



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/ día para disminuir la DBO (según la norma técnica N° 003- 2010-MINAM respecto a la DBO)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniera Química

AUTORES

Shirley Rocio ROMERO CABALLERO
Jennifer Carolina ALBORNOZ RUPIRE

ASESOR

Mg. Roberto ROBLES CALDERÓN

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Romero, S. & Albornoz, J. (2023). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/ día para disminuir la DBO (según la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor 1	
Nombres y apellidos	Shirley Rocio Romero Caballero
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	77793236
URL de ORCID	-
Datos de autor 2	
Nombres y apellidos	Jennifer Carolina Albornoz Rupire
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	74711665
URL de ORCID	-
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Roberto Robles Calderón
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06078749
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0002-7077-5085
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Pedro José Romero Y Otiniano
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	15612279
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Fernández Guzmán

Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06690674
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.9. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	Medio Ambiente y Tecnologías Limpias
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	Edificio: Facultad de Química e Ingeniería Química País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Lima Latitud: -12.060861928004034 Longitud: -77.09745932356137
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería química https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.01 Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para La Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del **Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO**; **Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN** (Miembro) y el **Mg. ROBERTO ROBLES CALDERÓN** (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la **TESIS**, titulada "Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/ día para disminuir la DBO (según la norma técnica N°003-2010-MINAM respecto a la DBO)" después de **SUSTENTADA Y APROBADA** la tesis elaborado por la bachiller en Ingeniería Química: **SHIRLEY ROCIO ROMERO CABALLERO**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL** de **INGENIERA QUÍMICA**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

DIECISIETE

(LETRAS)

17

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO

Presidente

Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN

Miembro

Mg. ROBERTO ROBLES CALDERÓN

Asesor

Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE

Director de la E.P. de Ingeniería Química





UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para La Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO; Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN (Miembro) y el Mg. ROBERTO ROBLES CALDERÓN (Asesor); habiendo presentado para tal efecto la TESIS, titulada "Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/ día para disminuir la DBO (según la norma técnica N°003-2010-MINAM respecto a la DBO)" después de SUSTENTADA Y APROBADA la tesis elaborado por la bachiller en Ingeniería Química: JENNIFER CAROLINA ALBORNOZ RUPIRE ; para optar el TÍTULO PROFESIONAL de INGENIERA QUÍMICA, acordaron calificarlo con la NOTA de:

DIECISIETE

(LETRAS)

17

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.

Ing. PEDRO JOSÉ ROMERO Y OTINIANO

Presidente

Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN

Miembro

Mg. ROBERTO ROBLES CALDERÓN

Asesor

Dr. RUBÉN ALFREDO PALOMINO INFANTE

Director de la E.P. de Ingeniería Química





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Roberto Robles Calderón en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000026-2024-D-FQIQ/UNMSM de la Tesis, cuyo título es **“Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/ día para disminuir la DBO (según la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)”**, presentado por las bachilleres en Ingeniería Química Albornoz Rupire Jennifer Carolina y Romero Caballero Shirley Rocio para optar el título Profesional de Ingeniera Química CERTIFICO que se han cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de 13% de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional**. Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor

Roberto Robles

DNI: 06078749

Nombres y apellidos del asesor:

Roberto Robles Calderón



DEDICATORIA

A Dios, por darnos salud y cuidar día a día nuestros caminos.

A nuestros padres, por el apoyo incondicional desde el primer día. Gracias por su incondicional amor y por su sacrificio . Este logro es para ustedes.

AGRADECIMIENTO

Quisiera expresar mi más profundo agradecimiento a nuestro asesor de tesis, el Dr. Roberto Robles Calderon. Su experiencia, atención y paciencia contribuyeron a nuestro camino de la investigación. Su guía constante y su fe incondicional en nuestras habilidades nos han motivado a alcanzar alturas que nunca imaginamos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	10
INTRODUCCIÓN	11
CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	12
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	16
1.2.1 PREGUNTA GENERAL.....	16
1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS	16
1.3 JUSTIFICACIÓN	16
1.3.1 BENEFICIO.....	16
1.3.2 IMPORTANCIA.....	17
1.4 OBJETIVO GENERAL:.....	17
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:	18
1.6 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS GENERAL:	18
1.7 PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:	18
1.8 CONTRIBUCIÓN E IMPACTO.....	18
1.8.1 CONSIDERACIONES ÉTICAS	19
1.9 LIMITACIONES DE ESTUDIO.....	19
CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO.....	20
2.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES.	20

2.2 INVESTIGACIONES NACIONALES.	22
2.3 INVESTIGACIONES LOCALES.....	23
CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....	24
3.1 Aguas residuales domésticas.....	24
3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR).....	24
3.3 Características físicas de las aguas residuales domésticas.....	24
3.3.1 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO).....	24
3.3.2 Demanda Química de oxígeno (DQO)	25
3.3.5 Temperatura	27
3.3.6 Sólidos totales en suspensión.....	27
3.4 NORMA TÉCNICA N° 003-2010-MINAM.....	28
3.4.1 Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales.....	28
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	30
4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	30
4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	30
4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS	30
4.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO	31
4.4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS	31
4.5 POBLACIÓN.....	31
4.5.1 Tamaño	31

4.6 MUESTRA	31
4.7 METODOLOGÍA	32
4.7.1 ANÁLISIS DE LA DBO DE LA MUESTRA	32
4.7.2 DISEÑOS DE LOS EQUIPOS	32
4.7.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN LAS DIFERENTES ETAPAS DEL PROCESO DEL DISEÑO.	33
4.7.4 COSTOS DE LOS EQUIPOS	43
CAPÍTULO 5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	44
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES	46
CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	48
CAPÍTULO 9. ANEXOS.....	53
Anexo 01: Cálculos de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	53
1. Trampa de grasas	53
2. Desbaste.....	54
3. Tanque de Ecualización.....	54
4. Bomba de transferencia	55
5. Medidor de caudal	56
6. Diseño del reactor biológico.....	57
7. Diseño del tanque de sedimentación	64
8. Cámara de contacto de cloro	66

9.	Filtración.....	67
10.	Tanque de maduración de lodos	68
Anexo 02: Análisis de la DBO del agua residual doméstica del distrito de Laramate.		69
Anexo 03: Diseño de los equipos de la PTARD.....		75

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Trampa de grasas y aceite	34
Figura 2. Etapas del proceso de la planta de tratamiento de aguas residuales.....	¡Error!
Marcador no definido.	

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), lugar de análisis de la DBO de la muestra de agua residual.....	69
Ilustración 2. Reactivo de nutrientes . (2a) Nutrient Buffer Pillow BDO concentrado para 300 mL, 50/pk de la marca HACH, (2b) Cápsula del reactivo de nutriente.	70
Ilustración 3. (3a) Medidor multiparamétrico de doble entrada de la marca HACH LDO, con código HQ440d multi, (3b) Medidor de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (3c) Medición de la DBO de la muestra del agua residual doméstico del distrito de Laramate.....	70
Ilustración 4. (4a) Incubadora FOC 225I distribuidor VELP Scientifica. (4b) Verificación de las condiciones en la incubadora.....	71

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Bioquímica De Oxígeno (<i>DQO5</i>)	25
Tabla 2. Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Química De Oxígeno (DQO)	26
Tabla 3. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR	29
Tabla 4. Resumen de los equipos de la PTAR.	39
Tabla 5. Resumen de los costos de los equipos de la PTAR	43

RESUMEN

Las aguas residuales domésticas contienen alto contenido de materia orgánica, su utilización sin tratamiento previo ocasiona problemas en el suelo debido al alto contenido de sales y metales pesados además de la presencia de algunos microorganismos como salmonella spp y coliformes. Estas aguas residuales domésticas son vertidas en el río Grande de Lucanas departamento de Ayacucho, al no recibir ningún tipo de tratamiento afectan las tierras de cultivo, estas aguas se emplean en el proceso de irrigación., afectando también a los animales y las personas que ingieren estas aguas. Por tal motivo el objetivo de esta investigación es diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTARD) de $80 \text{ m}^3/\text{día}$, para disminuir la DBO de 417 mg/L de estas aguas a valores menores de 30 mg/L de tal manera que cumpla con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO. Para lograr este objetivo se va a diseñar la capacidad de los equipos de la (PTARD): la capacidad del reactor biológico, capacidad del tanque de sedimentación, capacidad de la cámara de contacto de cloro, capacidad de filtración, capacidad del tanque de maduración de lodos. La materia prima se va a obtener del distrito de Laramate, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho; el diseño de los equipos se va realizar en la Facultad de Química Ingeniería Química de la UNMSM. La capacidad de los equipos diseñados para la PTARD de $80 \text{ m}^3/\text{día}$ son las siguientes: el volumen del tanque de Ecuilización 50 m^3 , el del reactor biológico 50 m^3 con un tiempo de residencia 23.63 horas, el tanque de sedimentación tiene un área de 2.873 m^2 , cámara de cloración 4 m^3 , tanque de maduración 6 m^3 , volumen de aire $1372.99 \text{ m}^3/\text{hora}$. Con el diseño de estos equipos se logró rebajar el DBO a 15 mg/L , este valor logrado está dentro de las normas técnicas del MINAM con lo que se evitará la contaminación de los recursos hídricos, tierras de cultivo, enfermedades a la población y a los animales que consumen estas aguas. El diseño de la PTARD será beneficioso para el distrito de Laramate ya que estas aguas se podrán utilizar en el regadío de las chacras que son trabajadas por los pobladores de zona.

INTRODUCCIÓN

El agua, como sustancia fundamental, es imprescindible para la existencia humana y desempeña un papel fundamental en las labores domésticas, industriales, ganaderas y agrícolas. Según la UNESCO (2021) el Perú es un país de gran producción agrícola por lo cual las aguas se han ido degradando y sumado el poco interés por tratar las aguas residuales genera un impacto perjudicial en los cuerpos de agua del país .

El crecimiento de este problema se debe a la exposición cada vez mayor de los ecosistemas acuáticos a vertidos de aguas residuales provenientes de áreas domésticas y urbanas. Este proceso afecta el ecosistema, aumentando la probabilidad de enfermedades y empeorando la calidad del agua.

Por lo anterior explicado se decidió realizar el diseño de una PTAR para las aguas residuales del distrito de Laramate ,provincia de Lucanas departamento de Ayacucho , dado que las aguas residuales de hogares en esta zona no reciben tratamiento y son liberadas al río Grande sin un tratamiento adecuado, esto trae como consecuencia la contaminación del río y enfermedades para la población y animales que consumen el agua directamente de este río. En la actualidad, las instalaciones representan la opción más idónea para disminuir los contaminantes que se encuentran en las aguas residuales. La finalidad de este trabajo fue diseñar y dimensionar los equipos de una PTARD con lo cual se ofrece una solución para disminuir la contaminación de este recurso hídrico y las enfermedades causadas a la población y animales de la zona.

CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

De acuerdo a la OEFA, (2014) las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales fueron modificadas por actividades del hombre y por su calidad necesitan un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

La escasez de agua dulce se ha convertido en uno de los desafíos fundamentales a nivel global, ya que su utilización ha aumentado significativamente, superando en más del doble el ritmo de crecimiento de la población en el último siglo, según la ONU, 2005, es decir el consumo mundial de agua se dobla cada 20 años a un ritmo dos veces mayor que el crecimiento humano, solo el 2,5% del agua es agua dulce y consumible por el ser humano (ANA, 2019).

Según las investigaciones del Programa Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) cerca a 1.100 millones de personas alrededor del mundo no cuentan con el servicio de agua potable y 31 países carecen absolutamente de ella y el 30 % de personas en el mundo no cuentan con instalaciones adecuadas de saneamiento (ANA, 2019).

Según cifras de la Organización Mundial de la Salud (OMS), (2020) el 45% de las aguas residuales domésticas generadas en el mundo se vertieron sin aplicar un tratamiento seguro además el 10% de la población mundial ingiere alimentos regados con aguas residuales sin tratar y que el 32 % de la población mundial no cuenta con acceso a servicios saneamiento básico generando. (OMS, 2022).

La baja calidad del agua contribuye a la escasez de este recurso. Esto es importante en el manejo de los recursos hídricos, el cual no se le da la importancia del caso. La mala calidad del agua debido a la falta de tratamiento genera consecuencias para la salud y medio ambiente. La contaminación del agua se ha convertido en uno de los principales problemas para la disponibilidad y reúso del agua dulce (UNESCO, 2021).

Las enfermedades que son consecuencias del saneamiento y tratamiento de aguas residuales son frecuentes en los países donde la cobertura de estos servicios es baja (OMS, 2014). En el 2012, ocurrieron 842 000 muertes en países de ingresos medios y bajos causadas por, agua potable contaminada, instalaciones para el lavado de manos y servicios de saneamiento inadecuados (OMS, 2014). La gestión inadecuada de las aguas residuales también tiene un impacto directo en los ecosistemas (Corcoran et al., 2010).

El proceso de eutrofización, impulsado por un exceso de nitrógeno y fósforo, puede dar lugar a la proliferación de algas que pueden ser potencialmente tóxicas, además de reducir la biodiversidad. La descarga de aguas residuales en mares y océanos es una de las razones detrás del crecimiento de zonas muertas sin oxígeno (ONU, 2019). Corcoran et al., (2010) señalan que estas consecuencias repercuten en la industria pesquera, los medios de vida y las cadenas alimenticias.

La liberación de aguas residuales urbanas proviene de hogares, instalaciones públicas y el flujo de agua de lluvia que se recoge en sistemas de drenaje urbano. Estos vertidos contienen diversos contaminantes principales, como nitrógeno, fósforo, compuestos orgánicos, bacterias fecales coliformes, materia orgánica, entre otros, según señalan Jiménez y colaboradores en 2010.

De manera básica, una PTAR elimina sólidos, reduce la materia orgánica y los contaminantes, y restablece el contenido de oxígeno en el agua, según Belzona en 2010. Sin embargo, las plantas de tratamiento existentes emplean tecnologías contaminantes las cuales consumen una gran cantidad de energía y esto produce residuos tóxicos como consecuencia de su funcionamiento. Para avanzar hacia una infraestructura urbana sostenible, es fundamental considerar alternativas tecnológicas que logren la reutilización de los recursos hídricos o su retorno al ambiente con una calidad adecuada, según señala Ramón en 2010.

El proceso de reducción de materia orgánica y contaminantes se lleva a cabo mediante el empleo de bacterias beneficiosas y otros microorganismos, los cuales se utilizan para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Posteriormente, estas bacterias y microorganismos son separados del agua. Restaurar los niveles de oxígeno es crucial, ya que el agua debe contener una cantidad suficiente para mantener la vida, como menciona Belzona en 2010.

En naciones desarrolladas, tienen los medios para tratar alrededor del 70 % de sus aguas residuales. Sin embargo, este porcentaje se reduce significativamente, alcanzando el 38 % en países con ingresos medio-altos y disminuyendo aún más al 28 % en aquellos con ingresos medio-bajos. En el caso de los países en vías de desarrollo, la situación es aún más preocupante, con aproximadamente el 8 % de las aguas residuales municipales e industriales siendo tratadas. Esta disparidad agrava las condiciones de vida de quienes tienen menos recursos, ya que se ven directamente afectados por la falta de tratamiento de aguas residuales debido a la carencia de servicios básicos de saneamiento, según lo expuesto por Lizana-Yarlequé en 2018.

Estos datos respaldan la evaluación efectuada por la ONU para la Alimentación y la Agricultura (FAO), la cual indica que probablemente más del 80 % del volumen total de aguas residuales se descarga al entorno sin recibir el tratamiento necesario.

En Perú, la cobertura de tratamiento de aguas residuales ha sido limitada, aunque ha experimentado mejoras notables entre 2013 y 2015. En el ámbito urbano, la cobertura nominal de tratamiento de aguas residuales abarcaba alrededor del 70% de la población urbana atendida para fines de 2015 por las 50 Entidades Prestadoras de Servicios, incluyendo a SEDAPAL. Sin embargo, excluyendo a SEDAPAL, esta cobertura disminuye al 44%. Aumentar esta cobertura en el futuro representará un desafío aún mayor y más costoso para Perú, ya que requerirá la construcción de un gran número de PTARD de menor escala para satisfacer las necesidades de ciudades medianas y pequeñas.

En Bolivia firmaron un acuerdo interinstitucional para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas denominada “Stard”, a través de la entrega del proyecto piloto en la urbanización Las Magnolias II. El objetivo de este acuerdo es que se logre descentralizar las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas con la implementación de una nueva técnica que permitirá reducir la carga de contaminantes que llega al río Maylanco con este sistema piloto en el Municipio de Sacaba (Tiempos, 2023).

La planta de tratamiento que se va diseñar en este proyecto de investigación estará ubicada el distrito Laramate provincia de Lucanas departamento de Ayacucho estas aguas residuales domésticas son recolectadas por medio de las tuberías del desagüe y almacenado en un tanque para luego ser vertido al río más cercano sin ningún tipo de tratamiento. Este proceso afecta a los cultivos de la población, ya que se usa el agua de este río para su riego; también pone en peligro la salud de los pobladores porque muchos de ellos ingieren agua de

este río. Todo esto se traduce en una fuerte contaminación ambiental en el lugar mencionado que debe ser considerado para aplicar las medidas de contingencia correspondientes.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 PREGUNTA GENERAL

¿Cuál es el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales de 80 m³/día para disminuir la DBO (según la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)?

1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS

¿Cuál es la capacidad de los equipos de una planta de tratamiento de aguas residuales de 80 m³/día para disminuir la DBO (según la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)?

¿Cuál es la capacidad del biorreactor para disminuir el contenido de DBO de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/día (según la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 BENEFICIO

El presente trabajo beneficia directamente a salud de la población, evita la contaminación ambiental y las fuentes hídricas; Puede contribuir significativamente a la educación local del área mediante visitas de campo que aborden el proceso de tratamiento, similar a las iniciativas llevadas a cabo por SEDAPAL desde 2015 a través del Programa de

Educación Sanitaria y Ambiental. Este programa se dedica a recibir a estudiantes de diversas instituciones educativas que visitan las instalaciones del COP - La Atarjea con el propósito de aprender sobre el proceso de purificación del agua superficial del río Rímac y mejorar sus hábitos en cuanto al uso responsable del agua.

1.3.2 IMPORTANCIA

El agua es un recurso fundamental para la vida. Gran parte de las aguas residuales domésticas se vierten a los mares, ríos o lagos sin un previo tratamiento contaminándolos con metales pesados, disolventes, detergentes, ácidos pesticidas y otros productos químicos y esto afecta a la flora, la fauna y a los humanos. Por esta razón, estas aguas antes de ser vertidas en los lugares antes mencionados tienen que recibir un adecuado tratamiento para que no generen problemas de ambientales.

La importancia de la investigación es que con el tratamiento de las aguas servidas de la zona se disminuirían los problemas mencionados anteriormente, contribuyendo con la sostenibilidad del ecosistema.

1.4 OBJETIVO GENERAL:

- Diseñar los equipos de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/día para reducir la DBO (que cumpla con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO).

1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Determinar la capacidad de los equipos de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/día para disminuir la DBO (que cumpla con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)
- Determinar la capacidad del biorreactor para reducir el DBO de una planta de aguas residuales domésticas de 80 m³/día (que cumpla la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO)

1.6 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS GENERAL:

- El diseño de los equipos de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80m³/día reducirá el DBO a valores menores de 30 mg/L (que cumpla con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO).

1.7 PLANTEAMIENTO DE LAS HIPÓTESIS ESPECÍFICAS:

- La capacidad de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de 80 m³/día permitirá reducir la DBO a un valor menor de 30 mg/L cumpliendo con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO.
- La capacidad del biorreactor permitirá reducir el DBO a un valor menor de 30 mg/L cumpliendo con la norma técnica N° 003-2010-MINAM respecto a la DBO.

1.8 CONTRIBUCIÓN E IMPACTO

Con el desarrollo del diseño de la planta de tratamiento del agua residual doméstica en Laramate, se espera la reducción de DBO en alrededor de 15 mg/L de con el objetivo de que

las aguas residuales tratadas en esta planta cumpla con la norma técnica N° 003-2010-MINAM y se pueda usar para el regadío del distrito de Laramate beneficiando a mediano plazo a los pobladores de dicho distrito, mejorando la calidad del agua usada en los regadíos con ello disminuyendo a largo plazo enfermedades causadas por contaminación de alimentos ya que sus cultivos no se verán afectados con el uso de este agua tratada.

1.8.1 CONSIDERACIONES ÉTICAS

Esta propuesta de diseño tiene como objetivo cumplir la norma técnica N° 003-2010-MINAM, evitando la contaminación del río Grande, las tierras de cultivo y el consumo de aguas no tratadas por la población del distrito de Laramate, departamento de Ayacucho.

1.9 LIMITACIONES DE ESTUDIO

La principal limitación en el trabajo realizado fue la no accesibilidad de equipos sofisticados de laboratorio para los análisis de la calidad del agua, por ejemplo el Medidor portátil multiparámetro HI 98194 que tiene la capacidad de monitorear hasta 12 parámetros de calidad del agua, que permite la medición de parámetros como pH, ORP, conductividad, OD y temperatura; el cual sería útil en el desarrollo de la tesis presentada.

CAPÍTULO II. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA DE ESTUDIO

2.1 INVESTIGACIONES INTERNACIONALES.

En el artículo de investigación de Chen, P. ; Qu, L. ; Tong, G. & Ni, J. (2011), estudiaron la mejora de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas de baja concentración, se instaló un filtro aireado biológico de microorganismos inmovilizados (I-BAF) para la eliminación simultánea de carbono, nitrógeno y fósforo. El rendimiento del I-BAF se evaluó sistemáticamente en modos de aireación continua e intermitente. En condiciones óptimas con un programa de control de aireación intermitente de 2 h encendido/1 h apagado, las tasas máximas de eliminación de DQO, $\text{NH}_4 + \text{-N}$, TN y P fueron 82,54 %, 94,83 %, 51,85 % y 61,49 %, respectivamente. y los efluentes promedio correspondientes podrían cumplir con los estándares de primera clase de China. Un análisis más detallado del perfil PCR-DGGE reveló que los miembros de las proteobacterias gamma y alfa. El sistema I-BAF mostró un rendimiento excelente en la eliminación de carbono y nutrientes, lo que proporcionó una solución rentable para el tratamiento de aguas residuales domésticas de baja concentración.

La investigación presentada en la tesis de Vilela (2014) se centró en desarrollar un sistema de tratamiento de aguas residuales destinado al municipio de San Juan Chamelco. Se llevó a cabo un análisis fisicoquímico y microbiológico del agua residual, tomando muestras en el punto de salida de la red de alcantarillado. El método utilizado permitió calcular la cantidad de contaminantes presente en el agua residual y, basándose en estos resultados, seleccionar la opción más eficiente para el sistema de tratamiento. En consecuencia, se decidió emplear un sistema que consta de varios componentes, como un canal de entrada con rejillas y un desvío, un separador de arena, un medidor de flujo tipo Parshall, un separador de

grasas. Además, se incluyen los planos detallados para cada unidad de tratamiento. Este sistema diseñado garantiza el cumplimiento de los límites de eliminación de contaminantes establecidos por el Acuerdo Gubernativo 236-2006, que regula las descargas y el reuso de aguas residuales, así como la disposición de lodos.

El objetivo del trabajo de investigación de Ruggiero y Guevara (2020) fue mitigar los impactos antropogénicos generados por comunidades reducidas (50 habitantes), ya que los vertidos de estas poblaciones pueden afectar las fuentes de aguas superficiales y la salud de sus residentes. El propósito de la investigación fue idear un prototipo compacto y portátil de fácil instalación, diseñado específicamente para comunidades de hasta 50 habitantes. La meta del diseño de este prototipo es proporcionar soluciones prácticas que los usuarios puedan aplicar con facilidad, siendo accesibles desde el punto de vista económico y sostenibles en términos energéticos. Considerando que la población estimada en este proyecto es de 50 personas y que el prototipo se enfoca únicamente en las aguas domésticas, se calculó el caudal de diseño. Con el caudal de diseño establecido, se llevaron a cabo los cálculos necesarios para el diseño de una PTARD, compacta.

Conde Anzola, Vega Godoy, y Pinilla Herrera (2021) desarrollaron un manual dirigido al diseño de infraestructuras para el tratamiento de aguas residuales, abarcando diferentes fases y métodos de tratamiento para purificar aguas residuales en contextos urbanos y rurales. La elección de los procesos de purificación se llevó a cabo mediante un análisis detallado de las eficiencias de eliminación en cada etapa, con el objetivo de asegurar el cumplimiento de la normativa actual en la región de Cundinamarca, específicamente la Resolución 631 del 2015. Dicha resolución establece los parámetros y valores límites máximos permisibles para los vertimientos puntuales en cuerpos de agua superficiales y en sistemas de alcantarillado público, además de dictar otras disposiciones.

2.2 INVESTIGACIONES NACIONALES.

La tesis realizada por Alfaro y Nina (2022) se realizó con el propósito de diseñar una PTARD, para satisfacer las necesidades de una población de 450 habitantes. El diseño se sustenta en las regulaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), en particular en la Norma Técnica O.S 090 sobre PTAR. Los criterios primordiales para el diseño se basan en el caudal y la duración estimada de uso, organizándose en unidades de tratamiento. Teniendo una configuración resulta especialmente apropiada para comunidades con una población menor a 5000 habitantes.

En el trabajo de Medina Loredo y Micha Ortiz (2014) se plantea la concepción de un diseño de una PTARD para la ciudad de Cajamarca, empleando el sistema Air Lift MBR. La situación actual se caracteriza por la ausencia de tratamiento de las aguas residuales, ya que la capacidad existente no permite abordar la totalidad de las aguas servidas. En la actualidad, se está operando con un flujo de agua de 45 litros por segundo (aproximadamente 644,800 litros por día), donde una parte se dirige hacia las lagunas y alrededor de 133 litros por segundo se descargan al río Maschcón, lo que contribuye a la contaminación del agua y del entorno ambiental. El efluente obtenido alcanza una calidad excelente. La implementación de este sistema posibilita la reutilización del agua, al tiempo que previene la contaminación directa del río.

En la tesis de Coronel Hidalgo y Cueva Gadea (2020) se optó por la utilización de lodos activados en la planta de tratamiento, dado que se trata de una tecnología económica que requiere una superficie geográfica reducida. Se diseñó un tanque elevado de 18 metros de altura destinado para la distribución de agua para riego.

2.3 INVESTIGACIONES LOCALES.

En la tesis de Silva (2020), se diseñó de una PTAR utilizando métodos empíricos y el software BioWin 5.0. Para elegir las tecnologías adecuadas, emplearon un Análisis de Decisión Multicriterio (MCDA), otorgando prioridad al aspecto técnico. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, cumpliendo con los límites establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM. El tratamiento secundario comprendió reactores anaerobios de flujo ascendente y filtros percoladores, lo que podría alcanzar remociones de materia orgánica cercanas al 100%. Por ende, esta configuración podría ser considerada como una alternativa factible para implementar una planta en Los Olivos.

La tesis presentada por Manotupa, L. y Muriel, J. (2018), tiene por finalidad elaborar una guía para orientar la adecuada selección de la tecnología de tratamiento en proyectos sostenibles de PTAR ubicados en zonas de expansión urbana o en crecimiento, así como en áreas con una población inferior a 5000 habitantes. El propósito de esta guía es facilitar el análisis y comprensión de las diferentes etapas del proceso, con el objetivo de simplificar la elección de una tecnología apropiada que cumpla con la normativa vigente, específicamente la O.S.090 para PTAR en el Perú.

En el trabajo de investigación de Santillan M. (2021), tiene con el objetivo realizar un tratamiento piloto para las aguas residuales clasificadas como Categoría en el distrito Puente Piedra, Lima, mediante la instalación de un biofiltro. Con este fin se usó de 20 litros de agua residual, se implementó un sistema de biofiltración. Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, logrando la eliminación de casi el total de coliformes termotolerantes, SST, DBO en 5 días y de turbidez. Estos resultados indican que el biofiltro demostró ser eficaz superando el 80% de remoción de contaminantes, y cumpliendo con las regulaciones establecidas por el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para Aguas de Categoría 3.

CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO

3.1 Aguas residuales domésticas

Las aguas residuales domesticas tienenn una composicion la cual estan expuestas a variaciones constantes , reflejando la variedad de contaminantes provenientes de diversas fuentes como hogares, industrias, comercios e instituciones. Por lo general, las aguas residuales domésticas suelen tener menos presencia de sustancias peligrosas,pero incluso en concentraciones bajas pueden tener efectos a largo plazo. El rápido crecimiento urbano plantea diversos desafíos, entre ellos, un significativo aumento en la generación de aguas residuales municipales (UNESCO, 2017).

3.2 Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales domésticas o municipales.

3.3 Características de las aguas residuales domésticas

3.3.1 Demanda Bioquímica de oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) es una técnica analítica ampliamente empleada para determinar la concentración de materia orgánica en las aguas residuales. Esta medida se fundamental en la cantidad de oxígeno consumido por microorganismos durante el proceso de oxidación de la materia orgánica. El ensayo se lleva a cabo a lo largo de cinco días, periodo durante el cual la muestra se incuba de manera hermética. Los resultados de la

prueba expresan la relación entre la cantidad de oxígeno disuelto a los 5 días (DBO5).

Cuando se deba considerar la demanda de oxígeno debida a la presencia de nitrógeno entonces es necesario conocer sus cantidades y tener certeza de las metas ambientales locales asociadas a la legislación (Monedero, 2016).

Tabla 1.

Clasificación de la calidad del agua en función a la Demanda Bioquímica De Oxígeno

DBO	Criterio	Descripción
$\leq$ a 3 mg/L	Excelente	Sin contaminación
$>$ a 3 mg/L y $\leq$ a 6 mg/L	Buena calidad	Mínimo contenido de materia orgánica biodegradable.
$>$ de 6 mg/L y $\leq$ a 30 mg/L	Aceptable	Propenso a contaminación. Con capacidad de autodepuración.
$>$ de 30 mg/L y $\leq$ a 120 mg/L	Contaminada	Aguas con descargas de aguas residuales crudas de origen municipal.
$>$ de 120 mg/L	Muy contaminadas	Aguas con fuerte impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Fuente: Oscar Sanchez, M. H. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología.

3.3.2 Demanda Química de oxígeno (DQO)

Se refiere a la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer tanto la materia orgánica como la inorgánica. Esta medida se utiliza para estimar la cantidad global de contaminantes orgánicos en las aguas residuales. La interpretación de los valores de DQO5 se puede realizar utilizando la información disponible en la tabla 2 (Ramalho, 1996).

Tabla 2.

Escala de la clasificación de la calidad del agua, con base en la Demanda Química De Oxígeno (DQO)

DQO	Criterio	Descripción
$\leq$ a 10 mg/L	Excelente	Sin contaminación
$>$ a 10 mg/L y $\leq$ a 20 mg/L	Buena calidad	Mínimo contenido de materia orgánica biodegradable.
$>$ de 20 mg/L y $\leq$ a 40 mg/L	Aceptable	Propenso a contaminación. Con capacidad de autodepuración.
$>$ de 40 mg/L y $\leq$ a 200 mg/L	Contaminada	Aguas con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal.
$>$ de 200 mg/L	Muy contaminada	Aguas con alto impacto de descargas de aguas residuales crudas municipales y no municipales.

Nota. Adaptado de Oscar Sanchez, M. H. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología.

3.3.4 Potencial de hidrógeno (pH)

El pH indica la acidez o alcalinidad de una solución, refleja el equilibrio entre los iones de hidrógeno y los iones hidroxilo en el agua. Los valores de pH se encuentran en una escala de 0 a 14, siendo 7 considerado neutro. Oscar Snchez indica que un rango de pH de 6.0 a 9.0 se considera protector para la vida acuática. El impacto ambiental más notable del pH involucra a efectos sinérgicos, que resultan de la combinación de dos o más sustancias generando efectos mayores que la simple suma de sus partes. El pH del agua desempeña un papel importante en la determinación de posibles efectos tóxicos de estas sustancias, si los hubiera (Oscar Sanchez, 2007).

3.3.5 Temperatura

La temperatura del agua residual es más elevada que la del agua destinada al consumo principalmente por la adición de agua caliente procedente de usos domésticos e industriales (Arribas, 2007), este aspecto es crucial para el tratamiento porque muchos procesos biológicos son dependientes de la temperatura. Además de acuerdo a Mora la temperatura es fundamental para el adecuado desarrollo de la actividad bacteriana, que se encuentra en su rango óptimo entre los 25°C y 35°C. Aproximadamente a los 50°C, tanto la digestión aerobia como la nitrificación bacteriana cesan, mientras que, por debajo de los 5°C, la actividad microbiana se inhibe. La temperatura se mide utilizando termómetros (Delgadillo et al., 2010).

3.3.6 Sólidos totales en suspensión

Las actividades domésticas, agrícolas e industriales, además de algunas ocurrencias naturales, son fuentes importantes de aporte de sólidos en suspensión de las aguas residuales, Delgadillo y otros autores mencionan que la parte de sólidos que queda retenida por un filtro de membrana con un tamaño de poro de 1.2 micras, son los denominados “sólidos en suspensión” (Delgadillo et al., 2010) .

3.3.7 Aceites y grasas

Estos materiales representan el tercer grupo más relevante en las aguas residuales. El término "grasa" engloba sebo, aceites, ceras y otros componentes que pueden ser identificados mediante la extracción con triclorotrifluoroetano. Estos contaminantes orgánicos son particularmente resistentes a la descomposición bacteriana. Su presencia en el agua suele ser resultado de actividades humanas y conlleva grandes desafíos en sistemas

tratamiento. Además, afecta la actividad biológica en aguas superficiales al mantenerse flotando junto a residuos sólidos que obstruyen el intercambio de gases en la superficie del agua (Ramos Olmos, et al., 2003).

3.3.8 Coliformes Termotolerantes

Dentro de la familia de los coliformes, existe un conjunto conocido como coliformes termotolerantes, donde *Escherichia coli* es una de las variantes. Existen otros tipos de coliformes termotolerantes que pueden hallarse en aguas enriquecidas con materia orgánica, como los efluentes industriales o provenientes de la descomposición de materiales vegetales en el suelo. Según las directrices de la OMS, se prohíbe la presencia de patógenos como coliformes termotolerantes en muestras de agua destinada al consumo humano (Gianoli et al., 2018).

3.4 NORMA TÉCNICA N° 003-2010-MINAM

3.4.1 Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de Plantas de Tratamiento Residuales Domésticas o Municipales.

Se refiere a la evaluación de la concentración o nivel de componentes, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos que definen una emisión, cuyo sobrepaso puede resultar en daños para la salud, el bienestar humano y el entorno. El cumplimiento de estos estándares es requerido legalmente por el MINAM y las entidades integrantes del Sistema de Gestión Ambiental (Peruano, Normas legales, 2010).

Tabla 3.*Límites máximos permisibles (LMP) para los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de aguas.
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5 - 8.5
Sólidos totales en suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	< 35

Nota. De Normas Legal, (El peruano, 2010).

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación realizada es de tipo aplicada, de nivel explicativo, ya que, a partir de los datos recolectados del análisis del agua residual, se pretende diseñar los equipos de la PTARD cuyas características cumpla con la reducción del DBO, para así determinar la instalación de la planta y disminuir la DBO para estar dentro de la norma técnica N° 003-2010-MINAM.

4.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño del trabajo es **no experimental** ya que no se manipulan de manera deliberada las variables observando exclusivamente los fenómenos en su entorno natural para su análisis, de acuerdo a Roberto Hernández-Sampieri (2017) , por el número de momentos en los cuales se recolectan datos se clasifica como **transeccional**, debido a que la recolección de datos es un solo momento y lugar específico; es de alcance **exploratorio** ya que tiene como propósito estudiar en un momento específico.

4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTACIÓN DE RECOLECCIÓN DE DATOS

Las técnicas de recolección de datos a emplear son información referida a patentes y a la base de datos (libros, artículos científicos tesis de maestría doctorado, normas técnicas) así como, equipos de laboratorio para la obtención de datos del análisis de la DBO y para obtener datos de equipos para el diseño de una PTARD. Para procesar los datos se hará uso de

software informático (Excel, Word) y para tener la noción del diseño se usará un software de simulación AutoCAD.

4.4 DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ESTUDIO

4.4.1 UNIDAD DE ANÁLISIS

Son las aguas residuales domésticas del área urbana de Laramate, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho, por lo que en este trabajo se contempla una medida de mitigación ambiental.

4.5 POBLACIÓN

Se refiere al agua residual proveniente de los hogares de alrededor de 1700 residentes de Laramate, situado en la Lucanas, departamento de Ayacucho.

4.5.1 Tamaño

El tamaño de la muestra es de 80 m³/día.

4.6 MUESTRA

La muestra del presente estudio es el agua residual doméstica ubicada en Laramate, provincia de Lucanas, departamento de Ayacucho. Las características de estas aguas presentan un alto nivel de contenido de DBO de 417 mg/L, cuyo parámetro importante no se encuentran dentro del rango establecido por la norma técnica N° 003-2010-MINAM.

4.7 METODOLOGÍA

El diseño de los equipos de la PTARD se realizó de la siguiente manera: primero se determinó la DBO de estas aguas y de acuerdo a estos valores se diseñó y determinó la capacidad de los equipos para reducir la DBO a un valor menor a 30 mg/L, la cual cumple con la norma técnica N°003-2010-MINAM respecto a la DBO.

4.7.1 ANÁLISIS DE LA DBO DEL AGUA RESIDUAL

El agua residual doméstica del distrito de Laramate se analizó en el laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la UNI, el procedimiento del análisis de la DBO se realizó de la siguiente manera: se agrega a 300 ml de agua destilada una cápsula de 0.5 ml de nutrientes BOD Nutrient Buffer Pillows, concentrado (50/pk de la marca HACH) y se deja que se active durante un tiempo hasta que la concentración llegue a 8.70 ppm, la cual sirve como nutrientes de las bacterias; el nutriente reproducido se agrega a 600 ml de la muestra, se agita hasta homogeneizar y se vierte a una botella de 750 ml, para que impida que entre la luz e interfiera con el proceso de las bacterias luego se lleva a una incubadora FOC 225I distribuido por VELP Scientifica, por un periodo de 5 días a la temperatura de 20 °C; por último, pasado ese periodo de tiempo se midió la DBO en el Medidor multiparamétrico de doble entrada de la marca HACH LDO, con código HQ440d multi y se obtuvo una DBO de 417 mg/L. Ver las fotos en el anexo 1.

4.7.2 DISEÑOS DE LOS EQUIPOS

Se consideraron diversos equipos en las distintas etapas de la PTARD. El objetivo principal era desarrollar una propuesta que contribuyera al logro de los objetivos establecidos para el funcionamiento eficiente de la planta. Para dimensionar la PTARD en el distrito de

Laramate, se evaluaron sistemas de depuración que fueran más apropiados para las condiciones climáticas del lugar donde se implementaría. El diseño propuesto en esta investigación se fundamenta en la disminución del valor de la DBO a valores de 30 mg/L, de acuerdo con la norma técnica N° 003-2010-MINAM. Para alcanzar este objetivo de DBO, se realizaron ajustes mínimos considerando aspectos técnicos y las características específicas del lugar, guiándose por la Norma OS. 090. En el anexo 3 se muestra los planos de la PTARD.

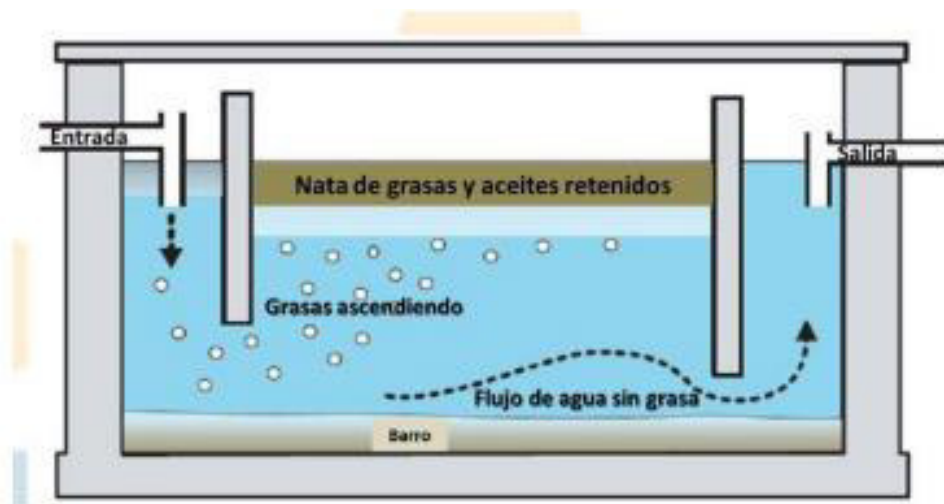
4.7.3 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS EN EL DISEÑO DE UNA PTARD

4.7.3.1 Desbaste y Retiro de grasas.

En la fase de pretratamiento, se lleva a cabo la operación de desbaste con el fin de disminuir la presencia de sólidos en suspensión de diversos tamaños. Las herramientas comúnmente empleadas para esta operación son las rejillas, a través de las cuales se conduce el paso del agua. La separación de sólidos en suspensión varía según las dimensiones y aberturas de las rejillas utilizadas, pudiendo lograrse la eliminación de un porcentaje que oscila entre el 5% y el 25%. (Fondo Nacional del Ambiente, 2010)

Según lo mencion Ubalde Vras “en el retiro de las grasas generalmente se utilizan tanques en los que el agua residual tiene una permanencia corta, y permite el flote de partículas menos densas que el agua, llevándolas a la superficie” (Ubalde Vras, 2021). Ver Figura 1.

Figura 1. Trampa de grasas y aceite



Fuente: Lozano, Rivas W.A. (2012)

4.7.3. 1.2 Trampa de grasa.

Se trata de una estructura cilíndrica con una tapa y dos aberturas, una de entrada y otra de salida, equipada con dos placas o cortinas para dirigir los flujos. Busca atrapar las grasas y jabones que se encuentran en el agua para prevenir que obstruyan la zona de absorción, garantizando así que esta área pueda cumplir su labor de absorber el líquido procedente del tanque séptico (Morales, 2000). En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.3 Ecualización.

Conocida como homogenización, se trata de reducir las variaciones de flujo constante o casi constante mediante la regularización a través de la laminación. Tal como lo indica Metcalf y Eddy “Esta técnica puede ser utilizada en situaciones diversas” (Metcalf y Eddy, 1995, p.233), Es decir, las aguas residuales que pasan por la cámara de rejillas son direccionadas a un tanque a efectos de almacenar regularmente el agua residual generado,

homogeneizar el agua residual y mantener un caudal fijo en las operaciones posteriores (Campomanes, 2019, p. 21) .

4.7.3.3.1 Tanque de ecualización:

Navarro señala que este tanque cumple 2 funciones principalmente: una es homogeneizar todas las corrientes y la segunda es la de regular el caudal teniendo el reservorio en permanente recepción de efluentes (Navarro et al., 1999). En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.5 Biodigestión

Segun PRODUCE (2018) el proceso biológico aerobio se caracteriza por la eliminación de la materia orgánica biodegradable y esto se da por la reducción de la DBO, la conversión de la materia orgánica que se encuentra disuelta en el agua residual en sólidos sedimentables en forma de flóculos , la estabilización de la materia orgánica y la hidrólisis de los compuestos orgánicos solubles no biodegradables, expresado en términos de DQO. Cuando se emplea un biodigestor con fines sanitarios, trata eficazmente las aguas residuales. Sin embargo, en algunos países como México, se utilizan métodos como lodos activados, lagunas aireadas y filtros percoladores, los cuales son procesos aeróbicos que demandan grandes cantidades de energía para el suministro de aire. Además, las lagunas de tratamiento requieren de espacios extensos. Por eso, un biodigestor que funciona en condiciones anaeróbicas se muestra como una opción beneficiosa y rentable para el entorno, ya que no requiere oxígeno, lo que resulta en la disminución de gastos (Rivero, 2012).

4.7.3.5.1 Reactor biológico:

El reactor biológico es donde los microorganismos se mantienen suspendidos en contacto con el aire circundante y de los residuos que comienzan a tratarse (Quispe Pérez & Del Valle González, 2020). Dentro del reactor biológico, se implementa una dinámica de desarrollo de microorganismos y descomposición de la materia orgánica bajo un flujo hidráulico turbulento que asegura la óptima transferencia de oxígeno mediante una prolongada aireación y la circulación de lodos en suspensión, de tal manera que, la actividad microbiana se mantiene siempre dinámica, consumiendo sustrato y oxígeno. El oxígeno se suministra mediante un soplador de lóbulos que descarga aire a través de difusores de microburbujas, dispuestos en el reactor. El efluente tratado se vierte por rebose a un sedimentador aguas abajo. En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.7 Sedimentación

El proceso de sedimentación es utilizado para la clarificación de aguas residuales para separar los sólidos en suspensión mediante fuerzas gravitacionales. Según Martínez y Miriam (2005) en una PTAR utilizando lodos activados, se utiliza la sedimentación para separar la biomasa generada en el reactor durante la degradación de los contaminantes del agua residual con el fin de dejarla libre de sólidos suspendidos.

4.7.3.7.1 Cámara de sedimentación

La cámara de sedimentación es donde se acumula el fango descomponiéndose parcialmente por medio de bacterias anaerobias, de acuerdo a Erazo y Ruíz (2000) cada cierto tiempo se debe extraer parte del lodo para evitar saturación de la cámara y ser purgado

periódicamente para controlar manteniendo el proceso en equilibrio dinámico. En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.8 Precipitación química

La precipitación química implica la adición controlada de productos químicos al agua residual, provocando cambios en el estado físico de los sólidos disueltos o suspendidos para lograr su eliminación mediante la sedimentación. A veces, este método puede ser el principal en tratamientos de aguas residuales, mientras que en otros casos puede complementar el proceso de sedimentación, especialmente cuando contiene una alta concentración de sólidos disueltos (Sans Fonfría y Ribas, 1989).

4.7.3.8.1 Precipitador químico

Tiene por función principal eliminar el fósforo a través del proceso de precipitación química mediante la adición de cal para formar sales insolubles de fosfatos cálcicos. La reacción se facilita con la regulación del pH entre 8.5 – 9.0. La adición de sulfato de alúmina permite flocular las sales cálcicas formadas. Según lo menciona Dominik la acción conjunta mejora la precipitación y reducción de coloides causantes de la DBO y DQO consecuentemente el nitrógeno amoniacal (Dominik Wanak, 2017). En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.9 Desinfección

El sistema de desinfección en el tratamiento de aguas residuales garantiza la eliminación de microorganismos capaces de producir enfermedades a través de la acción de cloro

(Rodríguez, 2014). Por ello se utiliza una cámara para asegurar el contacto continuo y total del cloro con el agua tratada.

4.7.3.9.1 Cámara Cloración-Decloración

La cámara de cloración-decloración es una estructura de concreto armado que recibe las aguas filtradas. En su interior, la cámara de cloración-decloración alberga un dosificador y un eliminador de cloro, cada uno equipado con dos tubos ranurados. Estos tubos sirven para la inserción de tabletas cloradoras y tabletas decloradoras (Aguamarket, sf).

A medida que el efluente de la PTAR pasa por la cámara de contacto, las tabletas se disuelven de manera gradual, esparciendo cloro activo o sulfito de sodio en el líquido. Cuando el flujo incrementa, el nivel del líquido en los tubos se eleva y más tabletas entran en contacto con él. En caso de que el flujo disminuya, el nivel del líquido desciende, y menos tabletas quedan sumergidas. De esta manera, la dosificación de cloro o sulfito de sodio se realiza de manera automática, ya que está en proporción con el flujo de entrada y salida según la Estrategia de Promoción, prevención y Articulación (EPPA, 1999). En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

4.7.3.10 Filtración

Este proceso se aplica para el tratamiento de aguas con el fin de eliminar diferentes elementos, como los sólidos presentes en aguas superficiales, residuos de la descalcificación con cal, así como residuos de hierro y manganeso comunes en suministros de agua subterránea. La filtración es para eliminar el material biológico acumulado en el efluente tratado, residuos generados al eliminar fosfatos, y los sólidos remanentes después de la

coagulación química en procesos físico-químicos o tratamientos posteriores de las aguas residuales.

4.7.3.10.1 Filtro

Para garantizar que el agua quede libre de partículas en suspensión se instala un filtro rápido de cuarzo con retención de 20 micrones, que también retiene los huevos de helmintos. En el Anexo 01 se indica el diseño del equipo.

En la Tabla 4. se indica el resumen de los equipos diseñados para la PTARD de Laramate.

Tabla 4.

Resumen de los equipos de la PTAR.

Equipos	Dimensiones
Trampa de grasas	
Volumen	1m ³
Relación largo/ancho	1.5
Altura mínima	0.3 m
Cámara de rejillas	
Espesor	0.5 cm
Ancho	3.0 cm
Separación	2.0 cm
Tanque de ecualización	
Volumen	50 m ³
Bomba de transferencia	
Caudal de potencia	55.55 L/min
Carga dinámica total	30 m.c.a

Rendimiento	0.6
Energía requerida	1 HP
Medidor de caudal	
Vertedero(altura de descarga)	1 cm
Reactor biológico	
DBO soluble en el efluente	0.71 mg/L
Volumen del reactor	80 m ³
Tiempo de residencia hidráulica	23.63 horas
Relación de recirculación	0.9453
Producción de fango como sólidos suspendidos totales	0.303 Kg SST/hora
Purga de fango a partir del reactor	0.0547 m ³ /hora
Purga de fango a partir de la línea de recirculación	0.04675 m ³ /hora
Requerimiento de oxígeno	38.224 Kg/día
Volumen de aire	1372.99 m ³ /hora
Carga Másica	0.0846 kg de DBO/kg de SSVTA día
Carga Volumétrica	0.41 K. de DBO/m ³ día
Edad de lodos	60 días
Tanque de sedimentación	
Área superficial	2.873 m ²
Diámetro	2 m
Altura	2.32 m
Carga de sólidos	6.44 Kg/m ² -hora
Camara de cloracion	
Volumen	4 m ³
Capacidad	0.8 Kg/día

Filtración	
Áde filtración	0.383 m ²
Diámetro de filtro	0.7 m
Altura de lecho filtrante	1.8 m
Tanque de maduración	
Volumen total	6 m ³

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo del proceso tratamiento las de aguas residuales propuesta.

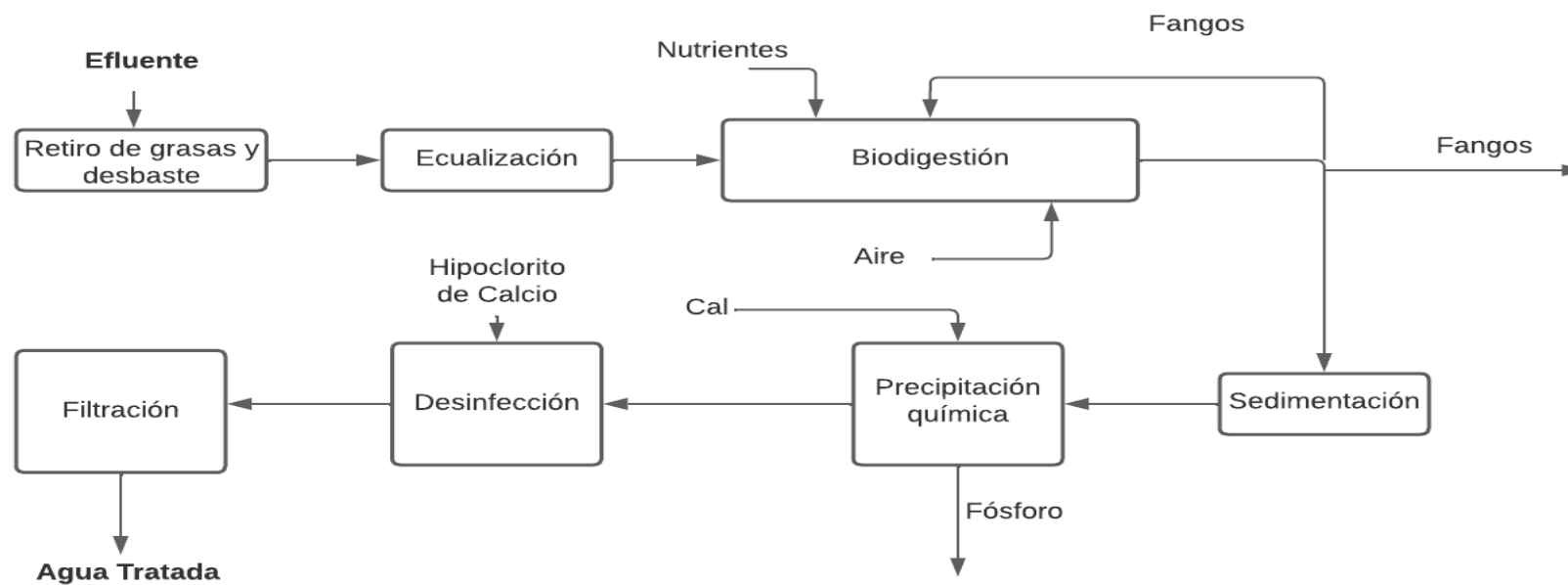


Figura 2. Etapas del proceso de la PTARD

4.7.4 COSTOS DE LOS EQUIPOS

En la Tabla 5. Se resume los costos de los equipos diseñados para la PTARD de Laramate.

Tabla 5.

Resumen de los costos de los equipos de la PTARD

Equipo	Precio S/.
Electrobomba sumergible	12000
Biodigestor	17000
Tanque	700
Soplador de aire	11000

CAPÍTULO V. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación se diseñaron los equipos para una PTARD con capacidad de 80 m³/día. Este diseño se fundamentó en el análisis del agua residual vertida en el río Grande, situado Ayacucho. Se consideraron los aspectos fisicoquímicos de estas aguas al desarrollar los equipos requeridos en las distintas fases del procedimiento.

En el diseño de la planta se utiliza una trampa de grasa cuya función principal es separar las sustancias menos densas que el agua residual. En las aguas residuales se encuentran pequeñas cantidades de ceras, aceites, grasas y espumas que ingresan a plantas de tratamiento y forman una capa flotante (Chinchilla Marin, 2015). De acuerdo a la OMS (2006) estas son un 50% de la DQO, añadiéndoles detergentes, aceites de baño y polvos de limpieza. Se optó por un tiempo de residencia de 0.33 horas, que se considera apropiado para el caso estudiado siguiendo las directrices establecidas en el Manual de Disposición de Aguas Residuales (1991).

El tanque de ecualización obtenida tiene una capacidad de 49.95 m³ la importancia de este equipo es homogenizar las aguas residuales antes del tratamiento para asegurar el caudal fijo y constante durante el tratamiento (Norma OS.090 DS N° 022-2009, 2009). Según Chasi y Montenegro (2016) las ventajas de implementar el tanque de ecualización en la PTARD son “diluir las sustancias inhibidoras, estabilizar el pH, mejorar la eficiencia y con ello la calidad del efluente y reducir los requerimientos de áreas y las aguas para tratamiento posterior” (p. 29). Se utiliza una bomba de 1 HP para mover el caudal del agua mencionado la cual es importante para prevenir asentamientos en el tanque.

En el reactor biológico se realizó un proceso aerobio ya que es el adecuado para reducir la DBO, debido a que el funcionamiento se basa en establecer una cinética de

formación de microorganismos y consumo de la materia orgánica produciendo lodos activados bajo un modelo de flujo de mezcla completa y un sistema de aireación extendida ya que lo que se busca principalmente es la disminución del DBO que actúan sobre la carga orgánica (417 mg/l). disminuyendo la DBO a un valor de 15 mg/L cumpliendo con la norma técnica N° 003-2010-MINAM.

En la cámara de contacto de cloro se da el proceso de desinfección el cual permite la reducción de agentes patógenos, se realiza a la salida del precipitador químico. Según Jiménez Cisneros (2001) una eficaz cloración del agua residual implica el suministro de entre 10 y 30 mg/L de cloro con tiempo de contacto de 30 minutos. El cual coincide con lo considerado en este trabajo ya que se tomó como tiempo de residencia de 1 hora, y como desinfectante el hipoclorito de calcio (HTH) a una composición de 70% de cloro activo y en 1% en peso queriendo decir 10 mg/L, con un tiempo de contacto de 15-30 minutos. De acuerdo a lo indicadico por Herrera Manrique “Para una desinfección eficaz, debe haber una concentración residual de cloro libre $\geq 0,5$ mg/l después de al menos 30 minutos de tiempo de contacto a $\text{pH} < 8,0$ ” (p.15). Así en la cámara de contacto diseñada se obtuvo un residual de 0.1-0.5 mg/L, con estas consideraciones se obtuvo un consumo de HTH de 1.14 kg/ día.

La velocidad de filtración es de $0.145 \text{ m}^3 / \text{m}^2 - \text{minuto}$ para un caudal de $0.05555 \text{ m}^3 / \text{minuto}$ obteniéndose un área de 0.383 m^2

En el tanque de maduración de lodos, se considera un tiempo de maduración de 5 días y se tiene la purga de lodos de $1.122 \text{ m}^3 / \text{día}$ para un volumen efectivo de 5.61 m^3 .

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

El cálculo y diseño consta de un pretratamiento, tratamiento primario y secundario son proyectados, calculados y diseñados de manera que el resultado final del DBO cumpla la regla técnica N° 003-2010-MINAM vigente en el Perú y se maximice la reutilización de las aguas tratadas. En el diseño expuesto se logró obtener una DBO de 15 mg/L. Se concluye que el diseño de los equipos de la PTARD son adecuadas para disminuir la DBO inicial del río Grande.

Los equipos diseñados de la PTAR están de acuerdo a las condiciones ambientales del distrito de Lucanas, a las condiciones de concentración de nutrientes, pH, temperatura y concentración de microorganismos para que se reproduzcan lo suficiente y actúen rápidamente descomponiendo la materia orgánica, logrando una alta eficiencia de la PTARD. Los equipos están diseñados para un caudal de 80 m³/ día, en el caso que el caudal cambie tendría que cambiar todas las dimensiones de los equipos calculadas en este trabajo

En el biorreactor diseñado para 80 m³/día se generan lodos activados, Este biorreactor está diseñado para una carga orgánica inicial del agua de 417 mg/L, reduciendo la DBO a 15 ppm, por lo que, utilizar el agua residual tratada para riego de los cultivos de la zona es una opción amigable con el medio ambiente.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

Es fundamental comprender todas las variables o aspectos relevantes al momento de elegir entre las opciones de tratamiento y diseño de los equipos correspondientes. Esto implica asegurar el cumplimiento de la normativa mencionada para garantizar la calidad del agua residual vertida al medio ambiente.

Una vez construido el sistema de tratamiento, realizar evaluaciones periódicas de la calidad del efluente de Lucanas para de esta manera mantenerlas dentro de la calidad de acuerdo a la normativa N° 003-2010-MINAM.

De acuerdo a Babbitt y Baumann (1971) para mantener el 99.9 % de eficiencia máxima en una PTARD se debe seguir planes de contingencias las cuales describen las actividades a ejecutar para desarrollar una labor eficiente, cuidado de la salud del personal y garantizar un mínimo impacto al medio ambiente. Para esto se debe estudiar las fichas técnicas de cada equipo diseñado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alfaro, I. y Nina, D. (2022). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en la comunidad campesina de Llaspay, distrito de Huanoquite, provincia de Paruro, región Cusco - 2021.
- Chasi, P. y Montenegro, M. (2016). Análisis de eficiencia y propuesta de diseño de un tanque ecualizador y un tanque daf para la planta de tratamiento de aguas residuales en la extractora de aceite de palma teobroma. Universidad Central del Ecuador.
- Chen, P. ; Qu, L. ; Tong, G. & Ni, J. (2011). Simultaneous nutrients and carbon removal from low-strength domestic wastewater with an immobilised-microorganism biological aerated filter.
- Chinchilla, M.(2015). Relación de parámetros de diseño de trampas de grasas (desengrasadores) versus su eficiencia, en aguas residuales comerciales. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Campomanes F. (2019) Operación y Monitoreo de Planta de Tratamiento de Aguas Industriales de Lavado y Pintado de balones en Solgas del Perú.
- Conde Anzola, A. F., Vega Godoy, D. S., & Pinilla Herrera, E. A. (2021). Elaboración de una guía para el diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. girardot, Cundinamarca.

- Coronel Hidalgo, M. L., Cueva Gadea, K. P. (2020). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas para reúso en parques y jardines, distrito Jequetepeque-Pacasmayo-La Libertad. TRUJILLO - PERÚ.
- Delgadillo, O., Camacho, A., & Andrade, M. (2010). *Depuracion de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia: Centro Andino para la Gestion y Uso del Agua.
- Erazo, E., & Ruíz, C. (2000). Planta de tratamiento de aguas residuales en la Universidad Nacional Mayor De San Marcos, Lima Perú. *Revista Peruana Dw Quimica e Ingenieria Quimica*.
- Flores, M. (2015) . Propuesta de un sistema de tratamiento para la reutilización de aguas residuales generadas en el servicio de lavado del concesionario Nor autos chiclayo S.A.C.
- Gianoli, A., Hung, A., & Shiva, C. (2018). Relación entre coliformes totales y termotolerantes con factores fisicoquímicos del agua en seis playas de la bahía de Sechura-Piura 2016-2017. . Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima, Perú, 62-71.
- Lizana-Yarlequé, P. (2018). TRATAMIENTO DE AGUAS. Piura: Universidad de Piura.
- Manotupa, L. y Muriel, J. (2018). Propuesta elaboración de una guía para el proceso de diseño en proyectos de plantas de tratamiento de aguas residuales en el Perú.
- Martinez, S., & Miriam, R. (2005). *Tratamiento de aguas residuales con MATLAB*. REVERTE,S.A.

- Medina Loredó, C. N., & Micha Ortiz, A. I. (2014). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en la provincia de Cajamarca para minimizar la contaminación. Cajamarca.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2017). TRATAMIENTO Y REÚSO de las aguas residuales. Perú, ¿Un reflejo de la región?, (págs. 9-10). Lima.
- Monedero, C. H. (2016). *Aguas residuales*. Bogotá: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Morales, J. V. (2000). *Cucunubá modelo para un desarrollo sostenible*. Chicago: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Navarro, A., Sánchez, J., & Collado, D. (1999). *Minería, Industria y medio ambiente en la cuenca Mediterránea*. Almería: Universidad de Almería
- Oscar Sánchez, M. H. (2007). *Perspectivas sobre conservación de ecosistemas acuáticos en México*. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología.
- Osorio-Rivera, M. A. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. Polo del Conocimiento, 228-245.}
- Peruano, E. (17 de marzo de 2010). Normas legales. Normas Legales.
- Peruano, E. (23 de abril de 2023). Minam capacitará a gobiernos regionales y municipalidades sobre tratamiento para reutilizar aguas residuales.

- Pilco C. (2023). Evaluación del desinfectante hipoclorito de calcio como tratamiento en aguas residuales para disminuir la contaminación en la planta de tratamiento "El Artezón" del Cantón Píllaro. Universidad Politécnica Salesiana. Ecuador.
- Quispe Pérez, L., & Del Valle González, J. (2020). Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales. Mexico: Voces de la Educación.
- R.S.Ramalho. (1996). Tratamiento de Aguas residuales. Editorial Reverté.
- Ramón, V. L. (2010). Infraestructura sustentable: Las plantas de tratamiento de aguas residuales. Quivera, 58-69.
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). El agua en el medio ambiente . Baja California: Plaza y Valdés.
- Ruggiero, F. R., & Guevara, C. C. (2020). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales domestica portable y compacta para una población no mayor a 50 habitantes. Bogotá D.C.
- Sans Fonfría, R., & Ribas, J. d. (1989). Ingeniería ambiental: Contaminación y tratamientos. Barcelona: Boixareu.
- Santillan Mogollon, A. L. (2021). Tratamiento a nivel piloto de aguas residuales de la Asociación San Pedro de Choque del distrito Puente Piedra mediante el diseño e instalación de un biofiltro”. Lima - Perú.

Santillan Mogollon, A. L. (2021). Tratamiento a nivel piloto de aguas residuales de la Asociación San Pedro de Choque del distrito Puente Piedra mediante el diseño e instalación de un biofiltro”. Lima - Perú.

Silva, D. (2020). “Diseño de una planta de tratamiento de agua residual para el riego de áreas verdes en el distrito de Los Olivos”.

Tiempos, L. (23 de junio de 2023). Firman acuerdo para implementar sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas en Sacaba. págs. 1-2.

UNESCO. (2017). Aguas residuales el recurso desaprovechado. París.

VILLELA, D. J. (2014). Diseño de planta de tratamiento de aguas residuales para el municipio de san juan Chamelco, alta Verapaz. Guatemala de la Asunción.

CAPÍTULO 9. ANEXOS

Anexo 01: Cálculos de los equipos de la planta de tratamiento de aguas residuales

A continuación, se detalla el cálculo de los equipos para el diseño de la planta de aguas residuales domésticas.

Diseño del proceso y bases del diseño:

Unidad de cálculo: 01 Cámara de Aireación 80 m³

Caudal de tratamiento: Q

Carga orgánica: DBO

DBO afluente: 417 mg/L

DBO efluente: 15 mg/L

1. Trampa de grasas

- Cámara: Rectangular con deflector
- Limpieza: Manual

Flujo de diseño: 80 m³/día = 3.33 m³/hora

Tiempo de residencia = 0.33 horas

Volumen = 1 m³

Relación Largo/ Ancho = 1.5 (DISEÑO OPS)*

Altura mínima = 0.8 m (DISEÑO OPS)

Altura espacio libre mínima = 0.3 m (DISEÑO OPS)

- **Características**

Ingreso: 4"

salida: 4"

Ancho: 0.8 m

Largo: 1.2 m

Altura Total: 1.5 m

***Organización Panamericana de la Salud**

2. Desbaste

Cámara de rejas

Tipo de cribas: Rejas de barras metálicas de acero

Limpieza: Manual

Características sugeridas:

Tamaño de las barras: Barras de sección rectangular

Espesor: 0.5 cm

Ancho: 3.3 cm

Separación: 2.0 cm

Inclinación respecto a la horizontal: 60°

Velocidad de aproximación: 0.45 m/s

Pérdida de carga admisible: 15 cm

3. Tanque de Ecualización

- **Caudal de tratamiento: Q_{total}**

$$Q_{total} = 80 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_{total} = 3.33 \text{ m}^3/h$$

- Capacidad de almacenamiento: 49.95 m^3
- Autonomía: 15 h
- Volumen de tanque: V

$$V = 3.33 \text{ m}^3/h \times 15 \text{ h} = 49.95 \text{ m}^3$$

Volumen total: 50.00 m^3

4. Bomba de transferencia

Cálculo de la potencia de la bomba: HP

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 55.55 \text{ L/minuto}$$

Carga dinámica total: H

$$H = 30 \text{ m.c.a}$$

Rendimiento: n

$$n = 60\% = 0.60$$

Energía requerida para mover este caudal de agua: E

$$E = Q \times H$$

$$E = 55.55 \text{ L/minuto} \times 30 \text{ m.c.a}$$

$$E = 1666.5 \text{ Kg} - \text{m/minuto}$$

Se tiene, $1 \text{ HP} = 4562.4 \text{ Kg} - \text{m}/\text{minuto}$

Luego:

$$HP = \frac{1666.5 \text{ Kg} - \text{m}/\text{minuto}}{1 \text{ HP} = 4562.4 \text{ Kg} - \text{m}/\text{minuto}}$$

$$HP = 0.4$$

Considerando el rendimiento de la bomba: $n = 60\%$

$$HP = 0.4/0.6$$

$$HP = 0.7 \text{ HP}$$

Potencia Requerida: 1.00 HP

5. Medidor de caudal

Vertedero triangular

Cálculo de la altura de la descarga: h_o

$$Q = \frac{(0.31 h_o^{5/2} \times (2g)^{1/2})}{\tan \theta}$$

Donde:

$$\text{Caudal: } Q, \text{ en } m^3/s = 9.259 \times 10^{-4} m^3/s$$

Carga del vertedero: H_o , en m.

$$\text{Aceleración de la gravedad: } G = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Angulo: $\theta = 45^\circ$

Luego:

$$Q = 9.259 \times 10^{-4} m^3/s$$

$$G = 9.81 m/s^2$$

$$\tan 45^\circ = 1.0$$

En consecuencia:

$$h_o = 0.0538 m$$

$$h_o = 1.0 cm$$

6. Diseño del reactor biológico

Clase de tratamiento: Aeróbico

Proceso: Lodos activados

Características operativas

Modelo de flujo: Mezcla completa

Sistema: Aireación extendida

Bases del diseño

$$Q = 80 m^3/día$$

Carga orgánica: DBO

Afluente: 417 mg/L

Efluente: 15 mg/L

Constantes cinéticas de diseño

- Tasa específica de crecimiento: K_o

$$K_o = 9.6 \text{ días}^{-1}$$

- Constante de saturación del sustrato: K_m

$$K_m = 120 \text{ mg/L}$$

- Rendimiento: Y

$$Y = 0.67 \text{ mg SSVLM / mg DBO}$$

- Constante de declinación: K_d

$$K_d = 0.040 \text{ días}^{-1}$$

Parámetros biológicos de diseño

- Concentración de DBO en el afluente: S_o

$$S_o = 417 \text{ mg/L}$$

- Edad de lodos: θ_c

$$\theta_c = 60 \text{ días}$$

- Sólidos suspendidos volátiles en el líquido Mezcla: X : SSVLM

$$X = 5000 \text{ mg/L}$$

- Sólidos suspendidos volátiles en el retorno: X_r

$$Xr = 6500 \text{ mg/L}$$

- DBO Total en el tiempo $t=0$: DBO_L
- $\frac{DBO_5}{DBO_L} = 0.70$
- $\frac{SSVLM}{SSLM} = 0.90$

Cálculo de la DBO soluble en el efluente: S

$$S = \frac{Km (1 + Kd \times \theta c)}{\theta c (Ko - Kd) - 1}$$

$$S = \frac{120 \text{ mg/L} (1 + 0.040 \text{ días}^{-1} \times 60 \text{ días})}{60 \text{ días} (9.6 \text{ días}^{-1} - 0.040 \text{ días}^{-1}) - 1}$$

$$S = 0.71 \text{ mg/L}$$

Cálculo del volumen del reactor: V

- $V = \frac{\theta c \times Q \times (So - S)}{X (1 + Kd \times \theta c)}$
- $V = \frac{60 \text{ días} \times 80 \text{ m}^3/\text{día} \times (417 \text{ mg/L} - 0.71 \text{ mg/L})}{5000 \text{ mg/L} (1 + 0.040 \text{ días}^{-1} \times 60 \text{ días})}$

$$V = 78.75 \text{ m}^3 \text{ Volumen útil del reactor}$$

$$V = 80 \text{ m}^3 \text{ Volumen total del tanque}$$

Cálculo del tiempo de residencia hidráulico: θ

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

$$\theta = \frac{78.75 \text{ m}^3}{80 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$\theta = 0.984 \text{ días}$$

$$\theta = 23.63 \text{ h}$$

Cálculo de la relación de recirculación: R

$$R = (1 - (\frac{\theta}{\theta_c})) / (X_r/X) - 1$$

$$R = (1 - (\frac{0.984}{60})) / (6500/5000) - 1$$

$$R = 0.9453$$

Como:

$$R = \frac{Q_r}{Q}$$

$$0.9453 = \frac{Q_r}{80 \text{ m}^3/\text{día}}$$

$$Q_r = 75.62 \text{ m}^3/\text{día}$$

Luego:

Caudal de recirculación

$$Q_r = 3.2 \text{ m}^3/\text{h}$$

Cálculo de la producción de fango: Px

$$Px = Y_{obs} \times Q(S_o - S)10^{-3}$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{1 + Kd \times \theta C}$$

$$Y_{obs} = \frac{0.67}{1 + 0.04 \times 60}$$

$$Y_{obs} = 0.197$$

Luego:

$$Px = 0.197 \times 80 \text{ m}^3/\text{día} (417 \text{ mg/L} - 0.71 \text{ mg/L}) 10^{-3}$$

$$Px = 6.554 \text{ Kg SSV/día}$$

La masa total como sólidos suspendidos totales es:

$$Px = \frac{6.554}{0.90}$$

$$Px = 7.2822 \text{ Kg SST/día}$$

$$Px = 0.303 \text{ Kg SST/h}$$

Cálculo de la purga de fango: Q_w

a) Purga a partir del reactor:

$$Q_w = \frac{V}{\theta C}$$

$$Q_w = \frac{80 \text{ m}^3}{60 \text{ días}}$$

$$Q_w = 1.3125 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 0.0547 \text{ m}^3/h$$

b) Purga a partir de la línea de recirculación

$$Q_w = \frac{X \times V}{X_r \times \theta C}$$

$$Q_w = \frac{5000 \text{ mg/L} \times 80 \text{ m}^3}{6500 \text{ mg/L} \times 60 \text{ días}}$$

$$Q_w = 1.122 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q_w = 0.04675 \text{ m}^3/h$$

Cálculo del requerimiento de oxígeno: O_2

$$Kg \text{ de } O_2 / \text{ día} = \frac{Q(S_o - S) 10^{-3}}{f} - 1.42 (Px)$$

$$\bullet f = \frac{DBO_5}{DBO_{-L}} = 0.7$$

$Kg \text{ de } O_2 / \text{ día}$

$$= \frac{80 \text{ m}^3/\text{día} \times (417 \text{ mg/L} - 0.71 \text{ mg/L}) 10^{-3}}{0.7} - 1.42 (6.554 \text{ Kg SSV/día})$$

$$Kg \text{ de } O_2 / \text{ día} = 38.224 \text{ Kg/día}$$

Entonces la necesidad de oxígeno por día es 38.224 Kg/día

Cálculo del volumen de aire

Necesidad de oxígeno por día es 38.224 Kg/día

Peso específico del aire: 0.0012 Kg/dm³

Composición del aire: 23.2% de oxígeno en peso.

Luego:

$$Va = \frac{38.224 \text{ Kg/día}}{0.0012 \text{ Kg/dm}^3 \times 0.232 \times 1000}$$

$$Va = 137.299 \text{ m}^3/\text{día}$$

Eficiencia de la transferencia de oxígeno: 10%

$$Va = \frac{137.299 \text{ m}^3/\text{día}}{0.10}$$

$$Va = 1372.99 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Va = 57.21 \text{ m}^3/h$$

$$Va = 33.24 \text{ PCM}$$

Comprobación de parámetros

Carga másica: U

$$U = \left(\frac{df}{dt} \right) \times M$$

Carga Volumétrica: Cv

Edad de lodos: Oc

$$\frac{1}{Oc} = Y \times U - Kd$$

$$\frac{1}{Oc} = 0.67 \times 0.0846 - 0.040$$

$$Oc = 60 \text{ días}$$

Resumen:

Caudal de diseño: $Q = 80 \text{ m}^3/\text{día}$

Volumen útil del reactor: 79 m^3

Volumen total del tanque: 80 m^3

Carga másica: $U = 0.08 \text{ Kg DBO/Kg SSVTA} - \text{día}$

Carga Volumétrica: $Cv = 0.41 \text{ Kg DBO} / \text{m}^3 - \text{día}$

Periodo de retención: 23.63 horas

Edad de lodos: $Oc = 60 \text{ días}$

Requerimiento de aire: $57.21 \text{ m}^3/\text{h} = 33.24 \text{ PCM}$

7. Diseño del tanque de sedimentación

Parámetros de diseño

- **Caudal de diseño: Q**

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 3.33 \text{ m}^3/\text{hora}$$

- Carga de superficie:

$$V_s = 1.16 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{hora}$$

- Tiempo de retención: 2 horas

Cálculo del área superficial del sedimentador: A

- $Q = A \times V_s$

$$3.33 \text{ m}^3/\text{hora} = A \times 1.16 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{hora}$$

$$A = 2.873 \text{ m}^2$$

Cálculo del diámetro del sedimentador: D

- $A = \pi r^2$

$$2.873 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$r = 0.96 \text{ m}$$

$$D = 2.0 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del sedimentador: H

- $V_s = \frac{H}{t}$
- tiempo de retención: t

$$H = 1.16 \text{ m}^3/\text{m}^2 - h \times 2 \text{ h}$$

$$H = 2.32 \text{ m}$$

Cálculo de la carga de sólidos

- $SSTA = \frac{SSVTA}{0.90}$

$$SSTA = \frac{5000}{0.90}$$

$$SSTA = 5555.55 \text{ mg/L}$$

- $Cs = \frac{SSTA \times Vs}{1000}$

$$Cs = \frac{5555.55 \text{ mg/L} \times 1.16 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{hora}}{1000}$$

$$Cs = 6.44 \text{ Kg/m}^2 - \text{hora}$$

8. Cámara de contacto de cloro

Volumen del tanque: V

$$Q = 80 \text{ m}^3/\text{día}$$

$$Q = 3.33 \text{ m}^3/\text{hora}$$

- Con tiempo de residencia de 1 hora

$$V = 4.00 \text{ m}^3$$

Desinfección:

Desinfectante: HTH

Composición: 70% de cloro activo

Solución: 1% en peso

Dosificación: 10 mg/L

Tiempo de contacto: 15-30 minutos

Residual Esperado: 0.1-0.5 mg/L

Capacidad del dosificador:

- $C = \frac{Q \times D}{1000}$

$$C = \frac{80 \times 10}{1000}$$

$$C = 0.8 \text{ Kg/día}$$

Consumo de HTH

$$\text{Consumo} = \frac{0.8 \times 100}{70}$$

$$\text{Consumo} = 1.14 \text{ Kg/día}$$

9. Filtración

Cálculo del área de filtración: A

$$Q = 0.0555 \text{ m}^3/\text{minuto}$$

- *Tasa de filtración: tf*

$$tf = 0.145 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{minuto}$$

- $A = \frac{Q}{tf}$

$$A = \frac{0.0555 \text{ m}^3/\text{minuto}}{0.145 \text{ m}^3/\text{m}^2 - \text{minuto}}$$

$$A = 0.383 \text{ m}^2$$

Cálculo del diámetro del filtro: D

- $A = \pi r^2$

$$0.383 \text{ m}^2 = \pi r^2$$

$$r = 0.35 \text{ m}$$

$$D = 0.70 \text{ m}$$

Cálculo de la altura del lecho filtrante: H_L

$$H_L = 2.5 \times D$$

$$H_L = 2.5 \times 0.70 \text{ m}$$

$$H_L = 1.8 \text{ m}$$

10. Tanque de maduración de lodos

Cálculo del volumen del tanque: V

- *Purga de Lodos: Q_w*

$$Q_w = 1.122 \text{ m}^3/\text{día}$$

- *Tiempo de Maduración = 5 días*

Anexo 02: Análisis de la DBO del agua residual doméstica del distrito de Laramate.



***Ilustración 1.** Laboratorio de Fisicoquímica de la Facultad de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), lugar de análisis de la DBO de la muestra de agua residual.*



(2a)



(2b)

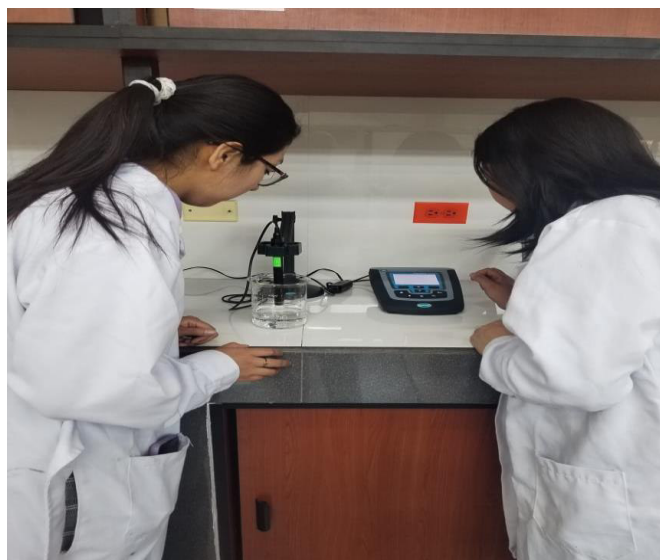
Ilustración 2. Reactivo de nutrientes . (2a) Nutrient Buffer Pillow BDO concentrado para 300 mL, 50/pk de la marca HACH, (2b) Cápsula del reactivo de nutriente.



(3a)



(3b)

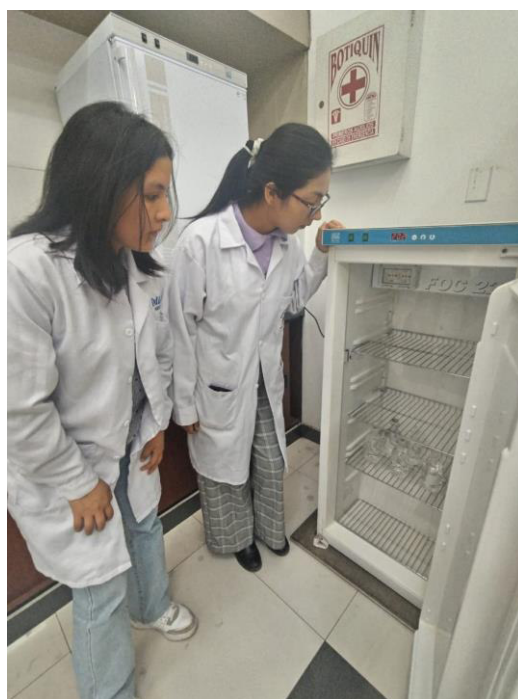


(3c)

Ilustración 3. (3a) Medidor multiparamétrico de doble entrada de la marca HACH LDO, con código HQ440d multi, (3b) Medidor de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), (3c) Medición de la DBO de la muestra del agua residual doméstico del distrito de Laramate.



(4a)



(4b)

Ilustración 4. (4a) Incubadora FOC 225I distribuidor Velp Científica. (4b) Verificación de las condiciones en la incubadora

Anexo 03: Descripción del lugar de estudio



Ilustración 5. Reservorio de acumulación de las aguas servidas para desembocar de forma natural hacia el río Grande.



Ilustración 6. Pozo de almacenamiento de aguas servidas de Laramate.



Ilustración 7. Presencia de parcelas de chacras que sirve de alimento a los ganados y vacunos cerca al río Grande.

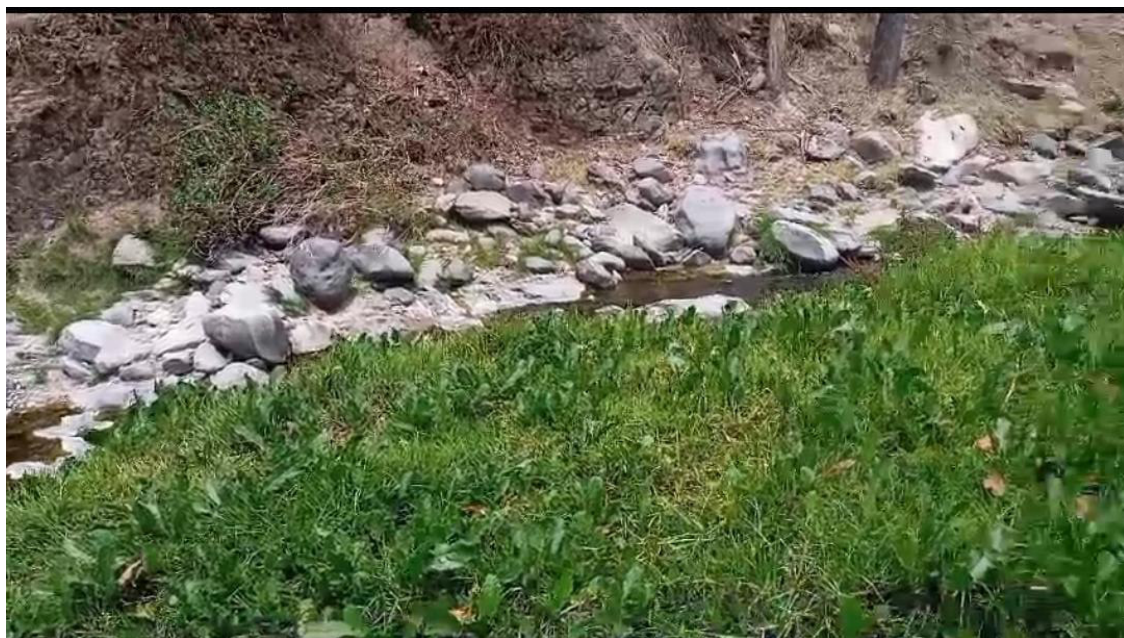
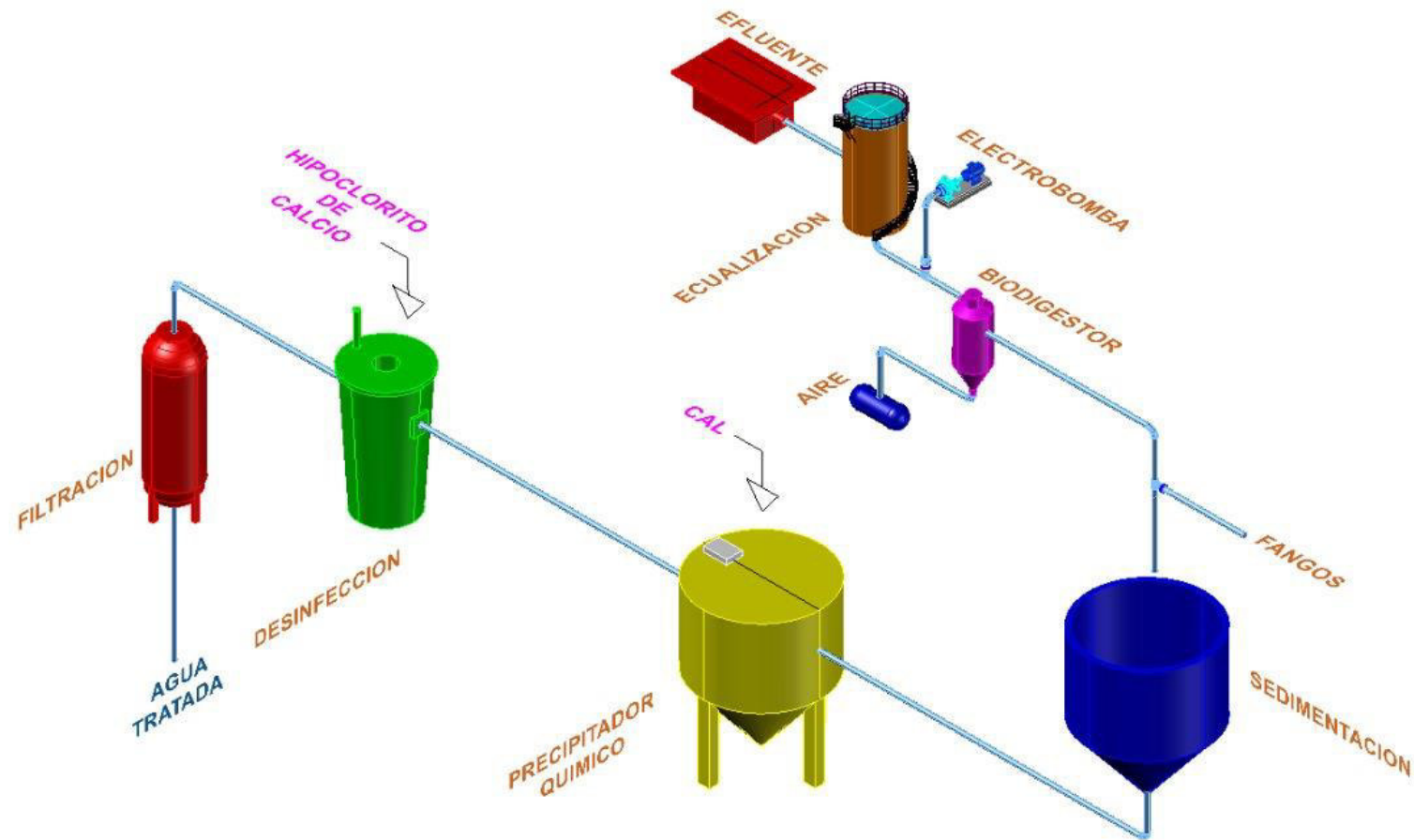


Ilustración 8. Río Grande donde desenvoca la aguas servidas del distrito de Laramate



Ilustración 9. Presencia de animales consumiendo el agua del río Grande.

Anexo 04: Propuesta de diseño de los equipos de la PTARD en AutoCAD.



Fuente: Elaboración propia