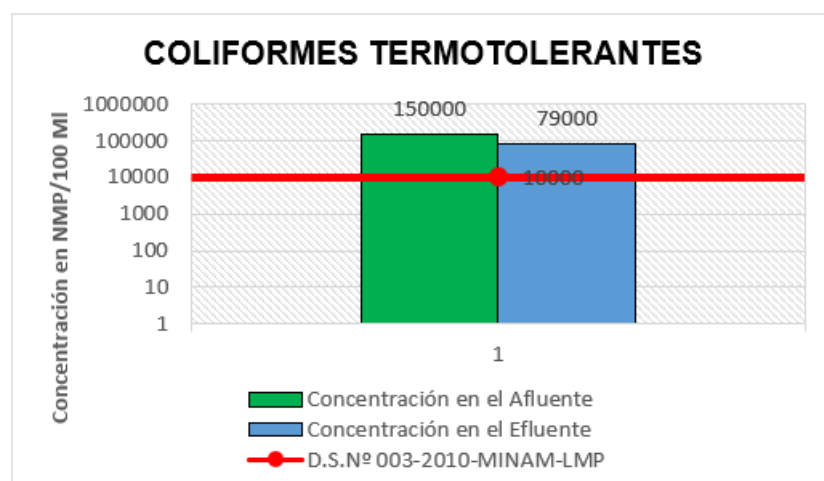
Resultado de los valores obtenidos en contraste con los ECAs según la cuarta categoría de conservación de ecosistemas acuáticos

Parámetro	Unidad	Resultados de Efluente	D.S. N° 004-2017-MINAM-ECAs-IV Categoría de conservación de ecosistemas acuáticos
Aceites y grasas	mg/l	2.7	5
Coliformes termo tolerantes	NMP/100 ml	70000	2000
DBO5	mg/l	28.20	10
DQO	mg/l	65.9	-
Ph	Unidad	7.82	6.5-9
Solidos suspendidos totales	mg/l	17.5	100
Temperatura	° Celsius	20	<35

Los resultados del efluente indican un impacto ambiental significativo debido al incumplimiento de algunos parámetros establecidos en los ECA para la conservación de ecosistemas acuáticos según el DS N° 004-2017-MINAM. Los coliformes termotolerantes (70,000 NMP/100 ml) y la DBO5 (28.20 mg/l) superan ampliamente los límites permitidos de 2,000 NMP/100 ml y 10 mg/l, respectivamente, lo que evidencia contaminación microbiológica y una alta carga orgánica que puede reducir el oxígeno disuelto, afectando la biodiversidad acuática del río de Vilcabamba. Aunque los valores de aceites y grasas, sólidos suspendidos totales, pH y temperatura se encuentran dentro de los límites normativos, es esencial mejorar el tratamiento de las aguas residuales para garantizar el cumplimiento de los estándares ambientales y minimizar los riesgos para los ecosistemas acuáticos

Figura 36*Para aceites y grasas en el efluente*

La figura 36 presenta una comparación de los niveles de aceites y grasas antes y después del tratamiento en la planta. La barra verde indica que la cantidad en el afluente fue de 6.7 mg/l, mientras que la barra azul muestra el valor en el efluente, que fue de 2.7 mg/l. No se observó una gran variación en los niveles iniciales ni una reducción significativa en la eliminación de aceites y grasas. Dado que el límite máximo permitido es de 20 mg/l, los valores obtenidos se mantienen dentro de los límites establecidos.

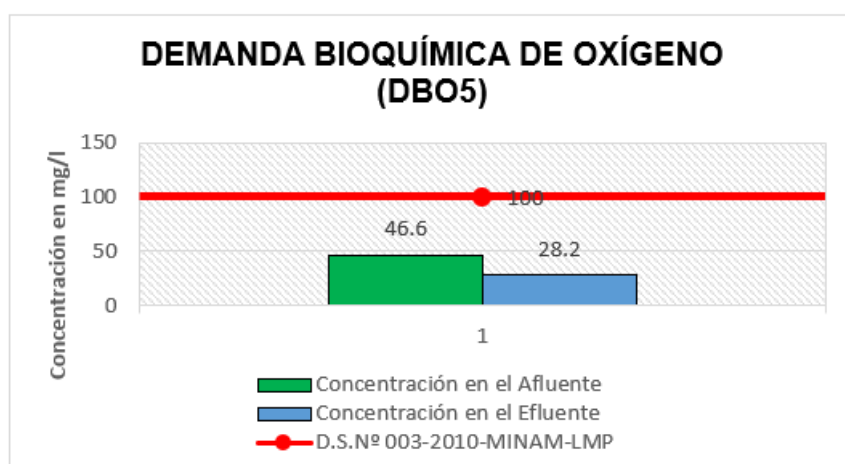
Figura 37*Para coliformes termo tolerantes en el efluente*

La figura 37 muestra la comparación entre la concentración de ingreso de coliformes termotolerantes y la reducción en el efluente, el límite admisible es de 10000

NMP/100 ml según lo estipula la norma, la barra de color verde indica la concentración en el afluente dando un valor de 150000 NMP/100 ml y la barra de color azul refleja la concentración que sale en el efluente cuyo valor de fue de 79000 NMP/100 ml, se ve un ingreso considerable de coliformes fecales, la planta según el resultado no tiene buen desempeño en cuanto a la remoción de este parámetro debido a muchos factores como la ausencia de mantenimiento en la rejillas de desbaste, tanque Imhoff. Por lo tanto, los valores de ingreso y salida de la planta se encuentran muy por encima de lo permitido.

Figura 38

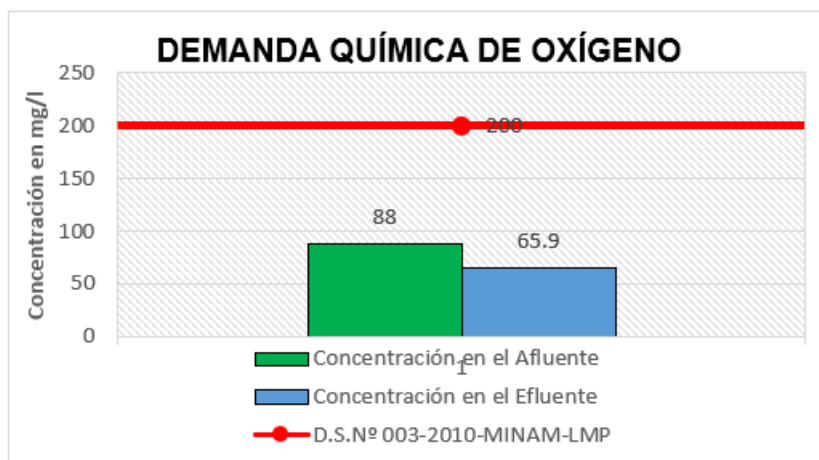
Para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) en el efluente



En la figura 38 muestra los valores como resultado obtenido en la entrada y salida del efluente, la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en la entrada es de 46.6 mg/l valor que se refleja en la barra de color verde, mientras que en el efluente se tuvo 28.2 mg/l cuyo valor reflejado en la barra de color azul, con los valores obtenidos podemos deducir que no hay gran cantidad de ingreso de materia orgánica, sin embargo no hay una reducción significativa, la norma exige como máximo 100 mg/l por tanto los valores obtenidos tanto en la entrada como en la salida están por debajo del límite admisible por la norma.

Figura 39

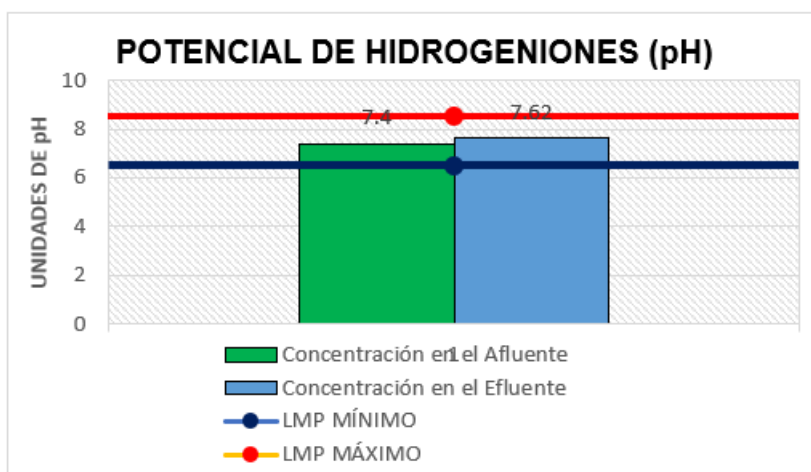
Para la demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente



En la figura 39 se observa la concentración de demanda química de oxígeno en el afluente como en el efluente, en el afluente se tuvo una concentración de 88 mg/l valor reflejado en la barra de color verde, mientras que la barra de color azul refleja la concentración en el efluente con un valor de 65 mg/l, no hubo una reducción significativa en cuanto a la depuración de materia orgánica, debido a la acumulación excesiva de lodos en el tanque Imhoff por la falta de limpieza y mantenimiento, sin embargo, los valores obtenidos en el afluente y efluente están por debajo del límite máximo admisible por la norma.

Figura 40

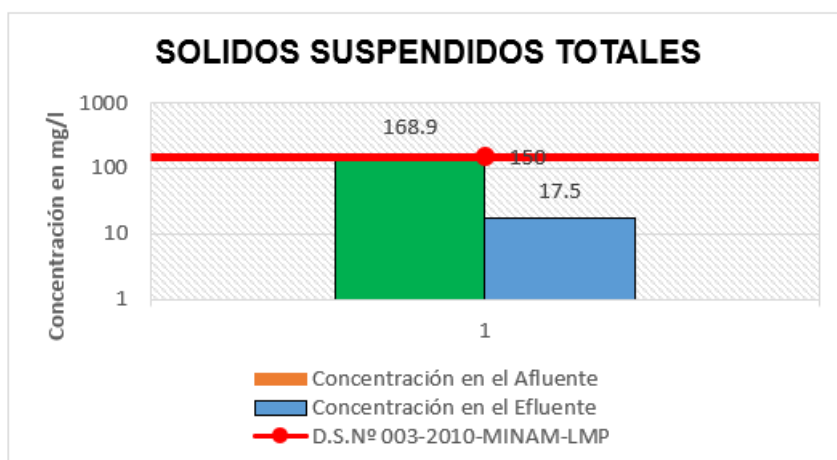
Potencial de hidrogeniones (pH) en el efluente



La figura 40 muestra un contraste entre el pH inicial y el valor al que sale el efluente, la barra de color verde refleja el valor en la entrada que fue de 7.4 y en el efluente es de 7.64 valor que se ve reflejado en la barra de color azul, según el rango admisible por la norma indica que ciertos valores estén entre 6.5-8.5. Por lo tanto, los valores obtenidos se encuentran dentro del rango permitido para efluentes de plantas depuradoras.

Figura 41

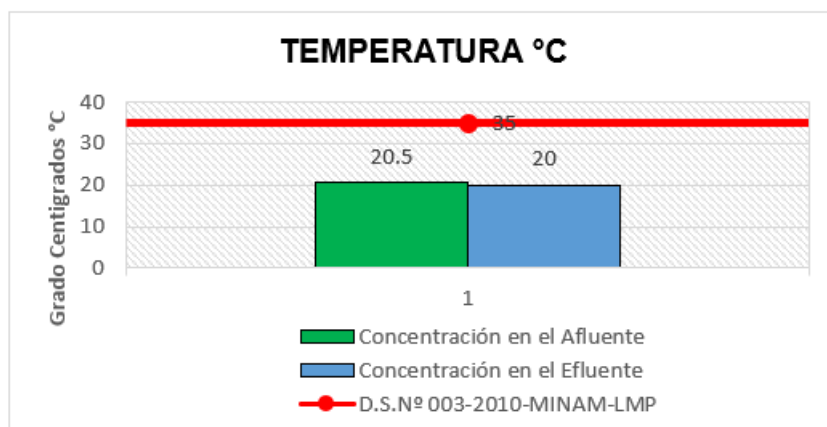
Para solidos suspendidos totales en el efluente



La figura 41 muestra la comparativa de los valores obtenidos en la entrada y salida del agua depurada con el límite admisible siendo este valor de 150 mg/l, podemos observar que hay una alta concentración de solidos suspendidos en la entrada con un valor de 168.9 mg/l el cual se refleja en la barra de color verde, el valor en la salida disminuyo significativamente a 17 mg/l representado por la barra de color azul, la planta tiene un nivel alto de depuración en cuanto a los sólidos en suspensión, por lo que el valor obtenido en el efluente se encuentra dentro de lo permitido.

Figura 42

Nivel de temperatura en el efluente



La figura 42 presenta un contraste de la temperatura del agua residual al ingresar y al salir de la planta, la barra de color verde indica la temperatura inicial con un valor de 20.5 °C y la barra de color azul nos indica la temperatura del agua depurada teniendo un valor de 20 °C, según la norma peruana la temperatura del efluente de una planta tiene que ser menor a 35 °C. Por lo tanto, los valores del afluente y efluente se encuentran dentro de lo admisible por la norma.

5.1.5. Determinación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.

5.1.5.1. Eficiencia de la planta de tratamiento de Pucyura.

En la tabla 13 se detalla la eficiencia de depuración de la planta de tratamiento de Pucyura

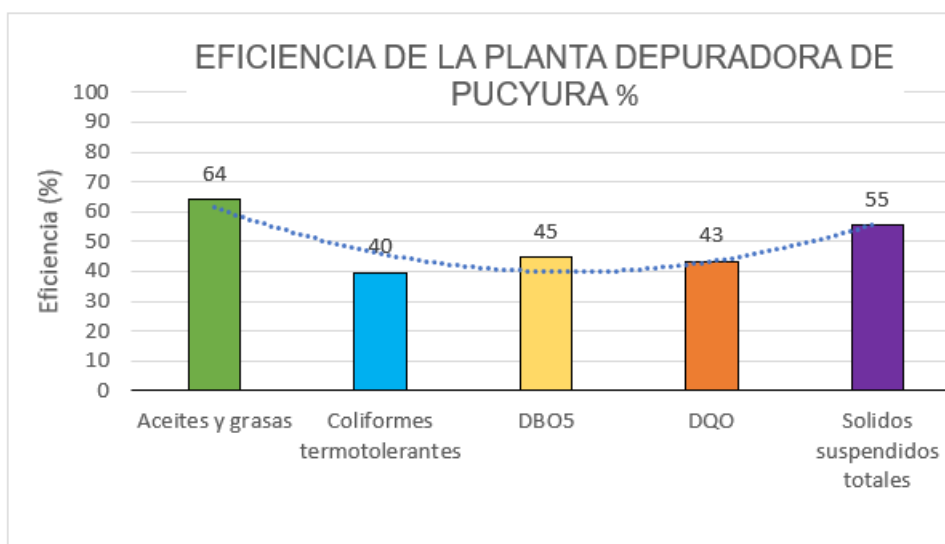
Tabla 13

Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta depuradora de Pucyura

N°	PARAMETRO	NIVEL DE CONCENTRACION EN AFLUENTE	NIVEL DE CONCENTRACION EN EFLUENTE	UNIDAD	CONDICION	D.S.N° 003 2010-MINAM-LMP	EFICIENCIA %
1	Aceites y grasas	5.82	2.1	mg/l	si cumple	20	64
2	Coliformes termotolerantes	580000	350000	NMP/100 ml	no cumple	10000	40
3	DBO5	69.3	38.3	mg/l	si cumple	100	45
4	DQO	106.8	60.6	mg/l	si cumple	200	43
5	Ph	7.52	7.34	Unidad	si cumple	6.5-8.5	
6	Sólidos suspendidos totales	90.4	40.3	mg/l	si cumple	150	55
7	Temperatura	20.2	20	° Celsius	si cumple	35	

Figura 43

Diagrama estadístico de la eficiencia de la planta depuradora de Pucyura



Según al diagrama, hay deficiencia en cuanto a la remoción de coliformes termotolerantes, ya que el valor obtenido es de 40 % de desempeño, este valor indica que no se están realizando trabajos de limpieza en el desarenador, tanque Imhoff y en el filtro

biológico; en cuanto a aceites y grasas la eficiencia es de 64 %, para requerimiento bioquímico de oxígeno en 05 días fue 45 %, requerimiento químico en 43 % y para sólidos suspendidos es de 55 %. Logrando una eficiencia promedio de 49.3%

5.1.5.2. Eficiencia de la planta de tratamiento de Huancacalle.

La tabla 14 muestra la determinación de la eficiencia de depuración de la planta de tratamiento de Huancacalle.

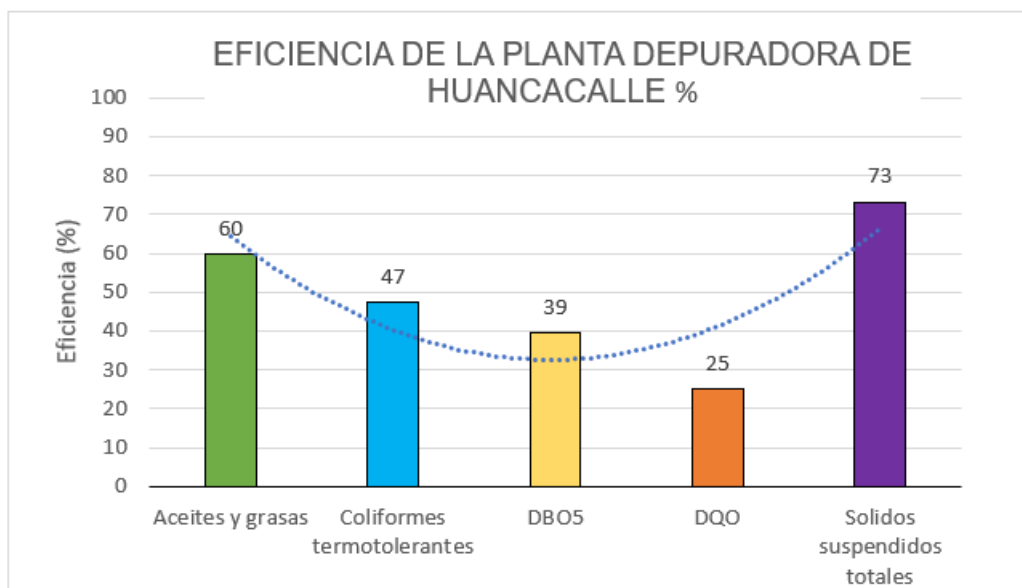
Tabla 14

Eficiencia de remoción de contaminantes de la planta depuradora de Huancacalle

	PARAMETRO	NIVEL DE CONCENTRACION EN AFLUENTE	NIVEL DE CONCENTRACION EN EFLUENTE	UNIDAD	CONDICION	D.S.N° 003 2010- MINAM - LMP	EFICIENCIA %
1	Aceites y grasas	6.7	2.7	mg/l	si cumple	20	60
2	Coliformes termotolerantes	150000	79000	NMP/100 ml	no cumple	10000	47
3	DBO5	46.6	28.2	mg/l	si cumple	100	39
4	DQO	88	65.9	mg/l	si cumple	200	25
5	pH	7.4	7.62	Unidad	si cumple	6.5-8.5	
6	Solidos suspendidos totales	65.3	17.5	mg/l	si cumple	150	73
7	Temperatura	20.5	20	° Celsius	si cumple	35	

Figura 44

Diagrama estadístico de la eficiencia de la planta depuradora de Pucyura



La estación de tratamiento de aguas residuales de Huancacalle tiene un serio problema en cuanto a la depuración de contaminantes del agua residual. Para líquidos grasos la eficiencia fue de un 60 %, para coliformes termotolerantes 47 %, para el requerimiento bioquímico de oxígeno en 05 días el valor fue de 39 %, para requerimiento químico de oxígeno 25 %, para sólidos en suspensión 73 %. Por lo visto en las visitas técnicas realizadas, la planta requiere de un plan de operación y mantenimiento, puesto que se observó las cámaras de rejillas en mal estado, el tanque Imhoff lleno de lodos y las tuberías obstruidas al igual que el filtro biológico. Alcanzado una eficiencia promedio de 48.80%.

5.1.6. Propuesta de mejora de los procesos de tratamiento de aguas residuales de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle

A partir de los resultados obtenidos en la evaluación del desempeño de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Pucyura y Huancacalle, se ha desarrollado un Plan de Operación y Mantenimiento para ambas plantas, con el objetivo de mejorar los procesos de tratamiento de las aguas residuales.

De acuerdo a los hallazgos, la planta de tratamiento de aguas residuales de Pucyura presentó en promedio un 49.3 % de eficiencia, esto debido a que no se viene cumpliendo de manera regular las actividades de operación y mantenimiento, por otro lado, la planta de tratamiento de aguas residuales de Huancacalle alcanzo un 48.8% de desempeño, valor considerado como muy bajo, el cual refleja el estado situacional de la planta y las deficiencias ya descritas anteriormente.

Presentación

Este plan de operación y mantenimiento está destinado a las plantas de tratamiento de aguas residuales en los sectores de Pucyura y Huancacalle, con el objetivo de asegurar un proceso eficiente y el cumplimiento de las normativas ambientales. Se enfoca en proteger la salud pública a través de la gestión adecuada de los recursos disponibles. El documento establece los objetivos a lograr, detalla los procesos de tratamiento involucrados y especifica las responsabilidades del personal encargado de la operación. También incluye un cronograma anual de actividades de mantenimiento y un presupuesto planificado, ambos orientados a optimizar los recursos económicos y técnicos para asegurar la continuidad y eficiencia de las plantas a lo largo del tiempo.

Objetivos del plan de operación y mantenimiento.

- 1) Garantizar el funcionamiento óptimo de los componentes de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.
- 2) Garantizar el cumplimiento de las normas ambientales sobre calidad del agua.
- 3) Optimizar los recursos económicos para la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

Procesos de tratamiento efectuados en las plantas de tratamiento. Las aguas residuales reciben el siguiente proceso de tratamiento.

- **Cámara de rejas y desarenador.** Consiste en una estructura con barras o rejas que retienen materiales sólidos de gran tamaño, como ramas, plásticos y otros residuos voluminosos que pueden dañar el equipo posterior o interferir con el proceso

- **Tanque Imhoff.** Es utilizado para la separación de sólidos y la digestión de lodos. Tiene dos compartimientos: uno superior donde se sedimentan los sólidos y otro inferior donde los lodos se digieren anaeróbicamente
- **Filtro percolador o filtro biológico.** En esta etapa se reducen las cargas orgánicas mediante el uso de arena y grava, logrando mejor calidad en el efluente.
- **Cámara de contacto y de cloración.** Es el espacio donde el agua tratada se mezcla con un desinfectante, generalmente cloro.
- **Lechos de secado.** Son áreas de concreto donde los lodos son depositados para deshidratarse al aire libre

Operación de las plantas de tratamiento.

Para la operación eficiente de las plantas de tratamiento, se plantea el personal adecuado que pueda monitorear y ejecutar las operaciones necesarias. Aquí se detalla una estructura del personal necesario:

- **Personal operario.** Se requiere un personal operario encargado de verificar todos los puntos de tratamiento para verificar su funcionamiento óptimo de las plantas de tratamiento, los puntos a verificar su operatividad son las siguientes: Cámara de rejillas y desarenador, Tanque Imhoff, Filtro biológico, Lechos de secado, Cámara de contacto y de cloración, Perímetro de la planta de la planta de tratamiento.
- **Requerimientos de operación.** Las plantas de tratamiento funcionan de manera ininterrumpida, las 24 horas del día, los 7 días de la semana, dado que el tratamiento de aguas residuales es un proceso constante.
 - a. **Turno de Día (7:00 AM - 9:00 AM).** Personal encargado de la supervisión y operación de las etapas críticas durante el día.
 - Responsable de del tanque Imhoff, biofiltro, desinfección y lecho de secado de lodos
 - Realiza tareas de monitoreo, ajustes y registro de datos

b. Turno de Tarde (2:00 PM - 4 PM). Continuación de la supervisión y operación de las etapas críticas.

- Responsable de del tanque Imhoff, biofiltro, desinfección y lecho de secado de lodos.
- Realiza tareas de monitoreo, mantenimiento preventivo y limpieza de equipos.

Protocolos para el monitoreo continuo de los parámetros de operación. La supervisión constante de los parámetros operativos en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) es crucial para garantizar un rendimiento óptimo y cumplir con los estándares de calidad del agua tratada.

- **Cámara de rejillas y desarenador.** es fundamental monitorear el caudal de entrada y realizar inspecciones visuales frecuentes para detectar y remover acumulaciones de sólidos gruesos que podrían obstruir las rejillas, complementando con una limpieza regular y un registro de la cantidad de sólidos retirados. Para el desarenador, se debe controlar la velocidad del flujo para optimizar la sedimentación, realizar inspecciones visuales del fondo para identificar la acumulación de sedimentos.
- **Tanque Imhoff.** monitorear el nivel de lodos para evitar sobrecargas y realizar inspecciones visuales periódicas para detectar acumulaciones de sólidos en la zona de sedimentación. Además, se debe controlar la temperatura interna para asegurar condiciones óptimas para la digestión anaerobia, y verificar el pH del agua para evitar condiciones ácidas que puedan afectar el proceso de digestión. Estos monitoreos y controles garantizan un funcionamiento eficiente y evitan problemas en el proceso de tratamiento.
- **Filtro biológico.** Es fundamental monitorear el flujo de agua para asegurar una distribución uniforme sobre el medio filtrante y evitar zonas muertas, así como medir la carga orgánica en el efluente para evaluar la eficiencia en la reducción de materia orgánica. También se deben realizar inspecciones periódicas del

medio filtrante para detectar obstrucciones o desgaste, y monitorear la presencia de olores como indicador de un proceso biológico adecuado. Estos controles aseguran un tratamiento efectivo y previenen problemas operativos

- **Cámara de contacto y cloración.** monitorear continuamente el nivel de cloro residual en el efluente para asegurar que se cumple con los estándares de desinfección sin exceder los niveles que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente. Además, se debe verificar el tiempo de retención del agua en la cámara para garantizar una desinfección adecuada y realizar inspecciones regulares de los equipos de dosificación de cloro para detectar posibles fugas o malfuncionamientos que puedan afectar la dosificación precisa. Estos procedimientos son clave para mantener la eficacia del proceso de desinfección

Mantenimiento preventivo y correctivo por componentes para el tratamiento de las aguas residuales.

- **Cámara de rejillas y desarenador.**
 - Limpieza manual de las cámaras de rejillas: Se procede a remover manualmente los desechos sólidos atrapados en las rejillas, como ramas, plásticos y otros materiales, evitando su acumulación y asegurando un flujo eficiente de agua a través del sistema.
 - Revisión y pintado de las rejillas si presentan corrosión: Se realiza una inspección detallada de las rejillas para detectar signos de corrosión. En caso de encontrar áreas afectadas, se aplican tratamientos anticorrosivos y pintura protectora para prolongar la vida útil de las rejillas.
 - Limpieza del desarenador y traslado de materiales a los lechos de secado: Este proceso implica la remoción de sedimentos como arena y partículas pesadas que se acumulan en el desarenador. Los materiales extraídos se transportan a los lechos de secado para su disposición adecuada.
 - Lijado, pintado y reparación de grietas: Se llevan a cabo tareas de lijado para eliminar corrosión o imperfecciones en las superficies metálicas y de

concreto, seguidas de un pintado y sellado de grietas para prevenir futuras filtraciones y mantener la integridad estructural.

- Desmalezado alrededor del desarenador: Se elimina la vegetación no deseada que crece en el entorno del desarenador, lo que ayuda a preservar la estructura y facilita el acceso para el mantenimiento.

- **Tanque Imhoff.**

- Retiro de material flotante sólido: Se elimina manualmente el material flotante, como aceites y grasas, que se acumula en la superficie del tanque Imhoff, para evitar que interfiera con el proceso de sedimentación.
- Extracción de lodos y limpieza del pozo sedimentador: Se realiza la evacuación de lodos acumulados en el tanque y se transportan a los lechos de secado. Además, se limpia el pozo sedimentador para mantener su capacidad operativa.
- Limpieza de tuberías de conducción: Se asegura que las tuberías que transportan lodos y otros materiales estén libres de obstrucciones mediante una limpieza interna, garantizando un flujo continuo y sin problemas.
- Lubricación de la válvula de paso: Se aplica lubricante a la válvula para mantener su buen funcionamiento, facilitando su operación sin interrupciones.
- Lijado, pintado y sellado de grietas: Este procedimiento se realiza para proteger las superficies del tanque contra la corrosión y las filtraciones, asegurando la durabilidad del equipo.
- Desmalezado alrededor del tanque Imhoff: Se lleva a cabo la eliminación de vegetación no deseada en las cercanías del tanque para evitar problemas estructurales y facilitar el acceso para mantenimiento.

- **Filtro biológico.**

- Sustitución de canales de distribución si es necesario: En caso de que los canales de distribución muestren desgaste o daños, se reemplazan para

asegurar que el agua se distribuya de manera uniforme sobre el lecho filtrante.

- Eliminación de malezas y residuos sólidos acumulados: Se retiran las malezas y los residuos sólidos presentes en el filtro biológico y su entorno para mantener su funcionamiento eficiente y prevenir obstrucciones.
- Lavado general del filtro: Se realiza un lavado completo del filtro biológico para eliminar acumulaciones de biomasa y otros residuos que puedan comprometer su rendimiento.
- Lijado, pintado y reparación de grietas: Se lleva a cabo el lijado de superficies, seguido de pintado y sellado de grietas, para prevenir la corrosión y asegurar la integridad del filtro.

- ***Cámara de contacto y de cloración.***

- Limpieza de tuberías de conducción: Se realiza la limpieza de las tuberías que llevan el agua a la cámara de contacto y de cloración, asegurando que no haya obstrucciones que interfieran con el proceso.
- Lubricación de válvulas de paso: Se lubrica las válvulas para garantizar un funcionamiento suave y efectivo, facilitando el control del flujo de agua.
- Cloración con hipoclorito de sodio: Se aplica una dosis de hipoclorito de sodio en la cámara de cloración para desinfectar el agua, eliminando microorganismos y asegurando que cumpla con los estándares de calidad.
- Lijado, pintado y reparación de grietas: Se realizan estas acciones en las superficies para protegerlas contra la corrosión y prevenir posibles fugas.
- Desmalezado alrededor de la cámara de contacto: Se elimina la vegetación no deseada alrededor de la cámara para facilitar el acceso y prevenir cualquier interferencia en su funcionamiento.

- ***Lechos de secado.***

- Limpieza de tuberías de conducción: Se efectúa la limpieza interna de las tuberías que transportan lodos hacia los lechos de secado, evitando bloqueos que puedan interrumpir el proceso.
 - Lubricación de válvulas de paso: Se aplica lubricante a las válvulas para mantener su operatividad, permitiendo un manejo fluido del flujo de lodos.
 - Retiro de lodos secos para disposición final: Una vez que los lodos se han secado, se extraen de los lechos y se trasladan a un relleno sanitario autorizado para su disposición segura.
 - Desmalezado alrededor de los lechos de secado: Se eliminan las malezas que crecen en las áreas circundantes para facilitar el acceso y prevenir el deterioro de los lechos de secado.
- ***Perímetro de las plantas de tratamiento.***
 - Pintado y reparación de la valla perimétrica: Se llevan a cabo tareas de mantenimiento en la valla que rodea la planta, incluyendo pintado y reparación de daños, para asegurar que la planta esté adecuadamente protegida y delimitada.

Cronograma de mantenimiento preventivo.

De acuerdo a las actividades descritas, se propone un cronograma de actividades de forma anual, que tiene como objetivo planificar y ejecutar las actividades de forma consistente y además gestionar de mejor manera las plantas depuradoras, logrando elevar su eficiencia en cuanto a la depuración de las aguas residuales

Gestión de la seguridad y salud ocupacional.

Este aspecto es fundamental dentro del plan de operación y mantenimiento, puesto que garantiza el cuidado de la integridad física del personal durante la operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento.

- ***Acciones previas a la operación.***

- Identificación de Riesgos: Se realiza una evaluación para identificar los peligros potenciales en cada área de la planta.
- Formación del Personal: Todo el personal recibe la formación necesaria en seguridad, uso de equipos y procedimientos de emergencia.
- Comprobación del EPPs: Se garantiza que cada trabajador cuenta con el EPP apropiado, que incluye gorra o casco, mascarilla, guantes, mameluco y botas o zapatos de seguridad, asegurando un ajuste correcto.

- ***Acciones durante la operación.***

- Uso Permanente del EPP: El uso del EPP es obligatorio en todo momento dentro de las áreas operativas.
- Adherencia a Procedimientos Seguros: Se siguen estrictamente los procedimientos operativos establecidos para cada tarea, evitando improvisaciones.
- Comunicación Permanente: Se mantiene una comunicación constante entre los miembros del equipo para reportar cualquier anomalía o incidente de seguridad de inmediato.

- ***Acciones posteriores a la Operación.***

- Revisión Post-Operativa: Se realiza una inspección de los equipos y el área de trabajo para identificar y corregir cualquier daño o condición insegura que haya surgido durante la operación.
- Retiro y Almacenamiento del EPP: Se asegura que el EPP sea retirado de manera segura y almacenado correctamente, siguiendo los procedimientos de limpieza cuando sea necesario.

- Registro de Incidentes: Se documenta cualquier incidente o situación anómala ocurrida durante la operación, incluyendo detalles sobre las causas y las medidas correctivas tomadas.
- ***Equipos de protección personal.***
 - Gorra o casco
 - Mascarilla
 - Mameluco
 - Botas o zapatos de seguridad
 - Guantes

Presupuesto.

Para realizar las actividades de operación y mantenimiento, se estimó un presupuesto anual promedio de S/. 5,431.32 (cinco mil cuatrocientos treinta y uno con 32/100 soles). En la tabla 15 se presenta el desglose del presupuesto por componentes.

Tabla 15*Presupuesto del plan de operación y mantenimiento*

ITEM	PARTIDA	UNIDAD	METRADO	PU	MANO DE OBRA	MATERIALES	SUB PARTIDAS	PARCIAL
1	MANTENIMIENTO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES				0.00	0.00	0.00	0.00
1.1	CAMARA DE REJAS Y DESARENADOR	GLB	1.00	602.26	0.00	0.00	602.26	602.26
1.2	TANQUE IMHOFF	GLB	1.00	1,116.60	0.00	0.00	1,116.60	1,116.60
1.3	FILTRO BIOLOGICO	GLB	1.00	612.50	0.00	0.00	612.50	612.50
1.4	LECHOS DE SECADO	GLB	1.00	791.00	0.00	0.00	791.00	791.00
1.5	CAMARA DE CONTACTO Y DE CLORACION	GLB	1.00	837.20	0.00	0.00	837.20	837.20
1.6	VALLA PERIMETRICA	GLB	1.00	606.00	0.00	0.00	606.00	606.00
1.7	INSPECCION, REGISTRO Y MONITOREO DE LA PTAR	GLB	1.00	372.00	120.00	252.00	0.00	372.00
	COSTO DIRECTO							4,937.56
	UTILIDAD 10%							493.76
	SUB TOTAL							5,431.32
	TOTAL PRESUPUESTO							5,431.32

Nota. El presupuesto es una estimación promedio, sin embargo, podría variar por diferentes circunstancias.

Los materiales que se describen a continuación se realizaron de acuerdo a la necesidad de cada una de las actividades establecidas, monto que asciende a mil setecientos noventa y tres con 06/100 soles

Tabla 16*Relación de materiales*

INSUMO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	PARCIAL
PINTURA ANTICORROSIVA	GAL	1.0000	30.86	30.86
CEMENTO PORTLAND TIPO I PM	BL	2.0000	25.00	50.00
PINTURA ESMALTE COLOR BLANCO	GAL	9.0000	65.00	585.00
LIJA PARA FIERRO	UND	4.0000	1.70	6.80
GRASA MULTI PROPOSITOS	KG	1.0000	5.90	5.90
D-BIDET MAN.MANGU REF.SOP. AMER. CROM.CRCR	UND	1.0000	100.00	100.00
TUBO PVC DESAGUE SAL 6" X 5M	PZ	5.0000	80.00	400.00
CEMENTO PORTLAND TIPO I (42.5KG)	BLS	3.0000	17.50	52.50
LEJIA	LT	4.0000	13.00	52.00
MALLA ELECTROSOLDADA BWG#10	M2	10.0000	25.80	258.00
MASCARILLAS 3 PLIEGUES X50 UNIDADES	CTO	1.0000	12.00	12.00
BOTAS DE JEBE	UND	5.0000	20.00	100.00
CASCO DE PROTECCION PARA OBRERO	UND	5.0000	11.00	55.00
LENTES C/PROTECCION UV	UND	5.0000	17.00	85.00
				1,793.06

Tabla 17*Relación de herramientas*

INSUMO	UNIDAD	CANTIDAD	PU	PARCIAL
PALA TIPO CUCHARA	UND	1.0000	38.00	38.00
PICO CON MANGO DE MADERA	UND	1.0000	40.00	40.00
BROCHA PARA PINTOR 5"	UND	2.0000	36.00	72.00
RASTRILLO	UND	1.0000	35.00	35.00
MACHETE TIPO SABLE	UND	1.0000	25.00	25.00
				210.00

A continuación, en la tabla se aprecia el análisis de costos unitarios general del plan de operación y mantenimiento.

Tabla 18

Análisis de costos unitarios

2 CAMARA DE REJAS Y DESARENADOR						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	602.26	
					Parcial	
LIMPIEZA MANUAL DE CAMARAS DE REJAS	GLB		1.0000	156.00	156.00	
PINTADO DE REJILLAS Y RESANACION DE GRIETAS	GLB		1.0000	212.26	212.26	
LIMPIEZA DEL DESARENADOR Y DESBROCE DE MALEZAS	GLB		1.0000	234.00	234.00	
				Sub Partidas:	602.26	
3 TANQUE IMHOFF						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	1,116.60	
					Parcial	
LIMPIEZA DE MATERIAL SOLIDO FLOTANTE, DESBROCE DE MALEZAS Y ENGRASAMIENTO DE LA VALVULA DE PASE	GLB		1.0000	664.90	664.90	
EVACUACION DE LODOS, LIMPIEZA DEL TANQUE IMHOFF Y DE LA TUBERIA DE CONDUCCION	GLB		1.0000	308.00	308.00	
LIJADO, PINTADO Y RESANACION DE GRIETAS	GLB		1.0000	143.70	143.70	
				Sub Partidas:	1,116.60	
4 FILTRO BIOLOGICO						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	612.50	
					Parcial	
PINTADO Y RESANACION DE GRIETAS, REEMPLAZO DE TUBERIA, LAVADO DEL FILTRO	GLB		1.0000	534.50	534.50	
LIMPIEZA DE MALEZAS Y ACUMULACIONES DE RESIDUOS SOLIDOS	GLB		1.0000	78.00	78.00	
				Sub Partidas:	612.50	
5 LECHOS DE SECADO						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	791.00	
					Parcial	
RETIRO DE LOS LODOS SECOS PARA SU DISPOSICION FINAL DE UN RELLENO SANITARIO AUTORIZADO	GLB		1.0000	78.00	78.00	
LIMPIEZA DE TUBERIAS DE CONDUCCION, DESBROCE DE MALEZAS, ENGRASAMIENTO DE VALVULA	GLB		1.0000	624.00	624.00	
LIJADO, PINTADO Y RESANACION DE GRIETAS	GLB		1.0000	89.00	89.00	
				Sub Partidas:	791.00	
6 CAMARA DE CONTACTO Y DE CLORACION						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	837.20	
					Parcial	
DESBROCE DE MALEZAS, LIMPIEZA DE TUBERIAS DE CONDUCCION Y CLORACION	GLB		1.0000	701.00	701.00	
PINTADO, LIJADO Y RESANACION DE GRIETAS	GLB		1.0000	136.20	136.20	
				Sub Partidas:	837.20	
7 VALLA PERIMETRICA						
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA						
		Unidad: GLB		Costo Unitario:	606.00	
				PU		

Insumo	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	PU	Parcial
PINTADO Y SOLDADO DE VALLA PERIMETRICA	GLB		1.0000	606.00	606.00
				Sub Partidas:	606.00
8 INSPECCION, REGISTRO Y MONITOREO DE LA PTAR					
Rendimiento: 1.0000 GLB/DIA					
Insumo	Unidad	Unidad: GLB Cuadrilla	Cantidad	Costo Unitario: PU	Parcial
OPERARIO	HH	1.5000	12.0000	10.00	120.00
				Mano de obra:	120.00
MASCARILLAS 3 PLIEGUES X50 UNIDADES	CTO		1.0000	12.00	12.00
BOTAS DE JEBE	UND		5.0000	20.00	100.00
CASCO DE PROTECCION PARA OBRERO	UND		5.0000	11.00	55.00
LENTES C/PROTECCION UV	UND		5.0000	17.00	85.00
				Materiales:	252.00

5.2. Discusión

5.2.1. Objetivo específico 1: Características de entrada de los parámetros

De acuerdo con el análisis de las muestras del afluente de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Pucyura y Huancacalle, los valores obtenidos para parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO) indican una baja entrada de materia orgánica. Asimismo, se observan concentraciones reducidas de aceites, grasas y sólidos suspendidos totales, Sin embargo, se evidencia una presencia excesiva de bacterias y otros microorganismos patógenos en el agua residual, lo que se refleja en los elevados valores del parámetro de coliformes termotolerantes. En contraste, el estudio de Carrasco (2022), titulado “Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022”, muestra un escenario diferente en el afluente, con un alto ingreso de materia orgánica, aceites, grasas y sólidos suspendidos totales, lo que difiere de los resultados del presente estudio. No obstante, ambos estudios coinciden en la similitud de los elevados valores de coliformes termotolerantes. De manera similar, Auccatinco (2021), en su investigación “Evaluación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en el distrito de Cusipata, provincia de Quispicanchi-Cusco”,

reporta valores excesivamente elevados para estos mismos. Y es así, aunque las variaciones sean evidentes en los valores de las cargas contaminantes del afluente en las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle y otras plantas de tratamiento, todas las plantas enfrentan un problema común en cuanto a la elevada presencia de coliformes termotolerantes, lo que es un indicador importante para mejorar el tratamiento de las aguas residuales.

5.2.2. Objetivo específico 2: Descripción de los procesos de tratamiento

Los procesos de tratamiento que cumplen las plantas de Pucyura y Huancacalle resultan ser ineficientes y las condiciones actuales de ambas plantas presentan deterioros en la infraestructura. La evidencia muestra que ambas plantas carecen de acciones de limpieza de sus componentes, esto, en su conjunto, muestra la ausencia de un plan de

operación y mantenimiento. Estos hallazgos, son similares a los encontrados en el estudio de González et al. (2022), para la planta de tratamiento evaluada en el Cantón Jipijapa, Manabí, que presentó un panorama similar de descuido en la conservación de su infraestructura. De manera similar, Carrasco (2022), en su investigación, determinó anomalías en la infraestructura de la planta de tratamiento del distrito de Poroy, encontrando deterioro en el concreto de los componentes.

5.2.3. Objetivo específico 3: Valores de los parámetros posteriores al tratamiento

En el análisis del efluente de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle, se observa que los valores de los parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales, aceites y grasas se mantienen por debajo de los límites establecidos por el Decreto Supremo DS N° 003-2010-MINAM-LMP, debido a las bajas concentraciones presentes en el afluente. Sin embargo, la falta de una reducción significativa en estos parámetros sugiere que los procesos de tratamiento no están logrando eliminar eficazmente todos los contaminantes, especialmente los coliformes termotolerantes, que infringen la normativa ambiental. De manera similar, el estudio de Auccatinco (2021) en su estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento en Cusipata, también muestra incumplimientos en relación con la norma, particularmente en casi todos los parámetros evaluados como es el caso de Demanda Bioquímica Oxígeno (DBO5), Demanda Química Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales y coliformes termotolerantes, que infringen la norma ambiental de calidad del agua. Por otro lado, Cueva y Garcia, en su estudio "Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas en una empresa minera, Cajamarca 2020" destaca por el cumplimiento con la norma ambiental de calidad del agua y la reducción significativa de los parámetros de Demanda Química de Oxígeno (DBO5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y solidos suspendidos totales.

5.2.4. Objetivo específico 4: Propuesta de mejora de los procesos de tratamiento

La propuesta de un plan de operación y mantenimiento aborda de manera efectiva los desafíos identificados en estudios anteriores, como los de Auccatinco (2021), Moyano y Guerrero (2022), y Criollo (2021), quienes analizaron el impacto negativo de estaciones de tratamiento. ineficientes, pero no ofrecieron soluciones concretas. En contraste, este estudio no solo reconoce los problemas, sino que también propone soluciones tangibles para mejorar el funcionamiento de las plantas y asegurar la protección de la calidad de las aguas receptoras y del medio ambiente en general.

VI. Conclusiones

- 1) La estación de tratamiento de Pucyura alcanzó una eficiencia del 49,3% en la reducción de cargas contaminantes en el agua residual doméstica, mientras que la estación de Huancacalle logró un rendimiento similar, con una eficiencia del 48,8%. Estos resultados reflejan un desempeño limitado en la eliminación de contaminantes, lo que pone de manifiesto la necesidad de optimizar sus procesos para cumplir con los estándares de calidad establecidos y mejorar su desempeño general.
- 2) Se ha determinado que las características de entrada de los elementos, sustancias o parámetros son semejantes en ambas estaciones de tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a la excesiva presencia de coliformes termotolerantes, corroborando que esta es una característica común de los afluentes en las plantas de tratamiento de aguas residuales.
- 3) Se evidenció que las plantas de tratamiento de aguas residuales de Pucyura y Huancacalle no cumplen con los diferentes procesos de tratamiento de las aguas residuales. Sin embargo, carecen de acciones adecuadas de operación y mantenimiento, principalmente en la limpieza de sus componentes, lo que afecta negativamente a la eficiencia de los procesos de tratamiento implementados, contribuyendo así al incumplimiento de la normatividad vigente.
- 4) Se determinó que los procesos de tratamiento de las aguas residuales de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle no están logrando eliminar eficazmente todos los contaminantes, principalmente coliformes termotolerantes, y que los valores posteriores al tratamiento incumplen con las normas ambientales de calidad del agua, establecidas en el DS N° 003-2010-MINAM-LMP, lo que contribuye al deterioro de la calidad del agua del río Vilcabamba.
- 5) En base a los hallazgos se propuso un plan de operación y mantenimiento, que incorpora acciones para mejorar el funcionamiento de las plantas de tratamiento a

fin de asegurar la protección de la calidad de las aguas receptoras y minimizar el impacto ambiental.

VII. Recomendaciones

1. Las instituciones competentes deben de formular y aplicar políticas de gestión del agua residual que fomenten prácticas sostenibles, especialmente la reducción de la carga contaminante desde la fuente misma.
2. Fomentar la participación activa de las comunidades en el monitoreo y la protección de las infraestructuras de tratamiento.
3. Se recomienda a las autoridades locales gestionar los recursos para la aplicación del plan propuesto para la conservación de las infraestructuras de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle.
4. Es importante fomentar investigaciones sobre la evaluación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales, ya que estos estudios pueden ayudar a resolver los graves problemas de contaminación en los cuerpos de agua receptores. Además, estas investigaciones pueden impulsar el avance de la ciencia ambiental al desarrollar y aplicar nuevas tecnologías para el tratamiento de aguas residuales.
5. Se recomienda realizar una evaluación integral del río Vilcabamba para determinar el impacto ambiental generado por los efluentes insuficientemente tratados provenientes de las plantas de tratamiento de Pucyura y Huancacalle

VIII. Referencias

- Ancalle Espeza, C., & Ledesma Giraldez, W. (2020). Caracterización de las aguas residuales en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yauli-Huancavelica.
- Andrade Yucra, R. (2020). Evaluación de la eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales distrito de Macusani, región Puno–2020.
- Carrasco Sotomayor, J. I. (2022). Evaluación y propuesta para el mejoramiento de la planta de tratamiento de aguas residuales, distrito de Poroy, Cusco-2022.
- Cueva Olano, C. M., & Garcia Diaz, R. E. (2021). Evaluación de la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en una empresa minera, Cajamarca 2020.
- Díaz Muñoz, L. A. (2022). Eficiencia en la remoción de materia orgánica de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Lajas durante el 2020.
- González, M. R. M., & Calero, J. M. G. (2022). Evaluación de la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa, Manabí. MQRInvestigar, 6(4), 925-943.
- Isla, R. (2005). Plantas de tratamiento de aguas. Biblioteca Técnico Científica. Recuperado de <https://belliscovirtual.com/tratamiento-depuracion-y-reutilizacion-de-aguas/77-proyectos-de-plantas-de-tratamiento-de-aguas-aguas-de-proceso-residuales-y-de-refrigeracion-9788496486058.html>
- Lapeña, M. R. (1989). Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales (Vol. 27). Marcombo. Recuperado de https://books.google.com.mx/books?hl=es&lr=&id=fQcXUq9WFC8C&oi=fnd&pg=PA11&dq=parametros+de+las+aguas+residuales&ots=O6czY-_G94&sig=Sg3mDwdEwLb5e1CrwMfkDzLZlwo#v=onepage&q=parametros%20de%20las%20aguas%20residuales&f=false
- Lopera, A. (2010). Manual de operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. Obtenido de <http://sistemamid.com.ar/>
- Lozano Rivas, W.A. (2012). Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales.

- Meoño, F. L., Taranco, C. G., & Olivares, Y. M. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú.
- Ministerio del Ambiente, MINAM. (2011). Compendio de la Legislación Ambiental Peruana. Volumen IV: Aprovechamiento Sostenible de los Recursos Naturales Renovables. Lima, Perú.
- Moeller Chavez, G., Ramirez Gonzales, A., Cardoso Vigueros, L., Tomasini Ortiz, A. C., Mijaylova Nacheva, P., Sandoval Yoal, L., . . . Ortiz Rendón, G. (2011). Tratamiento de aguas residuales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/477720793/tratamiento-de-aguas-residuales-pdf>
- Moyano Vasco, F. A., & Guerrero Laborda, A. D. (2023). Evaluación del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales las Esclusas, línea líquida. Guayaquil, Guayas (Doctoral dissertation, Universidad de Guayaquil-Facultad de Ciencias Matemáticas y Físicas Carrera de Ingeniería Civil).
- Navarro, O. (2004). Representación social del agua y de sus usos Psicología desde el Caribe. Psicología Desde El Caribe.
- Nevado Hernandez, G. L. (2022). Evaluación y estudio de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Cayaltí en el departamento de Lambayeque 2020.
- Núñez, J. (2013). Agua y saneamiento a nivel nacional, alternativas de innovación. Revista de la Cámara Argentina de la construcción, 1–136.
- Ñaupas et al, (2018). Metodología de la investigación cuantitativa-cualitativa y redacción de la tesis. Recuperado de https://edicionesdelau.com/wp-content/uploads/2018/09/Anexos-Metodologia_%C3%91aupas_5aEd.pdf
- OEFA (2014). Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales, OEFA – Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. Recuperado de https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

- Palmett, A. (2020). Métodos inductivos, deductivo y teoría de la pedagogía crítica. *Retrglifos*, 36-42. Obtenido de <https://petroglifosrevistacritica.org/wp-content/uploads/2020/08/D-03-01-05.pdf>
- Paredes Salán, M. C. (2023). Evaluación de la eficiencia y repotenciación de la planta de tratamiento de agua residual del camal municipal del cantón Pelileo (Master's thesis, Ecuador: Latacunga: Universidad Tecnica de Cotopaxi (UTC)).
- Roberto Hernández Sampieri, C. F. (2014). Hernandez, Fernandez y Baptista-*Metodología*.
- Valeriano Mamani, E. (2023). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Yunguyo-Puno, 2022.
- Vega Zalazar, M. (2012) Eficiencia en plantas de tratamiento de aguas residuales.
- Vintimilla Herbas, M. B. (2022). Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales Laureles ubicado en la parroquia Santa Ana del cantón Cuenca.

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes