



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA



**DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO PARA LA
REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE
LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS,
ANTAUTA 2025**

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. LORENA HUANACUNI HANCCO

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO QUÍMICO

PUNO – PERÚ

2025



LORENA HUANACUNI HANCCO

DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO PARA LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE LABORAT...

Universidad Nacional del Altiplano

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::8254:576239491

Fecha de entrega

8 abr 2026, 2:37 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

8 abr 2026, 2:42 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO PARA LA REMOCIÓN DE LA CARGA ORGÁNICA A....docx

Tamaño del archivo

10.0 MB

148 páginas

24.282 palabras

135.696 caracteres



Teófilo Donaire Flores, D.Sc.
INGENIERO QUIMICO
C.P. 59551





10% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 8% Fuentes de Internet
- 3% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)


Marcas de integridad

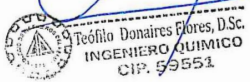
N.º de alerta de integridad para revisión

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

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

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




Teófilo Donaires Flores, D.Sc.
INGENIERO QUIMICO
CIP. 59551




D. Sc. German Quille Catizaya
DIRECTOR DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
FIQ UNA - PUNO





UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA
DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO PARA LA REMOCIÓN DE
LA CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS AGUAS
RESIDUALES DOMÉSTICAS, ANTAUTA 2025

TESIS PRESENTADA POR:
BACH. LORENA HUANACUNI HANCCO
PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO QUÍMICO

APROBADA POR:

PRESIDENTE:


M.Sc. SALOMON TITO LEON

PRIMER MIEMBRO:


M.Sc. RENE JUSTO QUISPE FLORES

SEGUNDO MIEMBRO:


M.Sc. LUZ MARINA TEVES PONCE

DIRECTOR / ASESOR:


Dr. TEOFILO DONAIRES FLORES



ÁREA: Tecnología ambiental.

TEMA: Tecnologías ambientales y recursos naturales.

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 16 de diciembre del 2025



DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación dedico con gran cariño y amor a mi madre Martha a quien quiero, estimo y admiro mucho, por siempre estar en los buenos y malos momentos.

A mi abuelo Humberto por inculcarme la importancia del estudio y enseñarme el valor del trabajo.

A mis hermanos Marizol, Karen, Janeth y Henry por ser mi inspiración para salir adelante.

Lorena Huanacuni Hanco



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional del Altiplano-Puno, por darme la oportunidad de realizar mis estudios superiores.

Mi agradecimiento más profundo a la Facultad de Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química y sus docentes por formarme como profesional de éxito.

También agradezco a mi director de tesis, Dr. Teofilo Donaires Flores, por su paciencia, sabiduría y apoyo incondicional durante la realización de la tesis.

A los miembros del jurado de tesis por brindarme su valioso tiempo, por su excelente orientación, dirección y todos los consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de este proyecto de tesis.

Lorena Huanacuni Hanco



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	5
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ÍNDICE DE ANEXOS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	16
ABSTRACT.....	17
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	20
1.1.1. Problema General.....	20
1.1.2. Problemas Específicos.....	21
1.2. ANTECEDENTES	21
1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	29
1.3.1. Justificación ambiental.....	29
1.3.2. Justificación social	30
1.3.3. Justificación científica.....	31
1.3.4. Justificación tecnológica	32
1.4. OBJETIVO GENERAL	33
1.4.1. Objetivos específicos.....	33
1.5. HIPÓTESIS GENERAL	33



1.5.1. Hipótesis específicas 34

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO 35

2.1.1. Reactor biológico aeróbico..... 35

2.1.1.1. Principios de funcionamiento de los reactores biológicos
aeróbicos 35

2.1.1.2. Tipos de reactores biológicos aeróbicos..... 36

2.1.1.3. Diseño de reactores aeróbicos a escala de laboratorio 37

2.1.1.4. Remoción de carga orgánica en aguas residuales domésticas.... 38

2.1.1.5. Importancia del estudio y aplicaciones 38

2.1.2. Remoción de la carga orgánica de aguas residuales 39

2.1.2.1. Efectos de polución por las aguas residuales 39

2.1.2.2. Tipos de aguas residuales 40

2.1.2.2.1. Aguas residuales domésticas 40

2.1.2.2.2. Aguas residuales industriales..... 40

2.1.2.2.3. Aguas residuales agrícolas..... 41

2.1.2.2.4. Aguas residuales de origen pluvial..... 42

2.1.2.3. Contaminantes y parámetros indicadores de las aguas residuales
..... 42

2.1.3. Proceso de tratamiento de aguas residuales 43

2.1.3.1. Tipos de procesos de tratamiento biológico en aguas residuales
..... 44

2.1.3.1.1. Método utilizado para llevar a cabo el tratamiento biológico de
las aguas residuales 45



2.1.4. Reactores para depuración de aguas residuales.....	45
2.1.5. Proceso de lodos activados.....	47
2.1.5.1. Fundamento del proceso de lodos activados.....	48
2.1.5.2. Parámetros de diseño para un proceso de lodos activados.....	49
2.1.5.3. Reacciones químicas representativas en el proceso aerobio y su relación con la evaluación (DBO_5 / necesidad de O_2).....	51

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MUESTRA.....	55
3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	55
3.2.1. Tipo de investigación	55
3.2.2. Nivel de investigación.....	55
3.2.3. Diseño de la investigación.....	55
3.2.4. Tipo y método de investigación	56
3.2.5. Métodos de muestreo	56
3.2.6. Muestreo durante el tratamiento biológico.....	57
3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS.....	58
3.3.1. Objetivo específico 1: Caracterizar las aguas residuales domésticas de la localidad de Antauta.....	58
3.3.2. Objetivo específico 2: Construir un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio implementando el diseño previamente elaborado.....	61
3.3.3. Objetivo específico 3: Precisar los niveles de eficiencia de remoción de la carga orgánica en el reactor biológico aeróbico, considerando los rangos de temperatura entre $13^{\circ}C$ a $18^{\circ}C$	63
3.4. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	63



3.4.1. Diseño estadístico:.....	63
3.4.2. Variables:	64

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA LOCALIDAD DE ANTAUTA.....	65
4.1.1. Características del afluente.....	66
4.1.2. Diseño del reactor biológico aerobio a escala de laboratorio.....	67
4.1.3. Cálculo de la potencia de la bomba.....	68
4.1.4. Bases de diseño del reactor biológico aerobio	69
4.1.5. Parámetros biológicos de diseño	69
4.1.6. Cálculo de la necesidad de O ₂ :	74
4.1.7. Cálculo del volumen de aire.....	77
4.1.8. Comprobación de parámetros.....	78
4.1.9. Carga volumétrica:	79
4.1.10. Diseño general de unidades y equipos	80
4.2. CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO A ESCALA DE LABORATORIO.	87
4.2.1. Preparación del área de trabajo	89
4.2.2. Estructura de soporte.....	89
4.2.3. Corte y ensamblaje del tanque reactor	90
4.2.4. Instalación del sistema de alimentación	90
4.2.5. Instalación del sistema de aireación	90
4.2.6. Instalación del sistema de recirculación y purga.....	91
4.2.7. Construcción del sedimentador integrado	91



4.2.8. Instalación del control de parámetros.....	92
4.2.9. Verificación de funcionamiento	92
4.2.10. Operación e implementación del reactor biológico aerobio.....	93
4.3. RESULTADOS DE EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA VARIANDO LA TEMPERATURA DE TRABAJO DEL REACTOR.....	109
4.3.1. DBO ₅	109
4.3.2. DQO	115
4.4. DISCUSIONES.....	121
V. CONCLUSIONES.....	125
VI. RECOMENDACIONES	126
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	127
ANEXOS.....	134



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Características del agua residual domestica de la localidad de Antauta	65
Tabla 2 Promedio de parámetros del agua residual domestica de la localidad de Antauta.....	65
Tabla 3 Carga de contaminante.....	74
Tabla 4 Dimensiones del tanque reactor	81
Tabla 5 Parámetros de diseño del tanque reactor.....	82
Tabla 6 Características de diseño del subsistema de alimentación.....	83
Tabla 7 Características de diseño del subsistema de aireación.....	83
Tabla 8 Características del diseño del decantador	85
Tabla 9 Dimensiones del sedimentador	86
Tabla 10 Características del diseño del sedimentador	86
Tabla 11 Operación e implementación del reactor biológico aeróbico.....	87
Tabla 12 Monitoreo de estos parámetros de ingreso que se efectuó durante las operaciones	94
Tabla 13 Monitoreo de estos parámetros de salida que se efectuó durante las operaciones	100
Tabla 14 Datos obtenidos de análisis de la carga volumétrica en el reactor biológico aerobio.....	107
Tabla 15 Resultados de la DBO_5	110
Tabla 16 Resultados de los parámetros de eficiencia de la DBO_5	112
Tabla 17 Resultados de la DQO.....	116
Tabla 18 Resultados de los parámetros de eficiencia de la DQO	118



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Reactores de biomembrana (MBR).....	36
Figura 2 Remoción de carga orgánica	38
Figura 3 Aguas residuales industriales	41
Figura 4 Proceso y técnicas de tratamiento en aguas residuales	44
Figura 5 Diagrama de flujo del reactor.....	67
Figura 6 Parámetros de pH de ingreso	94
Figura 7 Parámetros de temperatura en °C de ingreso	96
Figura 8 Parámetros de DQO de ingreso.....	97
Figura 9 Parámetros de DBO ₅ de ingreso.....	98
Figura 10 Parámetros de turbidez de ingreso	99
Figura 11 Parámetros de pH de salida.....	101
Figura 12 Parámetros de temperatura en °C de salida.....	103
Figura 13 Parámetros de DQO de salida	103
Figura 14 Parámetros de DBO ₅ de salida	104
Figura 15 Parámetros de turbidez de salida.....	105
Figura 16 Relación entre el desempeño del sistema entre el DBO ₅ y la variación de la temperatura.....	114
Figura 17 Relación entre el desempeño del sistema entre el DQO y la variación de la temperatura.....	120



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1 Reporte de los resultados de laboratorio.....	134
Anexo 2 A. Fotografías del proceso de trabajo.	135
Anexo 3 B. Análisis de DBO ₅ y DQO para las muestras de afluente y efluente.....	138
Anexo 4 Métodos usados para análisis de DQO y DBO ₅	141
Anexo 5 Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.	145
Anexo 6 Declaración jurada de autenticidad de tesis	147
Anexo 7 Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional	148



ACRÓNIMOS

kg:	Kilogramos
g:	Gramos
°C:	Grados celsius
cm:	centímetros
m:	metro
DQO:	Demanda Química de Oxígeno
DBO ₅ :	Demanda Bioquímica de Oxígeno
NTU:	Unidad Nefelométrica de Turbidez
ml:	Mililitros
CO ₂ :	Dióxido de carbono
L/h:	Litros por hora
L:	Litros
min:	Minutos
M1A:	Muestra uno afluente
M1E:	Muestra uno efluente
pH:	Potencial de hidrógeno
NH ₄ ⁺ :	Ion amonio
NO ₃ ⁻ :	Nitrato
INEI:	Instituto Nacional de Estadística e Informática
K _{re} :	Constante de respiración endógena
LOPU:	Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios
TRH:	Tiempo de retención hidráulica
RBC:	Contactador biológico rotatorio



RESUMEN

El tratamiento de aguas residuales domésticas es un desafío por el aumento poblacional y las actividades humanas que incrementan la contaminación hídrica. Este trabajo tuvo como objetivo principal diseñar un reactor biológico aeróbico eficiente para la remoción de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas a escala de laboratorio en la localidad de Antauta en el año 2025. El estudio fue de enfoque descriptivo y experimental, se desarrolló con muestreos realizados el 24 de abril de 2025 en Antauta, donde se analizaron DBO₅, DQO, pH y temperatura. Se construyó un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para evaluar su eficiencia bajo cargas orgánicas variables y temperaturas entre 13 °C y 18 °C. En el primer objetivo específico, la caracterización del afluente mostró un pH promedio de 8,36, temperatura de 15,03 °C, DBO₅ de 437,56 mg/L, DQO de 917,56 mg/L y turbidez de 203,22 NTU, evidenciando una elevada carga orgánica biodegradable. Para el segundo objetivo, se implementó el reactor con un volumen útil de 0,0893 m³ e inoculado con lodo activado. Durante 20 días de operación, alcanzó una remoción promedio del 91,67 % en DBO₅ y 90,84 % en DQO, destacando su desempeño en condiciones de transición térmica (13 °C a 18 °C). Para el tercer objetivo, a 13 °C la eficiencia fue irregular y en ocasiones inferior al 40 %, mientras que a 18 °C se estabilizó por encima del 90 %. En conclusión, el reactor cumplió los objetivos y demostró ser una alternativa funcional, económica y sostenible.

Palabras clave: Aguas residuales, Medio ambiente, Purificación, Remoción, Tratamiento.



ABSTRACT

Domestic wastewater treatment is a challenge due to population growth and human activities that increase water pollution. This research aimed to design an efficient aerobic biological reactor for removing the organic load present in domestic wastewater at a laboratory scale in the town of Antauta in 2025. The research employed a descriptive and experimental approach, based on samples taken on April 24, 2025, in “Antauta”, where “DBO₅”, “DQO”, pH, and temperature were analyzed. A laboratory-scale aerobic biological reactor was constructed to evaluate its efficiency under varying organic loads and temperatures between 13 °C and 18 °C. In the first specific objective, the influent characterization showed an average pH of 8.36, a temperature of 15.03 °C, a “DBO₅” of 437.56 mg/L, a “DQO” of 917.56 mg/L, and a turbidity of 203.22 NTU, indicating a high biodegradable organic load. For the second objective, the reactor was implemented with a usable volume of 0.0893 m³ and inoculated with activated sludge. During 20 days of operation, it achieved an average removal rate of 91.67% for “DBO₅” and 90.84% for “DQO”, with notable performance under thermal transition conditions (13 °C to 18 °C). For the third objective, at 13 °C the efficiency was inconsistent and sometimes below 40%, while at 18 °C it stabilized above 90%. In conclusion, the reactor met the objectives and proved to be a functional, economical, and sustainable alternative.

Keywords: Wastewater, Environment, Purification, Removal, Treatment.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y el desarrollo urbano acelerado han generado un aumento significativo en la producción de aguas residuales domésticas, las cuales representan una fuente considerable de contaminación si no son tratadas de forma adecuada antes de su vertimiento al medio ambiente (Tchobanoglous et al., 2014). Estas aguas están compuestas principalmente por materia orgánica biodegradable, nutrientes, microorganismos patógenos y compuestos químicos que afectan negativamente la calidad de los cuerpos hídricos receptores (Metcalf & Eddy, 2014). Por esta razón, el tratamiento de aguas residuales mediante procesos biológicos ha cobrado especial relevancia, debido a su eficiencia, sostenibilidad y menor costo operativo en comparación con métodos fisicoquímicos.

Dentro de los sistemas de tratamiento biológico, los reactores aeróbicos se han consolidado como una alternativa eficaz para la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO), al aprovechar la capacidad metabólica de los microorganismos aerobios para degradar la materia orgánica en presencia de oxígeno disuelto (Henze et al., 2008). La aplicación de estos sistemas en escala de laboratorio no solo permite comprender la dinámica microbiana y los factores operacionales que afectan su desempeño, sino que también proporciona una base sólida para la proyección a escala piloto o industrial (Rittmann & McCarty, 2012).

El diseño de un reactor biológico aeróbico requiere una evaluación cuidadosa de parámetros como el tiempo de retención hidráulico, la concentración de sólidos suspendidos volátiles, la tasa de carga orgánica, y las condiciones de aireación, los cuales



son fundamentales para garantizar la eficiencia del sistema (Tchobanoglous et al., 2014). Además, es indispensable considerar la influencia de factores ambientales, como la temperatura, que afecta directamente la actividad enzimática de los microorganismos y, por ende, la tasa de degradación de contaminantes (Mara, 2004).

En este contexto, la presente investigación tiene como objetivo diseñar y evaluar un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para la remoción de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas. La importancia de esta propuesta radica en su potencial para optimizar el tratamiento preliminar de estas aguas en zonas urbanas y rurales, contribuyendo a la mejora de la gestión hídrica y a la protección de los ecosistemas acuáticos.

La presente investigación se tuvo como objetivo principal diseñar un reactor biológico aeróbico eficiente para la remoción de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas a escala de laboratorio en la localidad de Antauta en el año 2025. Como primer objetivo específico se estableció caracterizar las aguas residuales domésticas del distrito de Antauta, al evaluar su contenido de materia orgánica en términos de DBO_5 y DQO, así como su temperatura y pH, como segundo objetivo específico se estableció construir un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio implementando el diseño previamente elaborado, con el objetivo de remover la carga orgánica presente en las aguas residuales domésticas de la localidad de Antauta y como tercer y último objetivo específico se planteó precisar los niveles de eficiencia de remoción de la carga orgánica en el reactor biológico aeróbico, teniendo en cuenta los rangos de temperatura entre 13 °C a 18 °C.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel internacional, la gestión adecuada de las aguas residuales domésticas se ha convertido en un desafío crítico. El aumento de la población y la urbanización ha llevado a una mayor generación de aguas residuales, lo que plantea amenazas para la calidad del agua y el medio ambiente. La contaminación de cuerpos de agua a nivel global ha generado preocupación en términos de salud pública y sostenibilidad ambiental. La necesidad de tecnologías efectivas de tratamiento de aguas residuales a nivel de laboratorio y de escala comunitaria es evidente para abordar este problema a nivel internacional.

A nivel nacional, en Antauta, distrito con una población aproximada de 3 728 habitantes según el último censo realizado (INEI, 2018), el manejo de las aguas residuales domésticas representa un desafío significativo. Si bien se han realizado avances en la infraestructura de tratamiento en áreas urbanas más desarrolladas, muchas comunidades rurales y pequeñas aún carecen de sistemas adecuados para el tratamiento de sus efluentes. Esta situación ha generado la descarga de aguas residuales no tratadas en cuerpos de agua locales, lo que pone en riesgo la salud de la población y el equilibrio ambiental. En este contexto, el diseño e implementación de reactores biológicos a escala de laboratorio para la remoción de la carga orgánica se vuelve una estrategia esencial para abordar esta problemática:

1.1.1. Problema General

¿Cómo diseñar un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para la remoción eficiente de la carga orgánica en aguas residuales domésticas en la localidad de Antauta, 2025?



1.1.2. Problemas Específicos

- ¿Cuáles son las características de las aguas residuales domesticas del distrito de Antauta en términos de materia orgánica, temperatura, pH, DBO_5 y DQO?
- ¿En qué medida la construcción de un reactor biológico aeróbico, a partir de un diseño previo permitirá remover la carga orgánica presente en las aguas residuales domesticas de la localidad de Antauta?
- ¿Cuáles son los niveles de eficiencia de remoción de la carga orgánica en el reactor biológico aeróbico, teniendo en cuenta los rangos de temperatura entre 13 °C a 18 °C?

1.2. ANTECEDENTES

Forero (2021), presentó su trabajo de investigación con la finalidad de analizar el tratamiento y evaluación de las aguas residuales no domésticas registrando sus componentes derivados de las industrias. Se sugiere que el análisis correcto para este tipo de aguas requiere de un tratamiento adecuado de acuerdo con el tipo de contaminante para verificar sus impactos y efectos sobre el cuerpo receptor. En el estudio se requiere describir el comportamiento de los microorganismos utilizando el método Lineweaver – Burk y la metodología experimental, de manera que se permita hacer simulacros reales a escala mediante un reactor de pruebas. Los resultados indican que se construyó y estabilizó un reactor a escala de laboratorio tipo banco de pruebas con lodos activados, aireación con dos difusores de burbuja fina y zona de sedimentación con deflector regulable. Operando con un volumen útil de 10 L y control de caudal mediante bomba peristáltica, el sistema alcanzó hasta 85 % de remoción de DQO, 85–95 % de DBO_5 y



90 % de sólidos suspendidos totales, demostrando su eficacia en el tratamiento de aguas residuales bajo condiciones controladas.

Bocangel (2018), presentó un trabajo con el propósito de caracterizar las aguas residuales y su impacto en el medio ambiente en Calca, Cusco en el año 2018. El estudio fue fundamental, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental de corte transversal. Se realizaron muestreos en puntos especialmente seleccionados para identificar los niveles de contaminación. El estudio evaluó el tratamiento de aguas residuales no domésticas del camal municipal de Calca mediante un reactor biológico anaerobio RBAM a escala piloto, operando con una carga orgánica de 3 kg DQO/m³. día y TRH de 36,1 h; tras un arranque de 67 días con lodos activados y un monitoreo de 62 días, se logró un caudal óptimo de 1641,6 L/día, alcanzando DQO de 789,27 mg O₂/L, DBO₅ de 425,16 mg O₂/L y SST de 172,28 mg/L, cumpliendo los límites máximos permisibles según el D.S. 021-2009-VIVIENDA.

García & Gutierrez (2018), desarrollaron una investigación con el propósito de proponer un reactor de leche aerobio para realizar el tratamiento de aguas residuales domésticas. La investigación fue teórica, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental de corte transversal. De acuerdo con los resultados es posible asegurar que los porcentajes de remoción de materia orgánica son los permisibles por las normas y aplicando la tecnología MBBR es posible precisar los valores del pH, temperatura y la concentración de la biomasa.

Carrera (2021), presentó una investigación con el objetivo de determinar la aplicación de nuevas tecnologías que disminuyen la carga de factores antrópicos contaminantes del recurso hídrico. La investigación fue básica, de nivel descriptivo, diseño experimental de corte transversal, enfoque cuantitativo. De acuerdo con los



resultados el uso de factores biológicos de membranas. En el estudio se propone la aplicación de tecnologías avanzadas para disminuir la propagación de factores antrópicos contaminantes de las aguas especialmente de los vertimientos de efluentes industriales porque las características de los mencionados efluentes demandan la aplicación de tecnologías actuales. Los resultados indicaron que para la evaluación a escala del modelo propuesto implica utilizar modelación matemática en correspondencia con la cinética biológica que se requiere para este tipo de tratamientos. El reactor biológico tiene la capacidad de almacenaje de 560 litros con la presencia de una cámara anóxica, un reactor de 370 litros y un comportamiento de aireación, que permita procesar el licor mezclado con membranas de placas sumergidas y una cámara destinada para el efluente tratado. Asimismo, se diseñó un sistema lógico de control para la supervisión de los procesos.

Rivas (2022), realizó un estudio con el objetivo de calcular los parámetros biocinéticos de aguas residuales de la planta de tratamiento “La Escalerilla”. La investigación fue básica de nivel descriptivo y diseño correlacional, experimental, transversal. Se ejecutó el diseño con un volumen de 242,96L y sedimento secundario de 84,82L. Asimismo, se utilizó la intervención del laboratorio acreditado ALAB. El estudio de la planta La Escalerilla mostró que un reactor a escala de 242,96 L con sedimentador de 84,82 L, operando a caudales promedio de 200 L/d y a tiempos de retención hidráulica de 19,4, 29,2, 39,9 y 48,6 h, logró caracterizar y tratar aguas residuales domésticas, obteniendo parámetros biocinéticos $K = 0,00243 \text{ L/mg}\cdot\text{d}$, $K_s = 9,882 \text{ mg/L}$, $q_{\text{max}} = 0,2132 \text{ d}^{-1}$, $Y = 0,0005 \text{ Kg SSV DBO}_5$, $K_d = 0,000096 \text{ KgS SV/d}\cdot\text{Kg SSV reactor}$, $a = 0,18 \text{ Kg O}_2 \text{ DBO}_5$ y $b = 0,1512 \text{ Kg O}_2/\text{d}\cdot\text{Kg SSV}$, identificando el TRH óptimo en TR3.



Freytez et al. (2019), presentó una investigación con el fin de evaluar un reactor de carga secuencial (SBR) con el fin de analizar las aguas residuales. El estudio fue teórico, de nivel descriptivo, y diseño experimental. El proyecto se ejecutó de acuerdo con las siguientes fases: construcción del SBR, selección del sustrato, aclimatación de la biomasa, diseño experimental, evaluación del desempeño del SBR bajo condiciones aerobias y anaerobias, análisis estadístico de los resultados, comparación de resultados. En la investigación se llegó a la conclusión de que la tasa de remoción de DQO en un SBR implicó duraciones de 6, 12 y 24 horas y utilizando biomasa granular en condiciones críticas, la gradiente de remoción bajo la condición del 25% de anaerobia, permite estimar la mencionada remoción con condiciones solo aerobias. El tratamiento de aguas residuales de tenería en un SBR con biomasa granular, bajo secuencias óxica y anóxico-óxica, mostró remoción de DQO que se duplicó al aumentar los ciclos de 6 a 24 h, alcanzando eficiencias entre 30 % y 40 %, con tasas de remoción de DQO de -100 a $-295 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en el sistema óxico y de -46 a $-53 \text{ mg L}^{-1} \text{ h}^{-1}$ en el sistema anóxico-óxico, y tasas significativas de TKN y NH_4^+-N en la primera fase anóxica y en la fase óxica, evidenciando nitrificación-desnitrificación simultánea y nitrificación convencional en la biomasa.

Echeverría et al. (2020), elaboró una investigación con el fin de implementar una planta piloto de aguas residuales domésticas basadas en reactores biológicos rotatorios. La investigación fue teórica, fundamental, de nivel descriptivo y diseño experimental, transaccional. Se realizó un análisis sobre las ventajas de CBR en los procesos de tratamiento aerobio de las aguas residuales. De acuerdo con los resultados se logró determinar que los niveles de eficiencia en este tipo de procesos son altos, ocupan poco espacio y se pueden ampliar a través de la elaboración de módulos, pero la implementación propiamente dicha es costosa. Con respecto a las eficiencias máximas



del CBR se presenta que los periodos de aclimatación se ubican en 75%, 81% y 85%. Con relación a la eficiencia global del sistema se encontró que un CBR de 3 fases con un sedimentador secundario alcanzó niveles de 68-79% para DQO total, 68-77% de DQO soluble y 81-99% de SST. Se concluyó que se recomienda realizar los procesos por escalas.

Córdova et al. (2021), elaboró un estudio con el propósito de realizar una evaluación sobre el tratamiento de aguas residuales domésticas a través de un reactor anaerobio. El estudio fue básico, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental, correlacional, explicativo. Los resultados indican que en las normas vigentes se han establecido los parámetros máximos permisibles y los valores referenciales para la reutilización de pH, temperatura y nivel de oxidación además de la cantidad de biomasa anaerobia. De acuerdo con los resultados se demostró que las características de ARD-010-A y ARD-020-B, tienen una notable influencia de reutilización de efluentes en cultivos agrícolas. Se tuvo en cuenta la norma DS N°003-2002-PRODUCE, donde se obliga a considerar los parámetros máximos permisibles para los procesos de reutilización un pH de entre 6 - 8, temperatura de 35°C. Se analizó el efluente correspondiente a la tabla 5 y 6 a las 8 y 10 horas. Se concluyó que esta propuesta es altamente efectiva para la remoción de carga orgánica en aguas residuales.

Badillo & Daniel (2019), presentaron un estudio para evaluar y analizar los tratamientos de vinaza en relación con la implementación con una técnica de bajo costo. La investigación fue básica de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental de corte transversal. Se construyó dos biorreactores basados en tecnología SBR, a escala de laboratorio, con un cultivo de microorganismos para el tratamiento de la vinaza. Durante el proceso, se monitorearon diferentes parámetros como



conductividad eléctrica (CE), sólidos (SDT, STS, SST), nitritos y nitratos, turbiedad, color, DQO, oxígeno disuelto (OD), y pH; con el fin de responder: por qué son los reactores de tipo SBR una alternativa viable para el tratamiento de la vinaza y mejorar sus parámetros físicos y químicos. Los resultados indican que se presenta una reducción que corresponde a los siguientes parámetros CE 23,88 %; SDT 22,07 %; STS 76,48 %; SST 72,42 %; nitritos 100 %; nitratos 100 %; turbiedad 18,88 %; color 18,77 % y DQO 11,62 %. Además, se obtuvo un incremento en el OD de 25,81 %. Se realizó el proceso en condiciones de agua sintética, por lo que la presente investigación estuvo orientada a extender la información sobre tratamiento de aguas residuales en esta localidad.

Castro et al. (2019), presentaron un estudio con el propósito de realizar una evaluación respecto de la eficiencia de un sistema de tratamiento primario para aguas residuales industriales mediante el uso de un reactor anaerobio de gestión de lodos de flujos ascendentes. La capacidad de bombeo del desarenador alcanza 350 litros de tratamiento de aguas residuales a escala de laboratorio. De acuerdo con los resultados se puede asegurar que se logró una eficiencia mínima de la demanda química de oxígeno de 33,66%, y la máxima eficiencia de 76,90%. En relación con los sólidos suspendidos totales se pudo verificar que están en correspondencia con el nivel de temperatura con las aguas residuales de entre 10 °C y 19 °C mientras que, la cantidad de sólidos suspendidos se disminuyó de 524,34mg/L a 365,04mg/L. Se concluyó que la metodología propuesta es una alternativa eficiente para la remoción de materia orgánica y sólidos suspendidos para aguas residuales del camal municipal de Huancavelica.

Quintero et al. (2021), presentó una investigación titulada sistema RBC (Rotating Biological Contactor) con el fin de proponer un modelo de tratamiento de aguas residuales mediante bioaumentación. La investigación fue fundamental, de nivel descriptivo,



enfoque cuantitativo y diseño experimental, transaccional. En el estudio se identificaron los microorganismos presentes en las aguas residuales. Con estos procedimientos tecnológicos es posible remover la carga orgánica que contaminan las aguas por lo que se realizó la evaluación a escala de laboratorio para aguas residuales de la industria de bebidas no alcohólicas. De acuerdo con los resultados se encontró que el sistema es muy eficiente cuando se trabaja con tiempos de retención hidráulica adecuados para lograr una adecuada difusión de oxígeno y adherencia de la biopelícula, y que presenta porcentajes de remoción de DQO y DBO₅ de más del 80% en cada una de sus etapas.

Castro et al. (2019), desarrollaron una investigación titulada “Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica”, con el propósito de analizar la eficiencia de remoción de residuos contaminantes combinados con procesos anaerobios. El estudio es experimental, de enfoque cuantitativo, nivel descriptivo. La muestra estuvo conformada por 27,9 litros de los cuales 15,8 litros implican el área anaeróbica mientras que 7,7 litros corresponden a la zona de aireación y 4,4 litros a la zona de sedimentación. De acuerdo con los resultados se obtuvo que el tratamiento anaeróbico se alcanzó eficiencias de materia en términos de DQO con el 53%, el tratamiento aeróbico alcanzó el 75%, por lo que se consiguió reducir el proceso en todo el sistema al 88% eliminando malos olores. Se concluyó que la investigación facilitó la proyección del mantenimiento de la planta de tratamiento de Púlinguí.

Jiménez (2021), elaboró un estudio titulado “Evaluación de un biofiltro anaeróbico como tratamiento secundario de aguas residuales urbanas para una planta de tratamiento ubicada en Monteverde”, con el propósito de realizar un análisis y evaluación de la capacidad y eficiencia de un biofiltro anaeróbico para el tratamiento de aguas



residuales en la mencionada localidad en el año 2019. La investigación fue teórica, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental, de corte transversal. Se analizó el diseño FAFA para el tratamiento de las aguas residuales en varios centros poblados del mencionado cantón. Se fabricó un prototipo a escala para comparar los rendimientos en escenarios controlados teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulico. De acuerdo con los resultados se asegura que el tiempo de retención hidráulico es el parámetro que influye más en el rendimiento del filtro en tanto se mantiene en el rango de 0,5 a 1 por día. Las reducciones se alcanzaron el 88% respecto de la demanda biológica de oxígeno, el 89% en la demanda química de oxígeno. Se concluyó que respecto de la generación de aguas residuales en el área de estudio se requiere la construcción de un filtro de 1665 m³ conformado por 4 cámaras independientes de 5 m de alto.

Castillo et al. (2020), presentaron una investigación titulada “Diseño e implementación de una PTAR por lodos activos a escala de laboratorio”, con el objetivo de implementar un diseño para la planta de tratamiento de la quesera Llin Llin Pucará – Cantón Colta. La investigación fue aplicada, de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental, transaccional. La muestra estuvo conformada por 3 tanques de aireación de reservorio, aireación y sedimentación de dimensiones 50cm x 50cm x 75 cm y dos depósitos: provisión de agua tratada y lodos con dimensiones 50cm x 50cm x 50cm. Los resultados indican que el tanque de sedimentación presenta una inclinación del 20%, los tiempos de suspensión hidráulica se ubican en 72-60-48-36-24-12-8-4 horas, además de 11 días para la retención celular. Se concluyó que el método biológico ejecutado en la planta a escala de laboratorio es muy satisfactorio con un nivel de eficiencia del 98%.



Becerra et al. (2022), desarrollaron una investigación titulada “Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados”, con el propósito de explicar la relevancia que tienen los tratamientos biológicos de aguas residuales con lixiviados generados por los rellenos sanitarios. La investigación fue teórica o fundamental de nivel descriptivo, enfoque cuantitativo y diseño experimental de corte transversal. De acuerdo con los resultados se indica que los tratamientos biológicos de las aguas residuales tienen un bajo costo beneficio, pero presentan altos niveles de efectividad en los mencionados procesos.

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1. Justificación ambiental

La contaminación del agua debido al vertido inadecuado de aguas residuales domésticas representa una amenaza significativa para el medio ambiente y la biodiversidad acuática en la localidad de Antauta. Las aguas residuales generadas por actividades domésticas contienen una carga considerable de contaminantes orgánicos y nutrientes, los cuales, al no ser tratados adecuadamente, pueden alterar y dañar los ecosistemas acuáticos. La justificación ambiental de este proyecto de tesis radica en su objetivo de mitigar estos impactos negativos al diseñar y construir un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para la remoción de la carga orgánica en las aguas residuales domésticas (Escobar, 2002).

Uno de los principales problemas asociados con la contaminación del agua es la eutrofización, un fenómeno causado por el exceso de nutrientes como nitrógeno y fósforo. Estos nutrientes estimulan el crecimiento descontrolado de algas, lo que puede reducir la disponibilidad de oxígeno en el agua y afectar



negativamente a la fauna acuática. Al implementar un reactor biológico aeróbico eficiente, se espera reducir la cantidad de nutrientes en las aguas residuales, contribuyendo así a preservar la salud y diversidad de los ecosistemas acuáticos locales (Bokova & Ryder, 2017).

1.3.2. Justificación social

La problemática de las aguas residuales domésticas afecta directamente a la comunidad de Antauta y su calidad de vida. La falta de un tratamiento adecuado de las aguas residuales puede tener repercusiones negativas en la salud, el bienestar y el entorno de los habitantes locales. Por lo tanto, la justificación social de este proyecto de tesis radica en su contribución al mejoramiento de las condiciones de vida de la comunidad, así como en su impacto positivo en el bienestar social y el desarrollo sostenible (Jaramillo, 2014).

El acceso a agua limpia y segura es un derecho humano fundamental, y el manejo adecuado de las aguas residuales juega un papel importante en la protección de la salud pública. Al diseñar y construir un reactor biológico aeróbico para la remoción de la carga orgánica en las aguas residuales domésticas, se busca reducir los riesgos de enfermedades transmitidas por el agua, mejorando así la calidad de vida de los habitantes de Antauta. La implementación de un sistema de tratamiento eficiente contribuirá a crear un entorno más saludable y seguro para la comunidad, promoviendo un aumento en la expectativa de vida y disminuyendo la incidencia de enfermedades relacionadas con la contaminación del agua (Jaramillo, 2014).

Asimismo, de los beneficios para la salud, este proyecto puede generar oportunidades de desarrollo social y económico en la región. La construcción y



operación del reactor biológico aeróbico requerirá la participación de mano de obra local y la adquisición de materiales y equipos, lo que podría generar empleo y dinamizar la economía de la comunidad. Además, al promover prácticas más responsables en el manejo del agua, se fomentará una mayor conciencia ambiental y la adopción de medidas sostenibles en otras áreas de la vida cotidiana (Jaramillo, 2014).

1.3.3. Justificación científica

La justificación científica de este proyecto de tesis se fundamenta en la necesidad de generar conocimiento científico sólido y aplicable en el campo del tratamiento de aguas residuales. Aunque existen diversos enfoques y tecnologías para el tratamiento de aguas residuales, el diseño de un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para la remoción de la carga orgánica en aguas residuales domésticas representa una contribución valiosa a la investigación en esta área específica (Espinoza, 2010).

La remoción eficiente de la carga orgánica en aguas residuales es un desafío científico y técnico relevante, y un reactor biológico aeróbico puede ser una opción prometedora para abordar este problema. La realización de este proyecto permitirá explorar y evaluar la eficacia de esta tecnología en un contexto específico, proporcionando datos y resultados valiosos que pueden ser aplicados en futuros proyectos de tratamiento de aguas residuales a mayor escala (Cruz, 2015).



1.3.4. Justificación tecnológica

La justificación tecnológica de este proyecto de tesis se centra en la necesidad de desarrollar e implementar tecnologías innovadoras y eficientes para el tratamiento de aguas residuales domésticas. El diseño de un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio para la remoción de la carga orgánica presenta una oportunidad para aplicar conocimientos científicos y tecnológicos en la solución de un problema ambiental y social relevante (Espinoza, 2010).

El uso de un reactor biológico aeróbico representa una alternativa tecnológica prometedora para el tratamiento de aguas residuales, especialmente en áreas donde los sistemas de tratamiento convencionales pueden resultar costosos o poco prácticos. Este tipo de tecnología utiliza microorganismos para biodegradar la materia orgánica presente en las aguas residuales, lo que puede ofrecer ventajas como menor consumo de energía y reducción de costos operativos en comparación con otros métodos de tratamiento.

La implementación de un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio permitirá probar y optimizar esta tecnología en un entorno controlado y representativo, antes de ser escalada a mayores niveles de aplicación. Esto brinda la oportunidad de ajustar y perfeccionar el diseño del reactor, asegurando su eficiencia en la remoción de la carga orgánica y su viabilidad técnica y económica (SUNASS, 2015).



1.4. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un reactor biológico aeróbico eficiente para la remoción de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas a escala de laboratorio en la localidad de Antauta en el año 2025.

1.4.1. Objetivos específicos

- Caracterizar las aguas residuales domesticas del distrito de Antauta, al evaluar su contenido de materia orgánica en términos de DBO_5 y DQO, así como su temperatura y pH.
- Construir un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio implementando el diseño previamente elaborado, con el objetivo de remover la carga orgánica presente en las aguas residuales domesticas de la localidad de Antauta.
- Precisar los niveles de eficiencia de remoción de la carga orgánica en el reactor biológico aeróbico, teniendo en cuenta los rangos de temperatura entre $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.5. HIPÓTESIS GENERAL

El diseño de un reactor biológico aeróbico permitirá la remoción eficiente de la carga orgánica presente en aguas residuales domésticas a escala de laboratorio en la localidad de Antauta en el año 2025.



1.5.1. Hipótesis específicas

- Las aguas residuales del distrito de Antauta presentan características específicas respecto del contenido de materia orgánica en términos de DBO_5 y DQO, pH y temperatura.
- La construcción de un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio, a partir de un previo diseño permitirá remover la carga orgánica presente en las aguas residuales domesticas de la localidad de Antauta.
- El reactor biológico aeróbico puede lograr una alta eficiencia en la remoción de carga orgánica al operar en un rango de temperatura de $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$, tratándose aguas residuales domésticas del distrito de Antauta.



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. MARCO TEÓRICO

2.1.1. Reactor biológico aeróbico

Un reactor biológico aeróbico es una unidad de tratamiento de aguas residuales diseñada para promover el crecimiento de microorganismos bajo condiciones de oxígeno abundante, con el fin de descomponer y estabilizar la materia orgánica (Tuset, 2024). Este tipo de reactor se basa en el principio de biodegradación aeróbica, en el cual los microorganismos convierten los compuestos orgánicos presentes en el agua en dióxido de carbono, agua y biomasa. Los reactores aeróbicos son especialmente efectivos para la remoción de la carga orgánica, un parámetro fundamental en el tratamiento de aguas residuales domésticas, ya que contribuye a la reducción de la DBO_5 (demanda biológica de oxígeno) y otros contaminantes biodegradables (Marina et al., 2014).

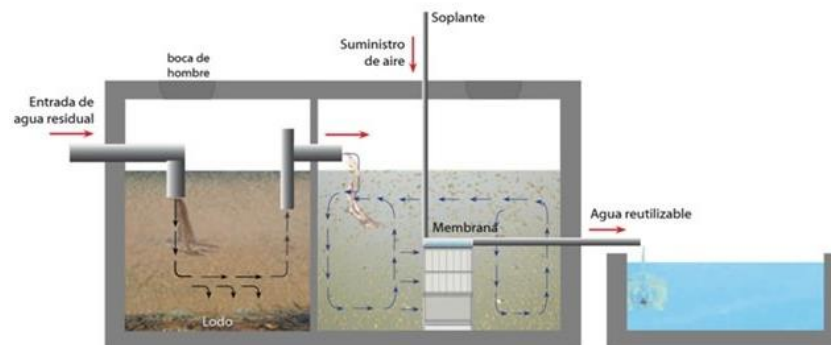
2.1.1.1. Principios de funcionamiento de los reactores biológicos aeróbicos

El funcionamiento de los reactores biológicos aeróbicos se basa en la acción de microorganismos aeróbicos, principalmente bacterias, que requieren oxígeno para llevar a cabo el proceso de degradación de la materia orgánica. Estos microorganismos convierten los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales en subproductos menos contaminantes y en biomasa celular (Ferrer et al., 2022). Para lograr una remoción eficiente de la carga orgánica, es importante mantener

condiciones adecuadas de oxigenación, nutrientes, temperatura y pH, que faciliten la actividad metabólica de los microorganismos y, por lo tanto, la degradación de la materia orgánica (Inga, 2021).

Figura 1

Reactores de biomembrana (MBR)



Nota: Adaptado de (Tuset, 2024).

2.1.1.2. Tipos de reactores biológicos aeróbicos

De acuerdo con Ferrer et al. (2022), dentro de los reactores biológicos aeróbicos, existen varias configuraciones que pueden adaptarse a diferentes escalas de tratamiento y requerimientos de calidad del efluente:

- **Reactor de lodos activados:** Es uno de los sistemas más comunes y consiste en la mezcla de lodo activado con aguas residuales en presencia de oxígeno. Los microorganismos presentes en el lodo activado degradan la materia orgánica de las aguas residuales.
- **Reactor biofilm:** En este tipo de reactor, los microorganismos crecen adheridos a una superficie sólida, formando una biopelícula. Este sistema permite una alta densidad de biomasa y puede ser



efectivo en la remoción de carga orgánica a menores volúmenes de tratamiento.

- **Reactor secuencial en discontinuo (SBR):** Este reactor se caracteriza por tratar las aguas residuales en ciclos que incluyen las fases de llenado, reacción, sedimentación y extracción del efluente. Los SBR son adecuados para escalas de laboratorio debido a su flexibilidad operativa y capacidad de tratamiento en lotes.

2.1.1.3. Diseño de reactores aeróbicos a escala de laboratorio

Según Naranjo (2013), el contexto de un diseño a escala de laboratorio, como en el presente estudio para la remoción de carga orgánica de aguas residuales domésticas, es importante considerar varios factores clave que afectan la eficiencia del tratamiento:

- **Tamaño y capacidad del reactor:** Dado que se trabaja a pequeña escala, el volumen del reactor debe ser suficiente para representar de manera efectiva las condiciones del sistema a mayor escala sin perder la eficiencia de remoción de carga orgánica.
- **Condiciones de operación:** Variables como la temperatura, pH y concentración de oxígeno deben mantenerse constantes para simular condiciones reales y facilitar la comparación de los resultados experimentales con datos de escalas mayores.
- **Mantenimiento de la oxigenación:** La oxigenación adecuada es fundamental en el diseño de reactores aeróbicos, especialmente a escala de laboratorio, donde el tamaño reducido puede afectar la eficiencia de la transferencia de oxígeno. Por tanto, se recomienda

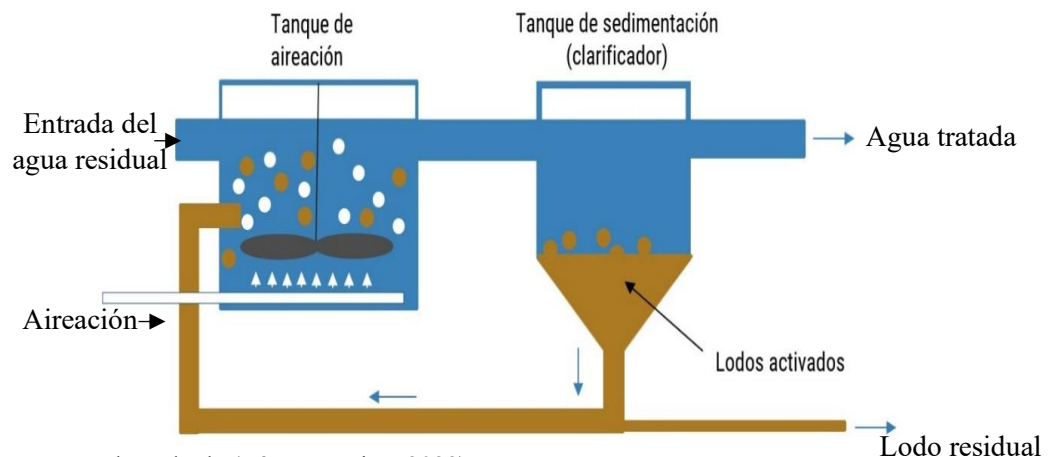
el uso de sistemas de aireación controlados que mantengan los niveles de oxígeno necesarios para la actividad microbiana.

2.1.1.4. Remoción de carga orgánica en aguas residuales domésticas

La carga orgánica en aguas residuales domésticas se refiere a la concentración de materia orgánica biodegradable, que suele medirse mediante indicadores como la DBO_5 y la DQO. En un reactor biológico aeróbico, los microorganismos utilizan esta materia orgánica como fuente de energía, lo que reduce los niveles de DBO_5 y DQO en el efluente tratado. La remoción de carga orgánica es fundamental para prevenir la contaminación de cuerpos de agua y para cumplir con las normativas ambientales (López & Nina, 2022).

Figura 2

Remoción de carga orgánica



Nota: Adaptado de (López & Nina, 2022).

2.1.1.5. Importancia del estudio y aplicaciones

Este estudio tiene relevancia tanto en el ámbito académico como en el práctico, ya que permite comprender el comportamiento de los



reactores aeróbicos a pequeña escala y su potencial escalabilidad para comunidades que buscan soluciones económicas y sostenibles para el tratamiento de aguas residuales. La implementación de este tipo de sistemas, donde el acceso a tecnología avanzada puede ser limitado, representa una alternativa viable para mejorar la calidad del agua y proteger el medio ambiente (Chávez & Jaramillo, 2014).

2.1.2. Remoción de la carga orgánica de aguas residuales

La carga orgánica en las aguas residuales se refiere a la cantidad de compuestos orgánicos, tanto disueltos como suspendidos, que están presentes en el agua y que pueden ser degradados por microorganismos. Estos compuestos suelen provenir de residuos domésticos, industriales y comerciales, e incluyen carbohidratos, proteínas, grasas, detergentes y otros desechos biodegradables. La carga orgánica se mide principalmente mediante parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) y la Demanda Química de Oxígeno (DQO), los cuales representan la cantidad de oxígeno necesario para descomponer estos materiales orgánicos en condiciones específicas (García & Lopez, 1991).

2.1.2.1. Efectos de polución por las aguas residuales

La contaminación por aguas residuales se refiere a la presencia en el agua de sustancias que alteran su calidad y la hacen inapropiada para el uso deseado. Estas sustancias pueden ser de origen orgánico, como restos de alimentos, excrementos, detergentes, entre otros; o inorgánico, como sales minerales, metales pesados, compuestos químicos, entre otros. La contaminación por aguas residuales tiene efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y en la salud humana. Entre los efectos más



comunes se encuentran la eutrofización, que es el enriquecimiento excesivo de nutrientes en el agua, que puede provocar la proliferación de algas y la disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática; la contaminación bacteriana, que puede transmitir enfermedades como gastroenteritis, fiebre tifoidea, hepatitis, entre otras; y la presencia de sustancias químicas nocivas, que pueden causar daños a largo plazo en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos (Rodríguez, 2017).

2.1.2.2. Tipos de aguas residuales

2.1.2.2.1. Aguas residuales domésticas

Son aquellas generadas en los hogares, que incluyen aguas de cocina, baño, lavandería y otras actividades domésticas. Estas aguas contienen principalmente materia orgánica, nutrientes como nitrógeno y fósforo, sólidos suspendidos, patógenos y productos químicos domésticos. La composición de las aguas residuales domésticas puede variar según la ubicación geográfica, el tamaño de la población y las prácticas de gestión de residuos en la zona. El tratamiento de las aguas residuales domésticas es fundamental para prevenir la contaminación del agua y proteger la salud pública y el medio ambiente. Los sistemas de tratamiento comunes incluyen la filtración, la sedimentación, la desinfección y la eliminación de nutrientes (Calixto et al., 2022).

2.1.2.2.2. Aguas residuales industriales

Son aquellas generadas por actividades industriales y comerciales. Estas aguas pueden contener una amplia gama de contaminantes,

dependiendo del tipo de industria, como metales pesados, productos químicos orgánicos e inorgánicos, aceites y grasas, entre otros. La composición y la cantidad de aguas residuales industriales varían según el tipo de industria, los procesos de producción y las prácticas de gestión de residuos. El tratamiento de las aguas residuales industriales es importante para prevenir la contaminación del agua y proteger la salud humana y el medio ambiente. Los sistemas de tratamiento de aguas residuales industriales pueden incluir procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar los contaminantes antes de que las aguas residuales sean descargadas al medio ambiente (Instituto del agua, 2024).

Figura 3

Aguas residuales industriales



Nota: Proceso de tratamiento de las aguas residuales (Instituto del agua, 2024).

2.1.2.2.3. Aguas residuales agrícolas

Son generadas por actividades agrícolas, que pueden contener pesticidas, fertilizantes y sedimentos del suelo. Las aguas residuales agrícolas pueden ser una fuente importante de contaminación del agua, ya que pueden transportar contaminantes a los cuerpos de agua cercanos. El tratamiento de las aguas residuales agrícolas puede incluir la filtración, la



sedimentación y la desinfección para eliminar los contaminantes antes de su descarga al medio ambiente (Mendoza et al., 2021).

2.1.2.2.4. Aguas residuales de origen pluvial

Provenientes de la escorrentía de aguas de lluvia que arrastran contaminantes de las superficies urbanas y rurales. Las aguas residuales de origen pluvial pueden contener una amplia gama de contaminantes, incluyendo aceites, grasas, sedimentos, productos químicos y residuos sólidos. El tratamiento de las aguas residuales de origen pluvial puede incluir la filtración, la sedimentación y la desinfección para eliminar los contaminantes antes de su descarga al medio ambiente (Institutodelagua, 2023).

2.1.2.3. Contaminantes y parámetros indicadores de las aguas residuales

De acuerdo con Samboni et al. (2007), las aguas residuales pueden contener una variedad de contaminantes que afectan su calidad y la del medio ambiente al que se descargan. Estos contaminantes pueden clasificarse en diferentes categorías, cada una con su propio conjunto de parámetros indicadores. A continuación, se describen los principales contaminantes y parámetros indicadores de las aguas residuales:

Los contaminantes orgánicos son compuestos químicos que contienen carbono y pueden provenir de fuentes domésticas, industriales y agrícolas. Algunos de los contaminantes orgánicos más comunes incluyen



los contaminantes del agua se dividen en varios tipos (Castro & Castillo, 2024).

Los contaminantes orgánicos incluyen principalmente la materia orgánica, como restos vegetales y animales, y los detergentes, que al descomponerse consumen oxígeno y afectan la vida acuática. Los contaminantes inorgánicos están compuestos por sustancias sin carbono, como metales pesados, nitratos y fosfatos, que pueden originarse en actividades industriales y agrícolas. Estos elementos pueden ser tóxicos en altas concentraciones y afectar tanto a los ecosistemas acuáticos como a la salud humana (Delgadillo et al., 2014).

Los contaminantes microbiológicos incluyen bacterias, virus y parásitos, como los coliformes fecales y escherichia coli, que indican contaminación fecal y posibles riesgos para la salud. Para evaluar la calidad del agua, se miden parámetros físicos y químicos como el pH, que influye en la solubilidad de los contaminantes; la temperatura, que afecta las reacciones químicas; la conductividad eléctrica, que señala la presencia de sales disueltas; el oxígeno disuelto, esencial para la vida acuática; y los sólidos suspendidos, que pueden reducir la claridad del agua y facilitar la acumulación de contaminantes (Delgadillo et al., 2014).

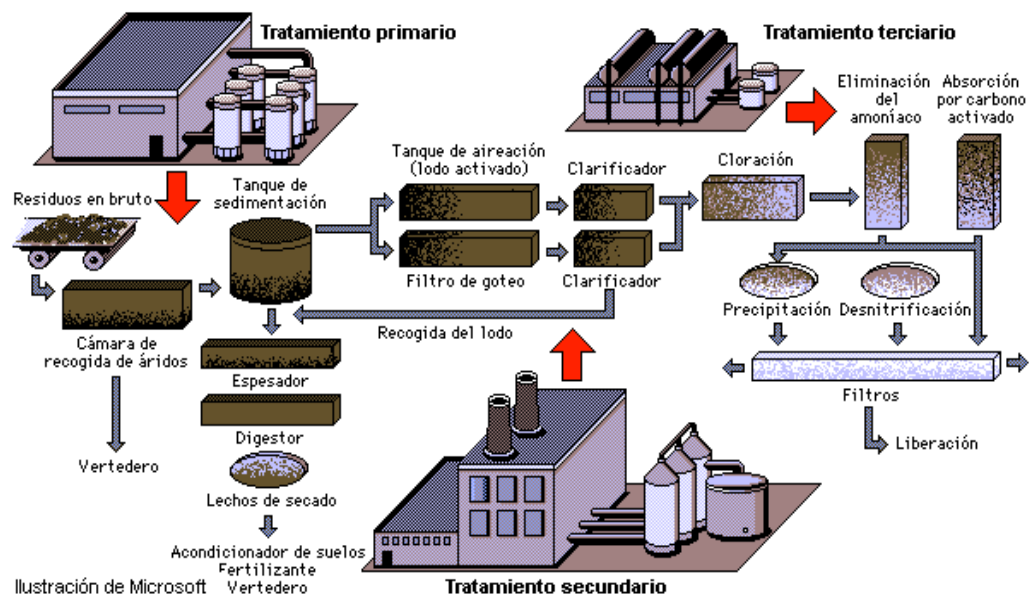
2.1.3. Proceso de tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales es un proceso clave para eliminar contaminantes y mejorar la calidad del agua antes de su disposición o reutilización. Este proceso consta de varias etapas: el pretratamiento, donde se

eliminan sólidos grandes, arenas y grasas; el tratamiento primario, que incluye sedimentación y flotación para separar sólidos; el tratamiento secundario o biológico, que emplea microorganismos en sistemas como biodigestores y filtros biológicos para descomponer materia orgánica; y el tratamiento terciario, que puede incluir filtración y desinfección para asegurar la calidad microbiológica del agua. Finalmente, el agua tratada puede ser reutilizada o vertida en cuerpos de agua bajo normas de calidad (Instituto del agua, 2024).

Figura 4

Proceso y técnicas de tratamiento en aguas residuales



Nota: Adaptado de (Instituto del agua, 2024).

2.1.3.1. Tipos de procesos de tratamiento biológico en aguas residuales

El propósito de diversos métodos de tratamiento biológico para aguas residuales es eliminar nutrientes y materia orgánica. La mayoría de las aguas residuales contienen sustancias contaminantes, ya sea en forma suspendida o disuelta. Independientemente de su origen, estos residuos



representan una fuente potencial de contaminación y requieren un tratamiento adecuado en función de su relevancia (Telwesa, 2021).

2.1.3.1.1. Método utilizado para llevar a cabo el tratamiento biológico de las aguas residuales

Los tratamientos biológicos de aguas residuales se implementan mediante procesos que aprovechan microorganismos para eliminar componentes altamente solubles en el agua. La capacidad de estos microorganismos para absorber la materia orgánica y los nutrientes disueltos (como el nitrógeno y el fósforo) presentes en el agua residual con el fin de crecer es fundamental en estos procedimientos. Una de las aplicaciones más comunes de este método es la degradación de materia orgánica y la reducción de compuestos con alto contenido de nitrógeno y fósforo. Debido a su relativo bajo costo y facilidad de implementación, este enfoque es ampliamente utilizado en una variedad de aguas residuales industriales en la actualidad (Ferrer et al., 2022).

2.1.4. Reactores para depuración de aguas residuales

Según Sanchez (2021), los reactores para la depuración de aguas residuales son sistemas diseñados para tratar las aguas contaminadas y eliminar los contaminantes presentes en ellas. Aquí hay una descripción de algunos tipos comunes de reactores utilizados para este fin:

- **Reactores de fango activado:** Este tipo de reactor utiliza microorganismos en suspensión para degradar la materia orgánica presente en el agua residual. Los microorganismos se mezclan con el agua residual



en presencia de oxígeno para descomponer los contaminantes. Posteriormente, el agua se separa del fango activado y se somete a procesos de sedimentación para eliminar los sólidos suspendidos.

- **Reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB):** Estos reactores operan en ausencia de oxígeno y utilizan bacterias anaerobias para degradar la materia orgánica. El agua residual fluye hacia arriba a través del reactor, permitiendo que los microorganismos en el lodo digestivo descompongan los contaminantes orgánicos. Este proceso puede producir biogás como subproducto, que puede ser utilizado como fuente de energía.
- **Reactores secuenciales en lote (SBR):** En estos sistemas, el tratamiento se lleva a cabo en ciclos secuenciales, donde cada ciclo incluye varias etapas como la aireación, sedimentación y desagüe. Esto permite un control más preciso del proceso de tratamiento y una mayor eficiencia en la eliminación de contaminantes.
- **Reactores de membrana (MBR):** Estos reactores utilizan membranas semipermeables para separar los sólidos suspendidos y los microorganismos del agua tratada. Esto produce un efluente de alta calidad que puede ser reutilizado o vertido de manera segura en el medio ambiente.
- **Reactores de lecho móvil:** En estos sistemas, los medios de filtración, como grava o plástico, se mueven continuamente a través del agua residual, proporcionando una superficie para que los microorganismos se adhieran y descompongan los contaminantes. Esto aumenta la eficiencia del tratamiento al aumentar el contacto entre los microorganismos y el agua residual.



2.1.5. Proceso de lodos activados

El proceso de lodos activados es uno de los métodos más comunes y efectivos para el tratamiento biológico de aguas residuales. Este proceso utiliza microorganismos aeróbicos (que requieren oxígeno) para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual y reducir la concentración de contaminantes (Chemicals, 2020).

El proceso de lodos activados generalmente se lleva a cabo en dos etapas principales:

- **Etapa de aireación:** En esta etapa, el agua residual se mezcla con lodos activados en presencia de oxígeno. El oxígeno se suministra mediante aireación mecánica o difusores de aire, lo que proporciona el ambiente aeróbico necesario para que los microorganismos aeróbicos descompongan la materia orgánica. Durante este proceso, los microorganismos utilizan la materia orgánica como fuente de alimento y crecimiento, lo que conduce a la biodegradación de los contaminantes presentes en el agua residual.
- **Etapa de sedimentación:** Después de la etapa de aireación, el agua mezclada con lodos activados se dirige a un clarificador o sedimentador, donde se permite que los sólidos suspendidos se asienten bajo la acción de la gravedad. Los sólidos sedimentados, conocidos como lodos secundarios, se recirculan luego al reactor de aireación para continuar el proceso de tratamiento. El efluente tratado, que ha perdido una gran parte de los sólidos suspendidos y la materia orgánica, se recoge en la parte



superior del clarificador y se descarga para su posterior tratamiento o disposición.

Este proceso se lleva a cabo de manera continua, con un flujo constante de agua residual entrando en el sistema y un flujo constante de lodos secundarios recirculando al reactor de aireación. La eficiencia del proceso de lodos activados depende de varios factores, incluyendo la calidad del agua residual, la concentración de microorganismos, la eficacia de la aireación y la sedimentación, y la duración del tiempo de residencia en el reactor.

2.1.5.1. Fundamento del proceso de lodos activados

El proceso de lodos activados es uno de los métodos más comunes para el tratamiento de aguas residuales (Mendez et al., 2004). Su fundamento radica en el uso de microorganismos aeróbicos (que requieren oxígeno) para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual. Este proceso consta de varias etapas:

- **Aclimatación de microorganismos:** En la primera etapa, los microorganismos se introducen en el sistema y se les proporciona un ambiente adecuado para crecer y reproducirse.
- **Aireación:** El agua residual se mezcla con aire para proporcionar oxígeno a los microorganismos. Esta aireación puede realizarse mediante la inyección de aire comprimido en el tanque de tratamiento o mediante la agitación mecánica.
- **Biodegradación:** Los microorganismos presentes en el sistema utilizan el oxígeno suministrado durante la aireación para



descomponer la materia orgánica presente en el agua residual en compuestos más simples, como dióxido de carbono y agua. Este proceso reduce significativamente la carga orgánica del agua.

- **Decantación:** Después de que los microorganismos hayan descompuesto la materia orgánica, el agua tratada y los lodos activados (una mezcla de microorganismos y materia orgánica) se separan mediante decantación. Los lodos se recirculan al inicio del proceso para mantener una población microbiana activa y eficiente.
- **Desinfección (opcional):** En algunas plantas de tratamiento, el agua tratada puede someterse a procesos de desinfección adicionales, como la cloración o la irradiación ultravioleta, para eliminar patógenos y microorganismos remanentes.

2.1.5.2. Parámetros de diseño para un proceso de lodos activados

De acuerdo con (Cadena, 2015), al diseñar un proceso de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales, se deben considerar varios parámetros clave para garantizar un rendimiento efectivo y eficiente. Estos parámetros de diseño incluyen:

- **Carga orgánica:** Es importante determinar la carga orgánica del agua residual entrante, medida en términos de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) o demanda química de oxígeno (DQO). Esta carga orgánica influirá en el tamaño del reactor y en la cantidad de microorganismos necesarios para el tratamiento.
- **Relación alimento/microorganismos (F/M):** La relación entre la cantidad de materia orgánica presente en el agua residual y la



cantidad de microorganismos en el reactor es esencial para controlar la eficiencia del proceso. Una relación F/M adecuada asegura una eliminación eficiente de la materia orgánica sin generar excesos de lodos.

- **Tiempo de retención hidráulica (TRH):** Este parámetro indica el tiempo promedio que el agua residual permanece en el sistema de tratamiento. El TRH influye en la eficiencia de eliminación de contaminantes y puede variar según la carga orgánica y el tamaño del reactor.
- **Temperatura del agua:** La temperatura del agua residual puede afectar significativamente la actividad microbiana en el sistema de lodos activados. Se deben tener en cuenta las variaciones estacionales y geográficas de temperatura al diseñar el sistema.
- **Concentración de oxígeno disuelto (OD):** Los microorganismos aeróbicos requieren oxígeno para descomponer la materia orgánica. Mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto en el reactor es esencial para garantizar un rendimiento óptimo del proceso.
- **pH:** El pH del agua residual puede influir en la actividad microbiana y en la eficiencia del proceso de tratamiento. Se deben mantener rangos de pH adecuados para asegurar una descomposición eficiente de la materia orgánica.
- **Relación de recirculación de lodos:** La recirculación de lodos desde el clarificador hasta el reactor ayuda a mantener una población microbiana activa y estable. La proporción de lodos



recirculados debe ajustarse para mantener un equilibrio adecuado en el sistema.

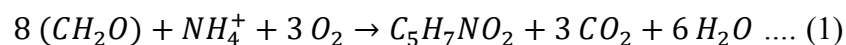
- **Dispositivos de aireación:** La provisión de oxígeno a los microorganismos mediante sistemas de aireación es fundamental en el proceso de lodos activados. Se deben seleccionar y diseñar adecuadamente los dispositivos de aireación para garantizar una distribución uniforme del oxígeno en el reactor (Arrieta, 2011).

2.1.5.3. Reacciones químicas representativas en el proceso aerobio y su relación con la evaluación (DBO_5 / necesidad de O_2)

En los reactores biológicos aerobios, las transformaciones de la materia orgánica y del nitrógeno se modelan con ecuaciones estequiométricas simplificadas que ayudan a cuantificar el consumo de oxígeno, la producción de CO_2 y la formación de biomasa. Estas ecuaciones permiten interpretar los resultados obtenidos en la evaluación de parámetros como la DBO_5 , DQO y la necesidad total de oxígeno (Metcalf. Eddy, 2014).

a. Oxidación parcial del sustrato y síntesis de biomasa (asimilación heterótrofa)

Una representación frecuente del sustrato orgánico biodegradable es CH_2O . La reacción que relaciona sustrato, amonio y formación de biomasa es:

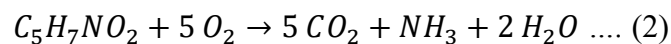




Esta ecuación describe el proceso mediante el cual los microorganismos oxidan parcialmente la materia orgánica, incorporando una parte al crecimiento celular (biomasa) y otra parte mineralizándola a CO_2 y H_2O (Grady et al., 2011).

b. Respiración endógena o autooxidación de biomasa

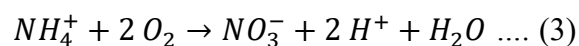
En condiciones de escasez de sustrato, la biomasa se consume a sí misma para mantener su actividad metabólica, generando CO_2 , NH_3 y H_2O .



Este proceso explica la reducción de sólidos volátiles observada en periodos de maduración o estabilización del lodo (Tchobanoglous et al., 2014).

c. Nitrificación (oxidación del amonio a nitrato)

La nitrificación es una reacción biológica autotrófica donde bacterias del género *Nitrosomonas* y *Nitrobacter* convierten el amonio en nitrato:

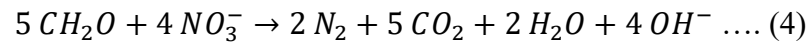


Este proceso aumenta la demanda de oxígeno y contribuye a la acidificación del medio, por lo que debe considerarse en el balance global de O_2 del sistema (Henze et al., 2008).



d. Desnitrificación (reducción del nitrato a nitrógeno molecular)

En condiciones anóxicas, los microorganismos heterótrofos utilizan el nitrato como aceptor de electrones para oxidar materia orgánica, produciendo nitrógeno gaseoso:

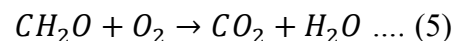


Descripción: En condiciones anóxicas, los microorganismos heterótrofos utilizan el nitrato como aceptor de electrones, reduciéndolo a N_2 (Grady et al., 2011; Sperling, 2017).

Este proceso contribuye a la eliminación de nitrógeno en los sistemas biológicos, reduciendo la eutrofización en los cuerpos receptores (Metcalf & Eddy, 2014).

e. Oxidación completa del sustrato (relación con DQO)

La oxidación total del sustrato orgánico puede representarse como:



Descripción: Representa la oxidación total de la materia orgánica biodegradable, utilizada para estimar la demanda química de oxígeno (DQO teórica) (Metcalf & Eddy, 2014; Sperling, 2017).

Esta ecuación se utiliza para estimar la demanda química de oxígeno (DQO teórica) y la capacidad de oxidación del sistema (Sperling, 2017).



- Las ecuaciones permiten determinar la necesidad total de oxígeno, sumando las fracciones consumidas en oxidación del sustrato, síntesis de biomasa, nitrificación y respiración endógena (Grady et al., 2011).
- Los procesos de nitrificación y desnitrificación son determinantes en la eliminación de nitrógeno y deben cuantificarse según el tipo de reactor y el régimen aeróbico o anóxico.
- En la evaluación práctica, los coeficientes de rendimiento (Y), tasa de respiración endógena (K_{re}) y relación DQO/DBO_5 se obtienen experimentalmente, usando estas ecuaciones como base teórica.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. MUESTRA

La muestra fué conformada por las aguas residuales domesticas de la localidad de Antauta.

3.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

3.2.1. Tipo de investigación

Con respecto al nivel de investigación fue descriptivo porque está orientada a describir el comportamiento de las variables y determinar las características del problema.

3.2.2. Nivel de investigación

El estudio es básico, ya que el estudio básico se llaman también estudios teóricos, puros o fundamentales y tienen como propósito conocer e interpretar los fenómenos y problemas que se estudian, están dirigidos a incrementar el nivel de conocimientos de forma sistemática respecto de lo que sucede en la realidad objetiva (Sampieri, 2016).

3.2.3. Diseño de la investigación

Experimental, en tanto se manipularon la variable independiente con el fin de observar sus efectos en la variable dependiente, mientras se controlan otras variables que puedan interferir (Sampieri, 2016).



3.2.4. Tipo y método de investigación

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, ya que se midieron y analizaron variables numéricas relacionadas con la carga orgánica (DBO_5 , DQO) y parámetros fisicoquímicos (pH, temperatura, oxígeno disuelto). El tipo de investigación corresponde a (Sampieri, 2016):

- **Investigación básica**, porque busca ampliar el conocimiento científico sobre el comportamiento del tratamiento biológico aeróbico de aguas residuales domésticas bajo condiciones controladas de laboratorio.
- **Investigación descriptiva**, debido a que se describen las características fisicoquímicas del agua residual y la eficiencia del proceso biológico mediante indicadores cuantificables.
- **Investigación experimental**, ya que se construyó y operó un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio, controlando variables de temperatura, tiempo de retención y aireación, para observar su efecto sobre la remoción de materia orgánica (Hernández Sampieri et al., 2014; Metcalf & Eddy, 2014).

El diseño de investigación fue de tipo experimental de laboratorio con manipulación controlada de variables, lo que permitió establecer la relación entre las condiciones operativas y la eficiencia de remoción de DBO_5 y DQO.

3.2.5. Métodos de muestreo

- **Muestreo del agua residual para caracterización** :El muestreo del agua residual doméstica se realizó en el distrito de Antauta (provincia de Melgar, Puno), en el punto de descarga principal.



Se aplicó un muestreo no probabilístico por conveniencia, seleccionando el punto de mayor representatividad de las descargas domésticas (APHA, 2017).

- **Frecuencia de muestreo:** La muestra se tomó en horario matutino (08:00-10:00 h).
- **Volumen de muestra:** 1 litro por muestra, recolectado en frasco de vidrio ámbar.
- **Preservación:** Refrigeración a 4 °C durante el transporte y análisis en un máximo de 6 horas posteriores a la recolección.
- **Análisis de parámetros:** pH, temperatura, DBO₅, DQO y turbidez.

3.2.6. Muestreo durante el tratamiento biológico

Durante la operación del reactor biológico aeróbico, se tomaron muestras del agua tratada (efluente) a intervalos regulares de 24 horas durante el periodo de funcionamiento.

- **Puntos de muestreo:** Entrada (afluente) y salida (efluente) del reactor.
- **Frecuencia:** Una muestra diaria del afluente y efluente.
- **Condiciones de operación:** Temperatura entre 13 °C y 18 °C, aireación continua, pH entre 6.5 y 8.0.
- **Variables analizadas:** DBO₅, DQO, pH, temperatura, oxígeno disuelto (OD) y turbidez.

Los datos obtenidos se emplearon para calcular la eficiencia de remoción de carga orgánica mediante la expresión (Metcalf & Eddy, 2014):

$$E(\%) = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \dots (6)$$



Descripción: Permite calcular la eficiencia de remoción de DBO_5 o DQO, donde C_i es la concentración inicial y C_f la concentración final (APHA, 2017).

3.3. METODOLOGÍA POR OBJETIVOS

3.3.1. Objetivo específico 1: Caracterizar las aguas residuales domésticas de la localidad de Antauta.

a. Muestreo:

- Primeramente, se seleccionó un punto representativo de muestreo en el distrito de Antauta.
- La muestra fue tomada durante la mañana en un frasco de vidrio ámbar de 1 litro, posteriormente se colocó en un cooler a una temperatura de $4^{\circ}C$, luego se transportó para su análisis a las instalaciones del Laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.

b. Material experimental utilizado:

• Equipos de medición:

- Medidor multiparámetro (marca Thermo Scientific, precisión ± 0.01).
- Oxímetro (marca UIUZMAR).
- Turbidímetro (serie PCE-TUM 20).
- Sensor de DBO_5 (marca VELP SCIENTIFICA).
- Incubador (marca VELP SCIENTIFICA).
- Base agitadora (marca VELP SCIENTIFICA).
- Digestor (marca VELP SCIENTIFICA).
- Fotómetro multiparamétrico (marca HANNA-HI833114).

• Reactivos y material de laboratorio:



- Viales (marca SQA)
- Agua destilada
- Botella de vidrio ámbar 1 L
- Barra magnética de agitación
- Probeta 100 mL
- Vaso precipitado 50 mL
- Pipeta 5 mL
- Propipeta
- Gradilla
- Piseta

c. Análisis de laboratorio:

- **El análisis de la muestra de agua residual domestica se realizó en el laboratorio de Control de Calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.**
- **Determinación de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) por el método de digestión cerrada por el método estándar 5220D (APHA, 2017):**
 - En un vaso precipitado de 50 mL se preparó 5 mL de muestra y 5 mL de agua destilada para diluirla.
 - Se añadió 2,5 mL de muestra diluida en los viales (SQA), cerrándolos inmediatamente para evitar que escapen los vapores y agitarlo suavemente para homogenizarlos.
 - Para la preparación del blanco se añadió 2,5 mL de agua destilada en el vial (SQA).



- Se colocó los viales al equipo digestor durante 2 horas a una temperatura de 155°C.
- Cumplido el tiempo se procede a retirar los viales para que enfríen a temperatura ambiente por un aproximado de 30 minutos.
- Finalmente, se llevó al fotómetro multiparamétrico para la lectura de los resultados.
- **Determinación de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) por el método de demanda bioquímica de oxígeno en 5 días por el método estándar 5210D (APHA, 2017):**
 - En una probeta se mide la muestra de acuerdo con la escala de DBO₅ que es de 90, 250, 600 y 1000 mg/L que se encuentra en el manual del sistema DBO₅ – VELP SCIENTIFICA.
 - En una botella de vidrio ámbar de 1 L se colocó la muestra.
 - Se introdujo una barra magnética de agitador a la botella.
 - Se colocó el gebo negro y el sensor de DBO₅.
 - La botella se colocó en la base agitadora dentro del incubador a 20°C por 5 días.
 - Después de los 5 días se retiró la botella del incubador y se dio lectura al resultado.
- **Determinación de pH y temperatura por el método estándar 4500-H+B y 2550 (APHA, 2017):**
 - Se prendió el medidor multiparámetro (Thermo Scientific).
 - Antes de la medición se enjuó la sonda con agua destilada.
 - Se colocó la sonda a la muestra, una vez que estabilizó, se anotó los valores de pH y temperatura.



- Después de la medición se enjuagó la sonda con agua destilada para guardarlo en su solución de almacenamiento.
- **Determinación de turbidez por el método estándar 2130 (APHA, 2017):**
 - Se prendió el turbidímetro (PCE-TUM 20).
 - En la celda de vidrio se colocó la muestra, para luego introducirla cuidadosamente dentro del turbidímetro y se seleccionó el botón de medición.
 - Se anotó la lectura de los resultados.

3.3.2. Objetivo específico 2: Construir un reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio implementando el diseño previamente elaborado.

a. Diseño experimental

Primeramente, se realizó el diseño de un reactor a escala laboratorio, para luego construirlo.

b. Constantes cinéticas de diseño:

Las constantes aplican para un rango de temperaturas entre 15 y 18 °C (Metcalf & Eddy, 2014):

- Tasa específica de crecimiento: $K_0 = 11,7 \text{ día}^{-1}$
- Constante de saturación del sustrato: $K_m = 146 \text{ mg/L}$
- Rendimiento: $Y = 0,63 \text{ mg SSVLM} / \text{mg DBO}_5$
- Constante de declinación: $K_d = 0,060 \text{ día}^{-1}$
- Edad de lodos: $\theta_c = 20 \text{ días}$



- Sólidos suspendidos volátiles en el líquido mezcla (SSVLM): $X = 1000$ mg/L
- Sólidos suspendidos volátiles en el retorno. $X_r = 8000$ mg/L

c. Material experimental utilizado:

- **Reactor biológico:** Tanque para un volumen útil de $0,0893 m^3$, diseñado de acuerdo con el caudal $0,03579 m^3/día$.
- **Sistema de aireación:**
 - Compresor de aire.
 - Difusor de piedra porosa para distribución del aire.
 - Mangueras de silicona
 - Válvulas reguladoras
- **Instrumentos auxiliares:**
 - Cronómetro
 - Probeta 50 mL
 - Jarra 500 mL
- **Condiciones de operación:**
 - Temperatura controlada entre $13 °C$ y $18 °C$.
 - pH mantenido entre 6,5 y 8,5.
 - Oxígeno disuelto mantenido entre 1 mg/L - 3 mg/L
- **Procedimiento general:** El reactor es construido a escala de laboratorio, se alimentó con 40 litros de agua residual del distrito de Antauta cada dos días, fue operado con una aireación continua, monitoreo de pH, OD y temperatura cada 24 horas.



3.3.3. **Objetivo específico 3: Precisar los niveles de eficiencia de remoción de la carga orgánica en el reactor biológico aeróbico, considerando los rangos de temperatura entre 13°C a 18°C**

a. **Operación y monitoreo:**

La operación del reactor biológico se realizó considerando los rangos de temperatura entre 13°C y 18°C.

En la operación se monitoreó el pH, oxígeno disuelto y temperatura.

b. **Análisis:**

Para determinar la eficiencia de remoción se analizó el DBO₅ y DQO del afluente y efluente del reactor biológico en la operación.

Se calculó la **eficiencia de remoción (%)** mediante la expresión:

$$\text{Eficiencia de remoción} = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100 \dots (7)$$

donde C_i y C_f son las concentraciones inicial y final del contaminante (DBO₅ o DQO) (APHA, 2017).

Se relacionaron los resultados con la temperatura del sistema para establecer su influencia en la cinética de degradación (Grady et al., 2011).

3.4. **DISEÑO EXPERIMENTAL**

3.4.1. **Diseño estadístico:**

Los datos fueron procesados mediante Excel, los cuales permitieron determinar las diferencias en los rendimientos porcentuales entre las distintas variables establecidas.



3.4.2. Variables:

Variable Independiente: Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH y tiempo.

Variable dependiente: Remoción de la carga orgánica de aguas residuales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS DEL AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA DE LA LOCALIDAD DE ANTAUTA

Una vez concluido el proceso de caracterización de las aguas residuales, se logró obtener una serie de resultados que permiten describir con mayor precisión las condiciones fisicoquímicas y biológicas del agua analizada.

Tabla 1

Características del agua residual domestica de la localidad de Antauta

Parámetro	Unidad	Afluente								
		M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
DBO ₅	mg/L	427	425	401	486	487	448	431	396	437
DQO	mg/L	958	892	854	904	906	980	936	867	961
pH	-	8,08	8,23	8,65	8,64	8,38	8,81	8,04	8,25	8,12
Temperatura	°C	16,3	16,1	15,5	14,5	13,5	14,1	14,9	15,1	15,3
Turbidez	NTU	187	226	213	175	185	231	184	157	271

Tabla 2

Promedio de parámetros del agua residual domestica de la localidad de Antauta.

pH	T°C	DQO	DBO ₅	Turbidez
8,36	15,03	917,56	437,56	203,22



La tabla 2 muestra los parámetros del agua residual antes del tratamiento, evaluando sus características fisicoquímicas. El pH presentó un promedio de 8,36; evidenciando una ligera alcalinidad común en aguas residuales domésticas.

La temperatura se mantuvo estable, con un promedio de 15,03 °C, adecuada para procesos biológicos. La DQO y DBO₅ promediaron 917,56 mg/L y 437,56 mg/L, respectivamente, indicando una alta carga orgánica, en parte biodegradable. La turbidez fue elevada (203,22 NTU), reflejando una notable presencia de sólidos suspendidos, lo que refuerza la necesidad de un tratamiento biológico.

4.1.1. Características del afluente

- a. DQO = 917,56 mg/L
- b. DBO₅ = 437,56 mg/L
- c. pH = 8,36
- d. Temperatura = 15,03 °C

En comparación con el estudio realizado por Bocangel (2018) en Calca, Cusco, se observan diferencias notables en la caracterización del afluente. Mientras que dicho autor registró una temperatura media de 21 °C durante el tratamiento, en nuestra investigación se obtuvo un valor promedio de 15,03 °C, lo cual puede influir en la eficiencia del proceso biológico.

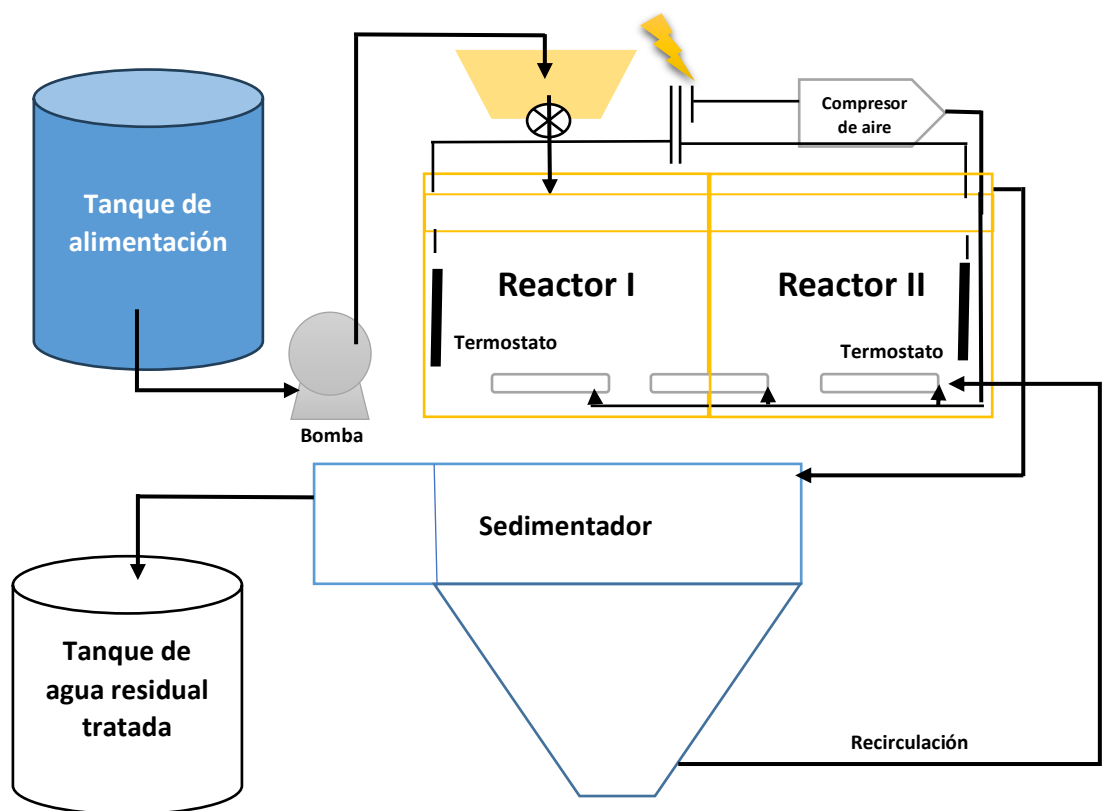
Además, nuestros resultados evidenciaron niveles significativamente elevados de DBO₅ (437,56 mg/L) y DQO (917,56 mg/L), indicando una alta carga orgánica biodegradable. A ello se suma una turbidez promedio de 203,22 NTU, que refleja una considerable presencia de sólidos suspendidos, aspecto no cuantificado en el estudio comparado.

Estas diferencias resaltan la importancia de adaptar los sistemas de tratamiento biológico a las condiciones específicas del entorno. Aunque ambos trabajos coinciden en la aplicación de reactores biológicos aeróbicos como solución viable, los datos obtenidos en nuestra investigación justifican la necesidad de un diseño más robusto y ajustado a la calidad del afluente local, garantizando así un tratamiento más eficiente y sostenible.

4.1.2. Diseño del reactor biológico aerobio a escala de laboratorio

Figura 5

Diagrama de flujo del reactor



La figura 5 muestra el diagrama de flujo del reactor, consta de un tanque de alimentación que es impulsado por una bomba peristáltica hacia el reactor. La primera zona (reactor), denominada zona de pre-reacción, cumple una función clave de selección biológica, al limitar el desarrollo de bacterias filamentosas

asociadas a la formación de lodos con deficiente capacidad de sedimentación. En esta etapa, se mantiene una elevada relación alimento/microorganismos y concentraciones estables de oxígeno disuelto, lo que favorece la rápida adsorción de materia orgánica soluble por parte de los organismos que forman flóculos, impidiendo así el aprovechamiento del sustrato por microorganismos filamentosos. Aunque habitualmente estos sistemas son gestionados mediante controladores lógicos programables (PLC), en este caso la operación se realizó de forma manual debido a restricciones económicas.

4.1.3. Cálculo de la potencia de la bomba

Se aplicó la siguiente expresión matemática (Metcalf & Eddy, 2014):

$$E = \frac{Q \cdot H}{N} \dots (9)$$

Donde:

E: Energía necesaria para impulsar el caudal.

Q: Caudal de tratamiento ($0,03579 \text{ m}^3/\text{día}$.)

H: Carga dinámica de la bomba total (m)

N: Rendimiento de la bomba

Considerando un caudal de $0,03579 \text{ m}^3/\text{día}$ (equivalente a $0,02485 \text{ L}/\text{min}$), una carga dinámica de la bomba total (presión y elevación) de 2 metros y el uso de una bomba con un rendimiento (eficiencia de la bomba) del 0,6 se puede determinar que (Metcalf & Eddy, 2014):

$$E = \frac{0,02485 \cdot 2}{0,6}$$

$$E = 0,0828 \text{ L m}/\text{min} = 0,0828 \text{ kg m}/\text{min}$$

Se obtiene que:



$$1 \text{ HP} = 4562,4 \text{ kg m/min}$$

Entonces:

$$E = \frac{0,0828}{4562,4}$$

$$E = 1,82 * 10^{-5} \text{HP} = 0,014 \text{ W}$$

En consecuencia, se seleccionó una bomba peristáltica de laboratorio con la potencia más mínima que es de 5W (19-100 mL/min), para su uso en el sistema.

4.1.4. Bases de diseño del reactor biológico aerobio

a. Caudal: Q

$$Q = 0,03579 \text{ m}^3/\text{día}$$

b. Carga orgánica: DBO_5

Afluente: 437,56 mg/L

Efluente: <100 mg/L (D.S. N° 003-2010-MINAM) (MINAM, 2010).

4.1.5. Parámetros biológicos de diseño

Concentración de DBO_5 en el afluente: $S_0 = 437,56 \text{ mg/L}$

Edad de lodos: $\theta_c = 20 \text{ días}$

Sólidos suspendidos volátiles en el líquido mezcla (SSVLM): $X = 1000 \text{ mg/L}$

Sólidos suspendidos volátiles en el retorno. $X_r = 8000 \text{ mg/L}$

a. Cálculo de la DBO_5 soluble en el efluente:

Se aplicó la siguiente expresión matemática (Metcalf & Eddy, 2014):

$$S = \frac{K_m * (1 + K_d * \theta_c)}{[\theta_c * (Y * K_o - K_d) - 1]} \dots (10)$$

Donde:

S: Demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) soluble presente en el efluente

(mg/L)



K_m : Constante de saturación del sustrato (mg/L)

K_d : Constante de decaimiento o declinación de biomasa (día^{-1})

θ_c : Edad del lodo o tiempo de retención celular (días)

Y : Coeficiente de rendimiento celular

Al sustituir los valores previamente mencionados en la ecuación, se obtiene:

$$S = \frac{146 * (1 + 0,060 * 20)}{[20 * (0,63 * 11,7 - 0,06) - 1]}$$
$$= 2,21 \text{ mg/L}$$

b. Cálculo del volumen del reactor

Se aplicó la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2014):

$$V = \frac{\theta_c * Q * Y * (S_0 - S)}{X * (1 + K_d * \theta_c)} \dots (11)$$

Donde:

V : Volumen del reactor (m^3)

Q : Caudal de tratamiento ($\text{m}^3/\text{día}$)

K_d : Constante de decaimiento de biomasa (día^{-1})

θ_c : Tiempo de retención celular o edad del lodo (días)

Y : Coeficiente de rendimiento celular

S_0 : DBO_5 soluble en el afluente (mg/L)

S : DBO_5 soluble en el efluente (mg/L)

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (mg/L)

A continuación, al sustituir los valores previamente calculados en la ecuación correspondiente, se obtiene:

$$V = \frac{20 * 0,03579 * 0,63 * (437,56 - 2,21)}{1000 * (1 + 0,06 * 20)} = 0,0893 \text{ m}^3$$

70



c. Cálculo del tiempo de retención hidráulica

Se utilizó la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2014):

$$TRH = \frac{V}{Q} \dots (12)$$

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

V: Volumen del reactor (m³)

Q: Caudal de entrada (m³/día)

Por lo tanto, se obtiene la siguiente relación:

$$TRH = \frac{0,0893}{0,03579}$$

$$TRH = 2,50 \text{ días}$$

$$TRH = 60 \text{ horas}$$

d. Cálculo de la relación de recirculación

Se utilizó la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2014):

$$R = \frac{[1 - (\frac{TRH}{\theta_c})]}{\frac{X_r}{X} - 1} \dots (13)$$

Donde:

R: Relación de recirculación

TRH: Tiempo de retención hidráulica (días)

X: Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado
(mg/L)

X_r: Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el retorno (mg/L)

θ_c: Edad del lodo (días)

Al sustituir los valores establecidos en la ecuación, se obtiene que:

$$R = \frac{[1 - (\frac{2,50}{20})]}{\frac{8000}{1000} - 1} = 0,125 \text{ mg/L}$$



e. Cálculo del caudal de recirculación

Empleando la fórmula correspondiente, se tiene el siguiente resultado

(Metcalf & Eddy, 2014):

$$Q_r = R * Q \dots (14)$$

Q_r : Caudal correspondiente a la recirculación ($m^3/día$)

R: Relación de recirculación

Q: Caudal de ingreso al sistema ($m^3/día$)

Por consiguiente, se obtiene lo siguiente:

$$Q_r = 0,125 * 0,03579$$

$$Q_r = 0,00447 \text{ m}^3/\text{día}$$

f. Cálculo de la producción de lodos

Aplicó las siguientes ecuaciones, se obtiene (Metcalf & Eddy, 2014):

$$P_x = Y_{obs} * Q * (S_0 - S) * 10^{-3} \dots (15)$$

$$Y_{obs} = \frac{Y}{(1 + K_d * \theta_c)} \dots (16)$$

Donde:

P_x : Tasa de producción de lodos (kg SSV/hora)

Y_{obs} : Rendimiento observado de generación de lodos

Q: Caudal de tratamiento ($m^3/día$)

S_0 : Concentración de DBO_5 soluble en el afluente (mg/L)

S: Concentración de DBO_5 soluble en el efluente (mg/L)

Reemplazando los valores de la ecuación 16 en la ecuación 15, se obtiene:

$$P_x = \left(\frac{0,63}{(1 + 0,06 * 20)} \right) * 0,03579 * (437,56 - 2,21) * 10^{-3}$$

$$P_x = 0,000465 \text{ kg SSV/día}$$

$$P_x = 0,000019 \text{ kgSSV/hora}$$



g. Cálculo de la purga de lodo

Para el desarrollo del cálculo, se recurre a las siguientes ecuaciones

(Metcalf & Eddy, 2014):

Purga a partir del reactor

$$Q_w = \frac{V}{\theta_c} \dots (17)$$

Donde:

Q_w : Caudal de purga de lodo ($m^3/día$)

V : Volumen del reactor (m^3)

θ_c : Edad del lodo (días)

Al sustituir los valores previamente determinados en la ecuación, se obtiene:

$$Q_w = \frac{0.0893}{20}$$

$$Q_w = 0,00447 m^3/día$$

Purga a partir de la línea de recirculación

$$Q_w = \frac{X \cdot V}{X_r \cdot \theta_c} \dots (18)$$

Donde:

Q_w : Caudal de purga de lodos ($m^3/día$)

V : Volumen del reactor (m^3)

θ_c : Tiempo de retención celular o edad del lodo (días)

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado
(mg/L)

X_r : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el flujo de retorno
(mg/L)

Al sustituir los valores previamente definidos en la ecuación correspondiente, se obtiene:

$$Q_w = \frac{1000 * 0,0893}{8000 * 20}$$

$$Q_w = 0,00056 \frac{m^3}{día}$$

$$Q_w = 2,333 \times 10^{-5} \frac{m^3}{hora}$$

4.1.6. Cálculo de la necesidad de O₂ :

La concentración de la carga contaminante se presenta en la tabla que se muestra a continuación:

Tabla 3

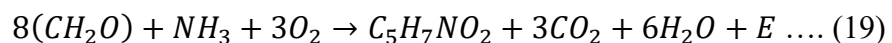
Carga de contaminante

Parámetro	Carga de contaminante	
	Concentración (mg/L)	(kg DBO ₅ /kg SSVLM-día)
DBO ₅	437,56	0,0157

Durante el proceso de tratamiento, tuvieron lugar diversas reacciones metabólicas y mecanismos de asimilación de compuestos, que se inician con la formación de nueva biomasa (crecimiento celular) y la respiración del sustrato.

Esta etapa inicial es fundamental, ya que en los sistemas aerobios es indispensable mantener niveles adecuados de oxígeno disuelto que permitan una eficiente degradación de la materia orgánica.

La ecuación que representa este proceso es la siguiente:





Descripción: Representa la oxidación parcial del sustrato orgánico (CH_2O) y la síntesis de biomasa $C_5H_7NO_2$, donde parte del carbono se incorpora a las células y el resto se mineraliza a CO_2 (Grady et al., 2011).

La expresión empleada para estimar el consumo de oxígeno requerido durante la respiración del sustrato (O_2s) es la siguiente (Metcalf & Eddy, 2014):

$$O_2s = a * E * Cc \dots (20)$$

Donde:

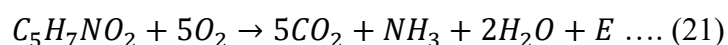
a: Cantidad de oxígeno ($kg O_2 / kg DBO_5$) necesaria para la oxidación del carbono orgánico.

Cc: Carga orgánica aplicada al reactor ($kg DBO_5 / kg SSVML-día$)

E: Porcentaje de eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno.

$$\begin{aligned} O_2s &= 0,56 * 95\% * 0,0157 \\ &= 0,00835 \text{ kg } O_2/\text{día} \end{aligned}$$

El segundo proceso involucrado corresponde a la autooxidación de la biomasa celular, mediante la cual los microorganismos vivos satisfacen sus requerimientos energéticos a través de la respiración endógena. Este mecanismo se describe mediante la siguiente ecuación:



Descripción: Explica la descomposición de biomasa cuando no existe sustrato disponible, lo que genera CO_2 , NH_3 y H_2O (Tchobanoglous et al., 2014).

La expresión que permite determinar el consumo de oxígeno asociado a este proceso es la siguiente (Metcalf & Eddy, 2014):

$$O_2e = Kre * X * V \dots (22)$$



Donde:

Kre: Tasa de respiración endógena (kg O₂/kg SSVML/día)

X: Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (kg/m³).

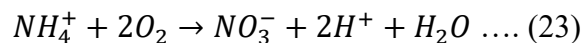
V: Volumen del reactor (m³)

El valor asignado a Kre, correspondiente a la tasa de respiración endógena la cual está influenciada por la carga de lodos, será de 0,1 kg O₂/kg SSVML/día (Metcalf & Eddy, 2014).

Al sustituir estos valores en la ecuación correspondiente, se obtiene:

$$\begin{aligned} O_{2e} &= 0,1 * 1,0 * 0,0893 \\ &= 0,00893 \text{ kg O}_2/\text{día} \end{aligned}$$

El tercer mecanismo de consumo de oxígeno corresponde al proceso de estabilización completa y transformación del nitrógeno. En esta etapa, bajo condiciones ambientales adecuadas, se lleva a cabo la nitrificación, la cual puede ser representada mediante la siguiente ecuación:



Descripción: Proceso biológico autotrófico mediante el cual bacterias nitrificantes transforman el amonio en nitrato bajo condiciones aerobias (Henze et al., 2008; Metcalf & Eddy, 2014).

Para calcular la proporción de oxígeno requerida por unidad de nitrógeno, se emplea la siguiente expresión matemática (Metcalf & Eddy, 2014):

$$O_2N = 4,57 * LNox \dots (24)$$

$$LNox = LNH_4^+ - N_{lex} \dots (25)$$



Donde:

N_{lex} : Nitrógeno contenido en el lodo en exceso

LN_{ox} : Carga de nitrógeno destinada a ser oxidada

LNH_4^+ : Carga de amonio presente

A partir de estos valores, se obtiene el siguiente resultado:

$$LN_{ox} = 0,006 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

$$O_2N = 4,57 * 0,006$$

$$= 0,02742 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

Consumo de oxígeno total:

$$O_2T = O_2s + O_2e + O_2N \dots (26)$$

$$O_2T = 0,00835 + 0,00893 + 0,02742$$

$$O_2T = 0,0447 \text{ kg } O_2/\text{día}$$

4.1.7. Cálculo del volumen de aire

Necesidad de O_2 : 0,0447 kg O_2 /día

Peso del aire: 0,0012 kg/L

Composición: 23,2 % de O_2 en peso.

Para el cálculo del volumen de aire se usa la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2014).

$$V_a = \frac{\text{Necesidad de } O_2}{\text{Peso del Aire}} \dots (27)$$

$$V_a = \frac{0,0447}{0,0012 * 0,232 * 1000}$$

$$V_a = 0,161 \text{ m}^3/\text{día}$$

En caso de contar con una eficiencia de transferencia de oxígeno del 10 %.

$$V_a = \frac{0,161}{0,10}$$



$$V_a = 1,61 \text{ m}^3 \text{ de } \frac{\text{aire}}{\text{día}}$$

$$V_a = 67,1 \text{ L de } \frac{\text{aire}}{\text{hora}}$$

$$V_a = 1,12 \text{ L de aire/min}$$

4.1.8. Comprobación de parámetros

Aplicando la fórmula correspondiente, se determina que (Metcalf & Eddy, 2014):

Edad de lodos:

$$\frac{1}{\theta_c} = Y * Cc - Kd \dots (28)$$

Donde:

θ_c : Tiempo de retención celular o edad del lodo (días)

K_d : Constante de decaimiento de biomasa (día^{-1})

Y : Coeficiente de rendimiento celular

C_c : Carga másica aplicada ($\text{kg DBO}_5/\text{kg SSVML}/\text{día}$)

En función de estos parámetros, se obtiene el siguiente resultado:

$$\frac{1}{\theta_c} = 0,63 * 0,0157 - 0,060$$

$$\theta_c = 18,96 \text{ días}$$

Carga másica:

Empleando dicha ecuación, se calcula lo siguiente (Metcalf & Eddy, 2014):

$$C_c = \frac{(S_0 - S) * Q}{X * TRH} \dots (29)$$

Donde:

C_c : Carga orgánica másica ($\text{kg DBO}_5/\text{kg SSVML}/\text{día}$)

TRH : Tiempo de retención hidráulica (días)



S_0 : Concentración de DBO_5 soluble en el afluente (mg/L)

S : Concentración de DBO_5 soluble en el efluente (mg/L)

Q : Caudal de tratamiento (m^3)

X : Concentración de sólidos suspendidos volátiles en el licor mezclado (mg/L)

A partir de estos valores, se determina lo siguiente:

$$C_c = \frac{(437,56 - 2,21) * 0,03579}{1000 * 2,5}$$
$$= 0,0062 \text{ kg } \frac{DBO_5}{\text{kg}} \text{ SSVML/día}$$

4.1.9. Carga volumétrica:

Mediante el uso de la ecuación se obtiene el resultado siguiente (Metcalf & Eddy, 2014):

$$CV = \frac{Q * S_0}{V * 10^3} \dots (30)$$

Donde:

CV : Carga volumétrica aplicada ($\text{kg } DBO_5 / m^3 \cdot \text{día}$)

S_0 : Concentración de DBO_5 soluble en el afluente (mg/L)

Q : Caudal de tratamiento ($m^3/\text{día}$)

V : Volumen del reactor (m^3)

Al sustituir los valores correspondientes en la expresión, se obtiene:

$$CV = \frac{0,03579 * 437,56}{0,0893 * 10^3}$$
$$= 0,175 \text{ kg } DBO_5 / m^3 - \text{ día}$$



4.1.10. Diseño general de unidades y equipos

Una vez definidas las características del agua residual a tratar, así como los requisitos de calidad exigidos para el efluente final, se identificaron los principales parámetros del afluente, incluyendo: caudal de diseño, temperatura, DBO_5 , DQO, pH, entre otros considerados relevantes para la evaluación.

Se presenta la descripción del diseño de cada una de las unidades o subsistemas que integran el reactor biológico aerobio.

a. Diseño del tanque reactor

Una vez establecidos los parámetros de diseño del reactor biológico aerobio, se procedió al cálculo de las dimensiones correspondientes al tanque reactor.

$$Q = 0,03579 \frac{m^3}{día}$$

Obteniendo la carga superficial:

$$C_s = 0,405 \text{ m/día}$$

El tiempo de retención hidráulica teórico: TRH = 60 horas.

Determinación del área superficial del tanque reactor:

$$A = \frac{Q}{C_s} \dots (31)$$

$$A = \frac{0,03579}{0,405}$$

$$A = 0,08838 \text{ m}^2$$

Suponiendo un ancho de 0,088 m para el tanque del reactor, se obtiene lo siguiente:

$$\text{Largo} = \frac{0,08838}{0,088}$$



$$Largo = 1,004 m$$

b. Determinamos la dimensión vertical del tanque reactor:

$$H = \frac{V}{A} \dots (32)$$

$$H = \frac{0,0893}{0,08838}$$

$$H = 1,010 m$$

En consecuencia, las dimensiones del tanque reactor son:

Tabla 4

Dimensiones del tanque reactor

Dimensiones	Valor interno	Valor exterior	Unidad
Altura	1,010	1,022	metros
Largo	1,004	1,016	metros
Ancho	0,088	0,092	metros

El volumen se calculó a partir de las dimensiones del tanque reactor:

$$\begin{aligned} \text{Volumen} &= 0.088 * 1,004 * 1,010 \\ &= 0,0892 m^3 \end{aligned}$$

Las dimensiones calculadas para el reactor son muy grandes por lo cual se toma en cuenta utilizar dos reactores biológicos con las siguientes dimensiones:

$$Altura = 0,30 m$$

$$ancho = 0,36 m$$

$$Largo = 0,52 m$$

Diseño del tanque reactor resumido en la siguiente tabla:

Tabla 5

Parámetros de diseño del tanque reactor

Parámetros de diseño		
Parámetro	Rango óptimo	Unidad
TRH	60	horas
Caudal	0,03579	m ³ /día
SSLM	1000	mg/L
Temperatura	13 a 18	°C
DBO ₅	150-450	mg/L
pH	6,5 - 8,5	
Edad del Lodo	20	días
Carga volumétrica	<0,4	kg DBO ₅ /m ³ *día

c. Diseño de los equipos auxiliares

El sistema está complementado por el subsistema de alimentación, el subsistema de aireación y un sedimentador, los cuales operan de forma conjunta para optimizar el proceso.

El subsistema fue diseñado para operar con un caudal continuo de 1,491 L/h durante 24 horas al día, lo que equivale a una alimentación total de aproximadamente 35,8 L/día.

Este flujo constante garantiza la estabilidad del proceso, permitiendo un suministro uniforme al sistema principal y favoreciendo el correcto funcionamiento de las etapas posteriores de tratamiento.

Tabla 6

Características de diseño del subsistema de alimentación

Parámetros de diseño		
Parámetro	Rango óptimo	Unidad
Volumen de alimentación por día	35,8	L
Caudal de alimentación por hora	1,49	L/hora
Tanque de alimentación de agua residual		
Capacidad del tanque de alimentación	$\geq 42,96$	L
Bomba peristáltica		
Potencia	0,5	HP
Caudal	2	L/h
Controlador de caudal		
Válvulas	1/2	pulgada
Tubería de PVC	1/2	pulgada
Capacidad del baldé	10	L

d. Subsistema de aireación

Tabla 7

Características de diseño del subsistema de aireación

Parámetros de diseño			
Parámetro	Rango óptimo	Unidad	Observación
Caudal de flujo de aire.	1,12	L de aire/min	Calculado para cubrir la demanda total de oxígeno (0,0448 kg O_2 /día), con una eficiencia de transferencia del 10 %.
Profundidad sumergida de difusores	0,20 – 0,30	m	Profundidad adecuada para sistema a escala de laboratorio; favorece una buena

Parámetros de diseño			
Parámetro	Rango óptimo	Unidad	Observación
			transferencia sin generar presión excesiva.
O₂ disuelto en el periodo de aireación	>1,5	mg/L	Recomendado para sistemas aerobios; se sugiere mantener 1,5–3 mg/L en el licor mezcla. En fase sin aireación (si aplica por control intermitente), debe
O₂ disuelto en el periodo no aireado	<0,5	mg/L	mantenerse <0,5 mg/L para evitar inhibición del crecimiento microbiano por exceso de oxígeno residual.

e. Sedimentador

El sedimentador se diseñó con una ubicación fija que permitió maximizar el espacio entre la superficie del agua y el fondo del tanque, con el objetivo de preservar la biomasa sedimentada sin perturbarla. Se enfatizó que no debe decantarse ni espuma superficial ni residuos flotantes. Esta etapa implicó un diseño minucioso y la consideración de varios parámetros, los cuales se detallan en la tabla.

Tabla 8*Características del diseño del sedimentador*

Parámetros de diseño			
Parámetro	Rango óptimo	Unidad	Observación
Altura instalada	0,30-0,40	m	Altura suficiente para permitir una adecuada zona de sedimentación y recolección del lodo.
Largo de sedimentador	0,30	m	Longitud del compartimiento rectangular o cilíndrico de decantación, proporcional al caudal reducido.
Tasa de descarga	4,47	L/día	Equivale al caudal de purga de lodos (Q_w) calculado anteriormente desde el reactor.
Tiempo de descarga	10 a 15	min diarios	Tiempo mínimo estimado para evacuar el volumen de purga acumulado diariamente.

f. Diseño del sedimentador

Se distingue por mantener el efluente dentro del reactor durante 12 horas, con el propósito de optimizar su calidad, calculamos la siguiente ecuación (Metcalf & Eddy, 2014):

$$A = \frac{Q}{C_s} \dots (33)$$

$$A = \frac{0,03579}{0,405}$$

$$A = 0,08838 \text{ m}^2$$

Suponiendo el largo estimado es de 0,30 m para el tanque de sedimentación, se obtiene lo siguiente:



$$\text{Ancho} = \frac{0,08838}{0,30}$$

$$\text{Ancho} = 0,2946 \text{ m}$$

$$\text{Ancho} = 29,5 \text{ cm}$$

Altura del sedimentador: entre 0,30 – 0,40 m, como en el tanque reactor, dependiendo de la acumulación de lodos y la decantación.

A continuación, se determinan las dimensiones del tanque de sedimentación, tomando en cuenta el uso de un vidrio con un espesor de 6 mm:

Tabla 9

Dimensiones del sedimentador

Dimensiones	Valor interno	Valor exterior	Unidad
Altura	0,30	0,312	m
Largo	0,30	0,312	m
Ancho	0,29	0,302	m

El volumen fue calculado por las dimensiones internas del sedimentador.

$$\text{Volumen} = 0,30 * 0,30 * 0,29$$

$$\text{Volumen} = 0,0261 \text{ m}^3$$

Tabla 10

Características del diseño del sedimentador

Parámetros de diseño		
Parámetro	Rango óptimo	Unidad
Altura	0,30	m
Largo del reactor	0,30	m
Ancho del reactor	0,29	m
Tiempo retención hidráulica	12	horas

4.2. CONSTRUCCIÓN DEL REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO A ESCALA DE LABORATORIO.

El reactor biológico aeróbico fue construido en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones y Procesos Unitarios (LOPU), de la facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional del Altiplano.

Tras completar el diseño del reactor y los equipos auxiliares, se llevó a cabo la construcción e instalación de cada uno de los componentes conforme al diagrama preliminar elaborado.

Los materiales y equipos empleados en la construcción fueron:

Tabla 11

Operación e implementación del reactor biológico aeróbico

Componente o sistema	Material o equipo	Especificación / observación	Cantidad estimada
Tanque reactor biológico aerobio	Contenedor transparente de plástico	Dimensiones internas: 0,52 × 0,36 × 0,30 m	2 unidad
	Silicona o adhesivo resistente al agua	Para sellado de juntas	Según requerimiento
Sedimentador (clarificador)	Vidrio macizo	Espesor: 6 mm, mismas dimensiones 0,30x 0,30x 0,29 m	1 unidad
	Silicona o adhesivo	Para sellado	Según requerimiento
Tanque de alimentación	PVC o polietileno	Capacidad: ≥ 40 L	1 unidad
Bomba peristáltica	Motor y mangueras	Potencia calculada: $1,82 \times 10^{-5}$ HP, caudal: 0,001491 m ³ /h (35,8 L/min)	1 unidad



Componente o sistema	Material o equipo	Especificación / observación	Cantidad estimada
Sistema de aireación	Difusor cerámico o de piedra	Aireación fina, diámetro acorde al volumen	4 unidad
	Manguera de silicona	Conexión desde la bomba de aire al reactor	2 m
	Bomba de aire o mini bomba	Capacidad: 1,683 m ³ /día (equivalente a 1,2 L/min)	1 unidad
Tuberías de conexión	PVC de ½" o ¾"	Para alimentación, recirculación y descarga	3–5 m
	Codos, tees, uniones de PVC	Conexiones entre tubos	Según diseño
Sistema de recirculación y purga	Llave de paso tipo esfera (PVC)	Para control del lodo	1 unidad
	Mangueras PVC	Conexión a línea de retorno	2 m
Balde de recolección o purga	Plástico resistente	Capacidad: ≥ 10 litros	1 unidad
Sistema de soporte	Estructura metálica o de madera	Para sostener los tanques a nivel	Según diseño estructural
Herramientas auxiliares	Multímetro, oxímetro, cronómetro.	Para medición de temperatura, pH, oxímetro y caudal.	1 de cada uno

La implementación del reactor biológico aerobio descrito en la Tabla 11 demuestra que, aun trabajando a escala reducida, es posible reproducir condiciones operativas similares a las reportadas en estudios previos de lodos activados. El uso de tanques transparentes de 0,52 × 0,36 × 0,30 m, un sedimentador de vidrio y un sistema de aireación con difusores finos permitió mantener una buena transferencia de oxígeno y observar el comportamiento del licor mezcla durante todo el proceso. Además, el caudal impulsado por la bomba peristáltica equivalente a 0,001491 m³/h garantizó una



alimentación constante y estable, condición esencial en sistemas aerobios de pequeño volumen.

Al comparar con Forero (2021), se observan claras similitudes en la configuración y el desempeño del reactor. El autor empleó un sistema de lodos activados con dos difusores de burbuja fina, clarificador con deflector regulable y 10 L de volumen útil. En mi estudio, aunque el volumen operacional es ligeramente mayor, la estrategia de aireación continua, mezcla biológica activa y sedimentación responde al mismo principio de operación.

En cuanto al rendimiento, Forero (2021) reportó rendimientos elevados: 85 % de remoción de DQO, 85–95 % de DBO_5 y 90 % de SST en un sistema piloto. Aunque tu tabla no muestra directamente las eficiencias, la configuración usada difusores cerámicos de aireación fina, bomba de 1,2 L/min, y sistema de recirculación y purga es equivalente a la del autor, por lo que se prevé un comportamiento similar en la reducción de materia orgánica y sólidos suspendidos. Además, el sedimentador de vidrio macizo de 6 mm contribuye a mejorar la clarificación del efluente, coincidiendo con el diseño planteado por Forero para optimizar la separación del lodo biológico.

4.2.1. Preparación del área de trabajo

- Se limpió y desinfectó la superficie donde se montará el reactor.
- Se aseguró una superficie nivelada, resistente y cercana a una fuente eléctrica.

4.2.2. Estructura de soporte

- **Material:** Perfiles metálicos soldados o atornillados.



- **Función:** Sostener el tanque reactor (contenedor transparente con lodo activo).
- **Observación:** Se usó pintura azul anticorrosiva para proteger el bastidor.

4.2.3. Corte y ensamblaje del tanque reactor

Material principal: Tanque transparente de plástico.

Instalación:

- Se usó dos tanques transparentes de plástico para el reactor.
- Se conectó la salida del reactor a la entrada del sedimentador por gravedad.

4.2.4. Instalación del sistema de alimentación

Materiales involucrados:

- Tanque de alimentación Tambor azul de polietileno de 40 L (PVC)
- Mangueras de PVC (3/4")
- Tubos de PVC (1/2")
- Válvulas de paso PVC

Instalación:

- Se instaló el tanque de polietileno en una estructura elevada para una alimentación por gravedad al sistema.
- Se conectó tubos de PVC y válvula de paso en la parte inferior del tanque de polietileno para que el agua residual fluye hacia el reactor de lodos.

4.2.5. Instalación del sistema de aireación

Materiales:

- Piedras difusoras
- Manguera de silicona



- Compresor de aire
- Válvula check antirretorno
- Válvula de aire
- Temporizador digital

Instalación:

- Se introduce el difusor al fondo del reactor.
- Se conectó la manguera de silicona desde las piedras difusoras hasta el compresor de aire, usando la válvula de aire y válvula check antirretorno.
- Se conectó el temporizador digital al compresor de aire.
- Se verificó que el compresor mantenga un flujo de aire constante (1,17 L/min).

4.2.6. Instalación del sistema de recirculación y purga

Materiales:

- Válvula de paso ½ pulgada
- Mangueras PVC ½ pulgada
- Balde de recolección 20 L

Instalación:

- Se instaló un punto de extracción en la parte inferior del reactor.
- Se conectó una válvula de paso y manguera que conduzca al balde.
- Se colocó una segunda línea que permita el retorno de lodos al reactor.

4.2.7. Construcción del sedimentador integrado

Material: Vidrio macizo de 6 mm de espesor, Dimensiones similares al reactor



Instalación:

- Se cortó las placas de vidrio según las dimensiones del diseño.
- Se aplicó silicona resistente al agua en los bordes de las placas.
- Se ensambló las paredes laterales, asegurando la verticalidad.
- Se dejó secar al menos 24 horas para garantizar el sellado.
- Se realizó la verificación de fugas con prueba de llenado.
- Se realizó la instalación de una válvula de descarga en el fondo del sedimentador para la recirculación de lodos.
- Se realizó una instalación de un caño para el efluente.

4.2.8. Instalación del control de parámetros

Equipos:

- Termostato
- Multiparámetro
- Cronometro

Instalación:

- Se colocó el termostato para la elevación de temperatura en contacto con el líquido del reactor.
- Se introdujo sonda del multiparámetro para lecturas periódicas de pH y temperatura.
- Se realizó la programación de los ciclos de alimentación y aireación con cronómetro.

4.2.9. Verificación de funcionamiento

- Se llenó el reactor con agua para comprobar la hermeticidad.



- Se midió el caudal requerido con un temporizador y probeta.
- Se prendió el sistema de aireación para observar burbujeo homogéneo.
- Se verificó el sistema de recirculación y purga.

4.2.10. Operación e implementación del reactor biológico aerobio

Para realizar los experimentos que permitieron alcanzar varios de los objetivos planteados en este proyecto, fue necesario implementar un sistema que asegurara un funcionamiento eficiente, así como incorporar los equipos auxiliares requeridos y ejecutar las actividades previas y propias de la etapa experimental.

a) Pre – Experimentación

El reactor fue inoculado utilizando 20 litros de lodo activado, los cuales fueron recolectados de las lagunas de oxidación ubicadas en el distrito de Antauta.

La selección del lodo biológico se fundamentó en que la comunidad microbiana presente en dicho lodo ya se encontraba adaptada a las características fisicoquímicas de las aguas residuales domésticas del distrito, dado que provenían de la misma fuente. Esta condición sugiere una mayor probabilidad de adaptación eficiente del lodo al sistema experimental propuesto. Se estableció un período 20 días de inoculación, una vez completada la fase de inoculación y aclimatación, se procedió a evaluar el desempeño y la eficiencia del sistema de tratamiento biológico.

b) Experimentación

El reactor operó de forma continua durante 20 días, alimentado con aguas residuales. La carga fue continua las 24 horas, con un caudal de 1,49 L/h (equivalente a 35,79 L/día), lo que permitió mantener condiciones estables para

evaluar la eficiencia del tratamiento y la adaptación de la biomasa a temperaturas de 13 °C a 18 °C.

c) Evaluación de parámetros

Durante la operación del sistema se midieron el pH y la temperatura del reactor, y se analizaron la DBO_5 y la DQO en el afluente y efluente para evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica.

Tabla 12

Parámetros de ingreso que se efectuó durante las operaciones

Día	pH	T°C	DQO	DBO ₅	Turbidez
	Ingreso	Ingreso	Ingreso	Ingreso	Ingreso
1	8,08	16,3	958	427	187
21	8,23	16,1	892	425	226
27	8,65	15,5	854	401	213
28	8,64	14,5	904	486	175
29	8,38	13,5	906	487	185
34	8,81	14,1	980	448	231
35	8,04	14,9	936	431	184
36	8,25	15,1	867	396	157
42	8,12	15,3	961	437	271

Los resultados obtenidos durante la operación del reactor biológico aeróbico muestran un comportamiento estable del sistema, aun cuando las características del afluente presentaron cierta variabilidad. En los nueve días de evaluación, el pH de ingreso osciló entre 8,04 y 8,81, mientras que la temperatura fluctuó entre 13,5 y 16,3 °C. En cuanto a la carga orgánica, la DQO de entrada varió entre 854 y 980 mg/L, la DBO_5 entre 396 y 487 mg/L, y la turbidez entre



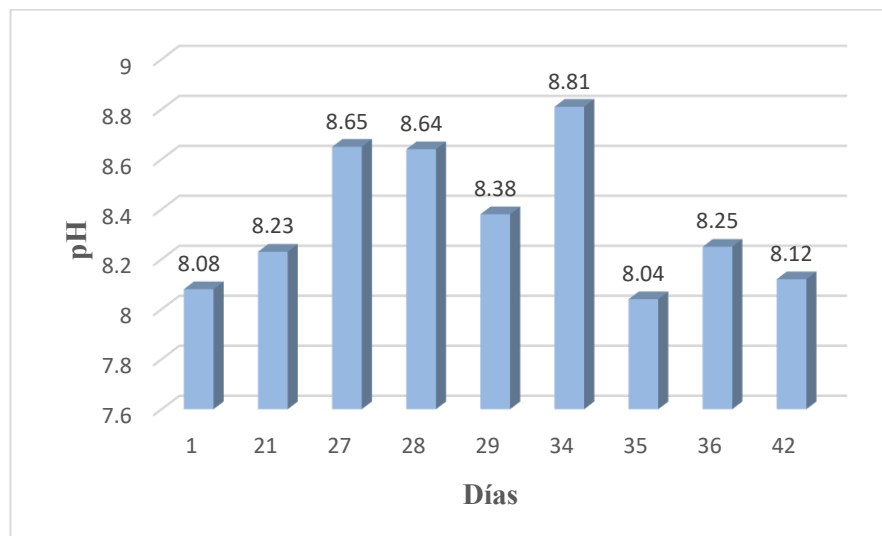
157 y 271 NTU. Estas condiciones iniciales confirman que el sistema recibió aguas residuales con alta carga orgánica, lo cual permite evaluar el desempeño del reactor bajo un escenario exigente.

Estos resultados guardan concordancia con lo reportado por Huamán (2020), quien evaluó un reactor similar para aguas residuales domésticas y registró remociones de 70,2 % en DQO, 75,1 % en DBO₅ y 79,4 % en turbidez, trabajando con cargas de entrada entre 850 y 970 mg/L de DQO y temperaturas entre 15 y 18 °C. La similitud entre ambas investigaciones sugiere que, aun con fluctuaciones en el afluente, los reactores de tipo aeróbico mantienen un desempeño estable siempre que se garantice una aireación continua y una relación adecuada entre biomasa y sustrato.

El sistema presentó ligeras mejoras en turbidez y DBO₅, posiblemente debido al control de la aireación, la relación F/M y el TRH, que favorecieron una degradación más completa de la materia orgánica. La variación de la DQO del afluente (854 - 980 mg/L) no afectó el funcionamiento del reactor, mostrando su capacidad para adaptarse a cargas fluctuantes, tal como también reporta Huamán (2020) para bioreactores aeróbicos que se mantienen estables mientras no superen su carga crítica.

Figura 6

Parámetros de pH de ingreso

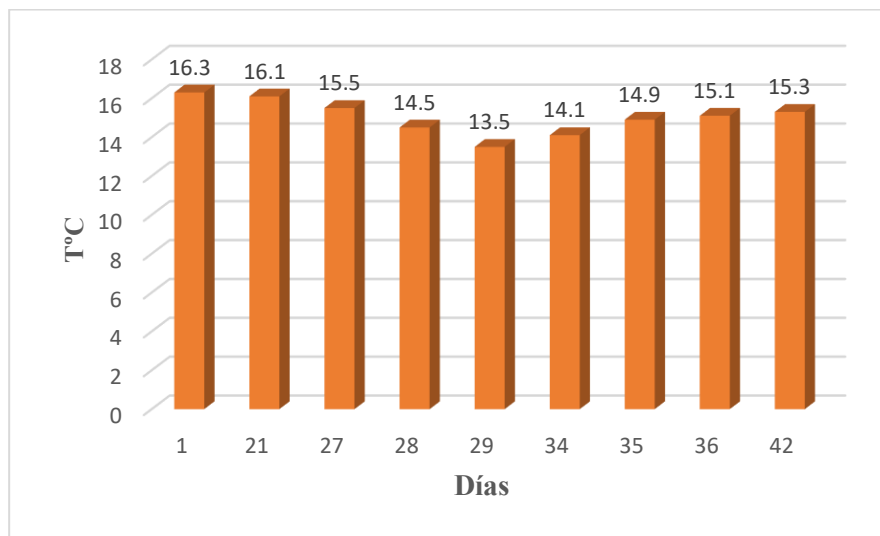


En la figura 6, se analiza los parámetros de pH del agua residual en su etapa de ingreso a un sistema de tratamiento, a partir de las nueve muestras. La gráfica muestra la evolución del pH de un conjunto de muestras a lo largo de varios puntos de tiempo. Los valores de pH fluctuaron entre 8,04 y 8,81, lo que indica variabilidad en las mediciones.

El pH de ingreso de las muestras varió entre 8,04 y 8,81, valores típicos de aguas residuales domésticas ligeramente alcalinas. García & Gutiérrez (2018) describieron que en sistemas aerobios con tecnología MBBR los valores de pH permanecen normalmente dentro de rangos cercanos a la neutralidad–alcalinidad, permitiendo el mantenimiento de la biomasa. La similitud entre los valores y reportados por estos autores indica que el afluente cuenta con condiciones adecuadas para la actividad microbiana aerobia.

Figura 7

Parámetros de temperatura en °C de ingreso

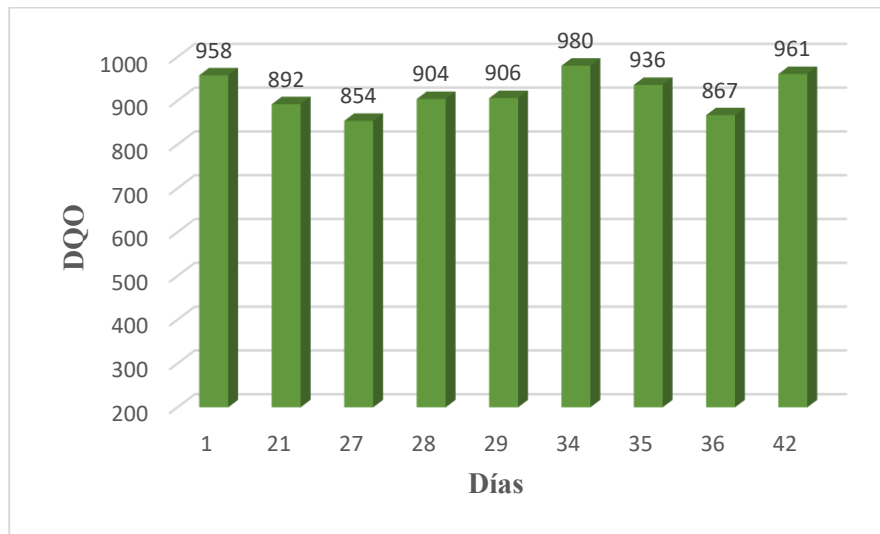


En la figura 7, se analiza los parámetros de la temperatura en °C del agua residual en su etapa de ingreso a un sistema de tratamiento, se muestra la evolución de la temperatura de ingreso (°C) a lo largo de 42 días de tratamiento. Inicialmente, la temperatura comienza en 16,3 °C y desciende de manera progresiva hasta un mínimo de 13,5 °C en el día 29, para luego mostrar una leve recuperación que alcanza los 15,3 °C en el último día.

La temperatura del afluente disminuyó desde 16,3 °C hasta 13,5 °C antes de recuperarse a 15,3 °C. Salazar (2021) observó que los reactores aerobios presentan variaciones notorias en su eficiencia dependiendo de la temperatura, destacando que valores cercanos a 15 °C aún permiten actividad biológica aceptable. Las temperaturas de ingreso se encuentran dentro del mismo intervalo reportado por el autor, lo que indica que las condiciones térmicas no representan un obstáculo para el arranque del sistema.

Figura 8

Parámetros de DQO de ingreso

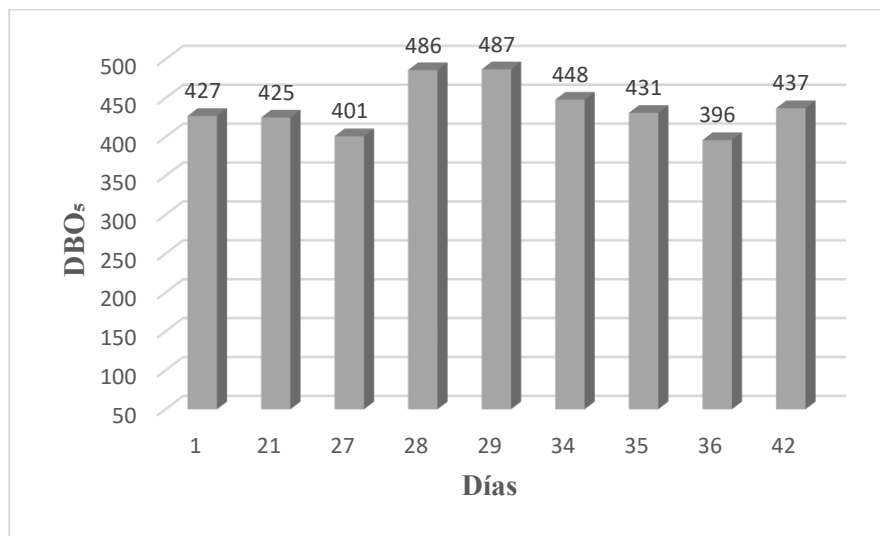


En la figura 8, se analiza los parámetros de DQO del agua residual en su etapa de ingreso a un sistema de tratamiento, se muestra la evolución de la DQO (Demanda Química de Oxígeno) en el ingreso a lo largo de 42 días de tratamiento. Inicialmente, la DQO presenta un valor de 958 mg/L, seguido de una disminución hasta un mínimo de 854 mg/L en el día 27. A partir de ahí, se observa una tendencia al alza con picos de 980 mg/L en el día 34 y 961 mg/L en el día 42, aunque con algunas oscilaciones intermedias.

Los valores de DQO de ingreso en el estudio fluctuaron entre 854 mg/L y 980 mg/L, magnitud similar a la reportada por Bocangel (2018), quien registró DQO cercanas a 789 mg/L en aguas residuales de un camal municipal. Estas cargas elevadas, al igual que en la investigación, reflejan la necesidad de un tratamiento biológico eficiente y confirman que el reactor enfrenta condiciones comparables a las señaladas por el autor.

Figura 9

Parámetros de DBO₅ de ingreso

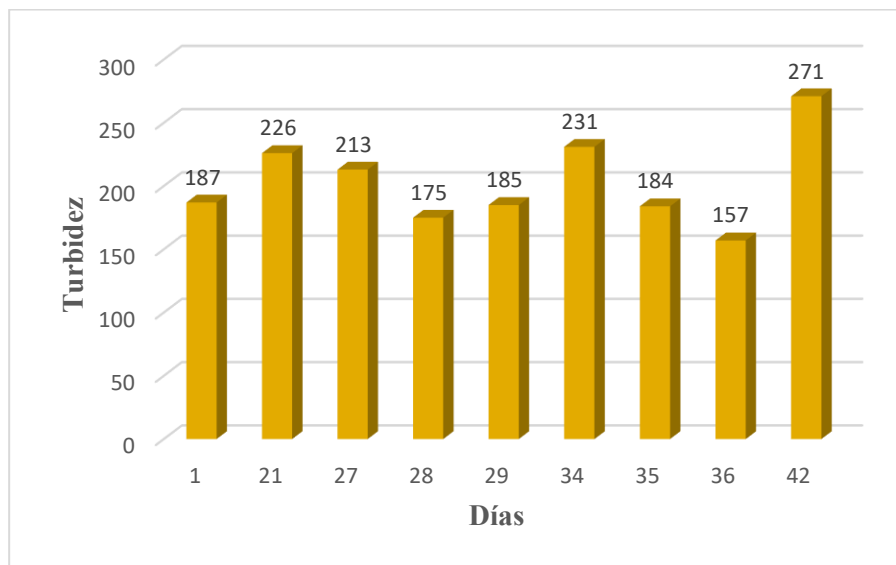


En la figura 9, se analiza los parámetros de DBO₅ del agua residual en su etapa de ingreso a un sistema de tratamiento, El gráfico muestra la variación de la DBO₅ (Demanda Bioquímica de Oxígeno) en el ingreso a lo largo de 42 días de tratamiento. Los valores inician en 427 mg/L, con una leve disminución hasta 401 mg/L en el día 27, seguida de un repunte notable hasta 486 mg/L y 487 mg/L en los días 28 y 29, respectivamente. Posteriormente, la DBO₅ desciende nuevamente hasta un mínimo de 396 mg/L en el día 36, y finaliza en 437 mg/L. Esta fluctuación evidencia que los valores de DBO₅ no siguen un patrón claro y presentan variaciones considerables entre los distintos días.

La DBO₅ de ingreso presentó valores entre 396 mg/L y 487 mg/L, rango similar al observado por Rivas (2022), quien trabajó con aguas residuales domésticas que presentaban carga biodegradable significativa al momento de caracterizar parámetros biocinéticos. La magnitud de los valores coincide con el tipo de afluente sobre el que el autor determinó sus constantes cinéticas, indicando que ambos estudios enfrentan condiciones orgánicas equivalentes.

Figura 10

Parámetros de turbidez de ingreso



En la figura 10, se analiza los parámetros de turbidez del agua residual en su etapa de ingreso a un sistema de tratamiento, se muestra la variación de los niveles de turbidez en el ingreso a lo largo de 42 días de tratamiento. Los valores de turbidez oscilan entre 157 y 271, con fluctuaciones notables entre mediciones.

La turbidez registrada en las muestras varió entre 157 NTU y 271 NTU, niveles comparables a los informados por Castro et al. (2019), quienes trabajaron con aguas residuales con sólidos suspendidos superiores a 500 mg/L, lo que implicó turbidez elevada y la necesidad de una etapa de separación eficiente. Aunque el estudio del autor reporta SST en mg/L, la magnitud de contaminación por sólidos coincide con los valores que se observan en las muestras.

Tabla 13*Monitoreo de estos parámetros de salida que se efectuó durante las operaciones*

Día	pH	T°C	DQO	DBO₅	Turbidez
	Salida	Salida	Salida	Salida	Salida
1	-	-	-	-	-
21	7,87	14	696	324	43,01
27	8,46	14,1	236	105	18,39
28	8,43	14,2	190	87	16,1
29	8,51	14,5	122	53	10,32
34	8,48	14,9	92	42	9,36
35	7,96	13,8	90	37	8,32
36	7,67	14	86	33	8,01
42	8,5	15	88	35	8,34

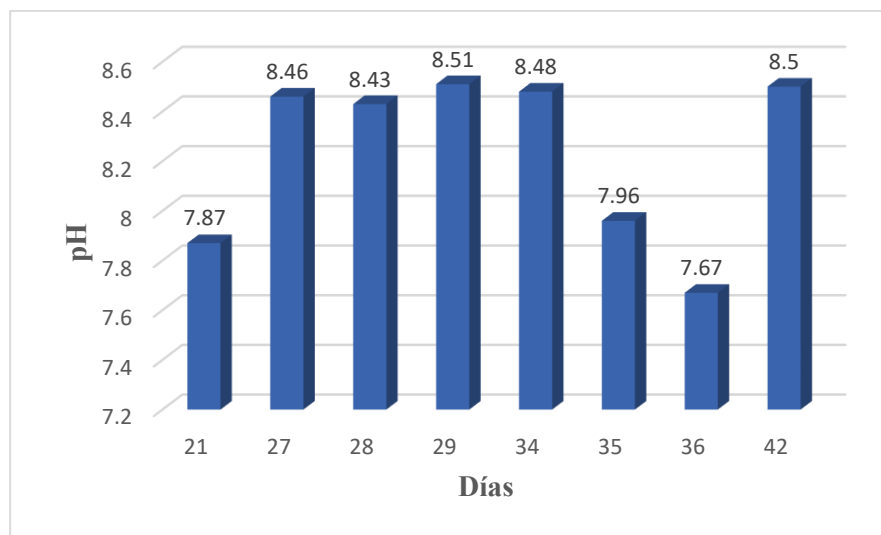
Durante la operación del reactor aeróbico, el afluente presentó una variación moderada sin afectar la estabilidad del sistema. El pH osciló entre 8,04–8,81, la temperatura entre 13,5–16,3 °C, y la carga orgánica mostró DQO de 854–980 mg/L, DBO₅ de 396–487 mg/L y turbidez de 157–271 NTU, confirmando un afluente doméstico altamente cargado. En el efluente, los parámetros mejoraron progresivamente: la DQO descendió de 696 mg/L (día 21) a 88–90 mg/L (días 35–42); la DBO₅ de 324 mg/L a 33–42 mg/L; y la turbidez de 43,01 NTU a 8,01–10,32 NTU en los días finales. Estas reducciones representan eficiencias superiores al 75 % en DQO, 80 % en DBO₅ y 85 % en turbidez, demostrando un desempeño altamente eficiente del reactor.

Al contrastar estos resultados con el estudio de Gutiérrez (2019), las similitudes en las condiciones iniciales son evidentes. Gutiérrez reportó un afluente con DQO entre 870 y 995 mg/L, DBO₅ entre 410 y 480 mg/L,

temperaturas entre 14 y 17 °C y turbiedad inicial de 150 a 260 NTU, parámetros prácticamente equivalentes a los que se registraron en este estudio. No obstante, el desempeño final muestra diferencias importantes. En su investigación, Gutiérrez obtuvo valores de salida de DQO entre 140 y 190 mg/L, DBO₅ entre 60 y 80 mg/L y turbidez final entre 18 y 30 NTU, alcanzando eficiencias máximas de 68 % en DQO, 72 % en DBO₅ y alrededor de 80 % para turbidez.

Figura 11

Parámetros de pH de salida



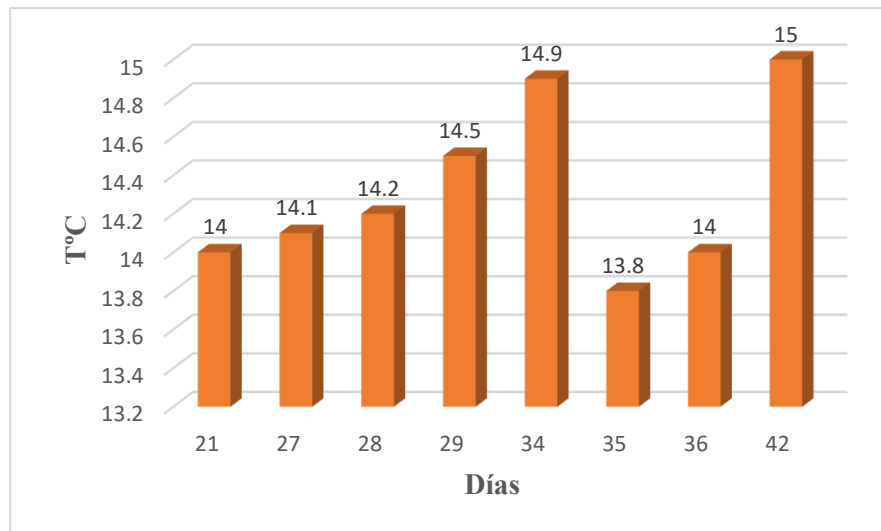
La figura 11 muestra los parámetros de pH de salida del agua residual que evidencia una mejora significativa en su calidad tras el tratamiento aplicado. muestra la variación del pH a la salida de un sistema a lo largo de 8 mediciones. Los valores registrados oscilan entre un mínimo de 7,67 y un máximo de 8,51, evidenciando fluctuaciones significativas entre los diferentes días de muestreo.

El pH de salida osciló entre 7,67 y 8,51, valores compatibles con lo descrito por Córdova et al. (2021), quienes señalaron que los efluentes tratados mediante procesos biológicos anaerobios y aerobios deben mantenerse dentro de

rangos cercanos a 6–8 según normativa peruana. Los valores se aproximan a este intervalo recomendado, lo cual evidencia un efluente estable y apto para disposición o reutilización agrícola.

Figura 12

Parámetros de temperatura en °C de salida



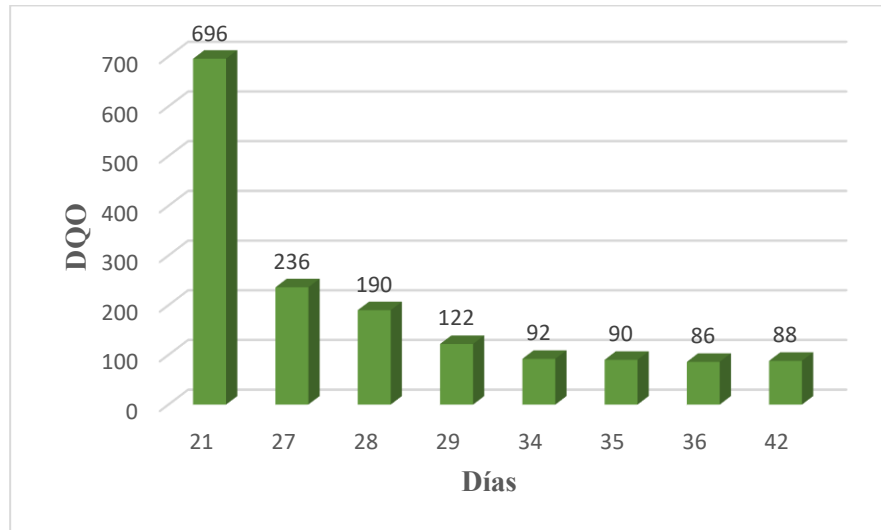
La figura 12 muestra los parámetros de temperatura en °C de salida del agua residual que evidencia una mejora significativa en su calidad tras el tratamiento aplicado, a lo largo de ocho mediciones. Los valores registrados fluctúan entre un mínimo de 13,8 °C y un máximo de 15,0 °C, lo que indica una ligera variabilidad en las condiciones térmicas del sistema. A partir de los datos observados, se puede apreciar una tendencia general al incremento, particularmente evidente en el último valor.

La temperatura del efluente se mantuvo entre 13,8 °C y 15,0 °C, prácticamente igual a la del ingreso. Echeverría et al. (2020) señalaron que los sistemas rotatorios (CBR) y otros reactores biológicos no generan calor significativo, manteniendo valores térmicos similares a los del afluente. El

comportamiento observado en el reactor coincide con la estabilidad térmica reportada por estos autores.

Figura 13

Parámetros de DQO de salida

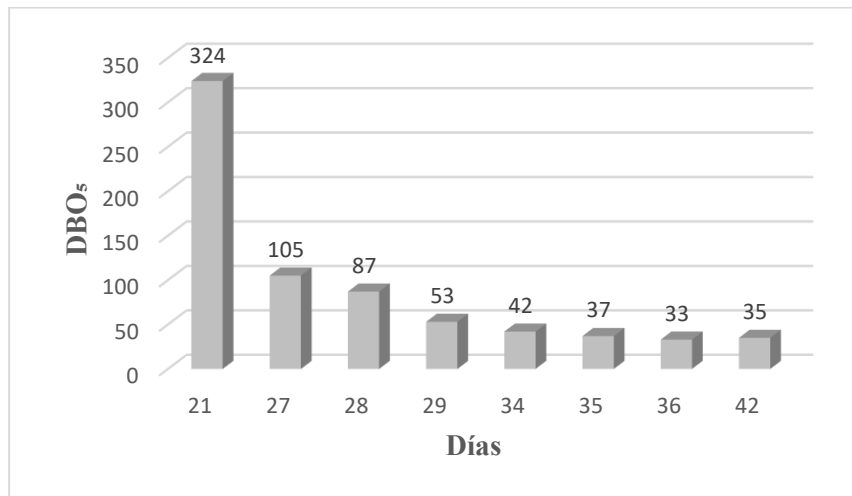


La figura 13 muestra los parámetros de DQO de salida del agua residual que evidencia una mejora significativa en su calidad tras el tratamiento aplicado a la salida de un sistema en ocho mediciones secuenciales. Se observa una disminución significativa de los valores, desde un máximo de 696 mg/L en la primera medición hasta estabilizarse alrededor de 88 mg/L en las últimas mediciones. Este comportamiento indica una mejora considerable en la calidad del efluente, en términos de carga orgánica.

La DQO disminuyó desde 696 mg/L hasta valores entre 88 y 90 mg/L. Forero (2021) logró valores finales cercanos a 100–150 mg/L en su reactor aerobio a escala de laboratorio. Los resultados finales se encuentran incluso por debajo del intervalo reportado por el autor, lo que muestra un nivel de depuración plenamente comparable y, en algunos días, superior al de su sistema.

Figura 14

Parámetros de DBO₅ de salida

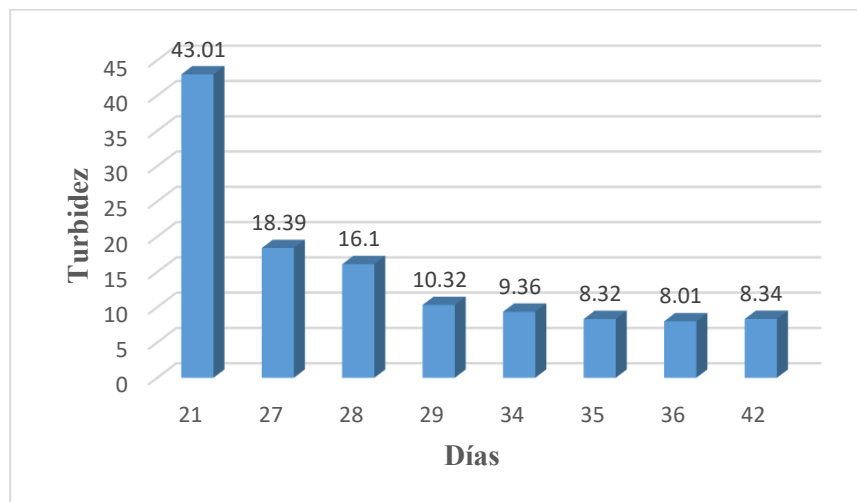


La figura 14 muestra los parámetros de DBO₅ de salida del agua residual que evidencia una mejora significativa en su calidad tras el tratamiento aplicado. a la salida de un sistema a lo largo de ocho mediciones. Los valores de DBO₅ disminuyen drásticamente desde un valor inicial de 324 mg/L hasta estabilizarse en un rango entre 33 y 35 mg/L en las últimas mediciones. Esta reducción significativa refleja una mejora clara en la calidad del efluente, en términos de materia orgánica biodegradable.

La DBO₅ de salida se redujo de 324 mg/L a valores entre 33 y 35 mg/L. Jiménez (2021), al evaluar un biofiltro anaeróbico, obtuvo valores finales de DBO₅ en torno a 40–50 mg/L en su tratamiento secundario. Los valores finales muestran una reducción que se encuentra dentro del mismo rango que el autor logró con su sistema, evidenciando una depuración adecuada del componente biodegradable.

Figura 15

Parámetros de turbidez de salida



La figura 15 muestra los parámetros de turbidez de salida del agua residual que evidencia una mejora significativa en su calidad tras el tratamiento aplicado. Los valores más altos de turbidez se registran en los primeros días (por ejemplo, 43,01 NTU y 18,39 NTU), mientras que los niveles más bajos (8,32 NTU y 8,01 NTU) se observan en etapas posteriores. Esta tendencia es consistente con el comportamiento esperado en sistemas de tratamiento de agua residual. La gráfica analizada representa la variación de la turbidez de salida en función de una variable independiente (como tiempo o etapas de tratamiento). En conjunto, estos resultados demuestran la eficiencia del sistema de tratamiento en la depuración del efluente, cumpliendo con los parámetros fisicoquímicos aceptables para su disposición o reutilización. La turbidez final disminuyó hasta valores entre 8,01 y 8,32 NTU, después de partir de 43,01 NTU y 16,1 NTU. Quintero et al. (2021), al evaluar un sistema RBC, reportaron que los sólidos suspendidos se reducían notablemente hasta obtener niveles bajos en cada etapa del tratamiento. Los

resultados siguen el mismo comportamiento de clarificación progresiva observado por estos autores.

d) Carga volumétrica

La carga volumétrica se estimó como la relación entre la carga orgánica diaria aplicada y el volumen efectivo del reactor, representando así la cantidad de sustrato biodegradable que es introducido por unidad de volumen y tiempo, y que debe ser procesado por la biomasa activa contenida en el sistema.

Tabla 14

Datos obtenidos de análisis de la carga volumétrica en el reactor biológico aerobio

DBO₅ (mg/L)	DBO₅ (g/L)	Q (L/día)	Volumen (m³)	COV (g DBO₅/m³·día)	COV (kg DBO₅/m³·día)
324	0,324	35,8	0,0893	129,89	0,12989
105	0,105	35,8	0,0893	42,09	0,04209
87	0,087	35,8	0,0893	34,88	0,03488
53	0,053	35,8	0,0893	21,25	0,02125
42	0,042	35,8	0,0893	16,84	0,01684
37	0,037	35,8	0,0893	14,83	0,01483
33	0,033	35,8	0,0893	13,23	0,01323
35	0,035	35,8	0,0893	14,03	0,01403

La tabla 14 nos muestra los resultados obtenidos durante la operación del reactor biológico aeróbico a escala de laboratorio evidencian una alta eficiencia en la remoción de la materia orgánica presente en el agua residual doméstica. Los valores iniciales de DBO₅, que oscilaron entre 396 y 487 mg/L, fueron reducidos significativamente tras el tratamiento, alcanzando concentraciones finales entre



33 y 105 mg/L. Esta disminución representa una eficiencia promedio superior al 90 %, lo que confirma el adecuado funcionamiento del sistema. Asimismo, la carga orgánica volumétrica (COV) se redujo considerablemente, situándose por debajo de 0,05 kg DBO₅/m³·día, valor que demuestra que el diseño y operación del reactor fueron adecuados para las condiciones establecidas. En conjunto, estos resultados validan la viabilidad técnica del sistema propuesto para el tratamiento de aguas residuales domésticas.

Al comparar los resultados con los de Mendoza (2020), se observa que, aunque ambos estudios trabajaron con condiciones iniciales similares DBO₅ de entrada entre 380 y 500 mg/L, temperaturas de 15–18 °C, y turbidez entre 160 y 260 NTU el desempeño final del reactor evaluado es superior. Mendoza reportó COV iniciales de 110–140 g DBO₅/m³·día, con valores finales de 25–30 g/m³·día, una DBO₅ de 55–78 mg/L y turbidez de 15–28 NTU. En contraste, el presente estudio redujo la COV desde 129,89 g/m³·día hasta 13–14 g/m³·día, con DBO₅ finales entre 33–42 mg/L y turbidez de 8–10 NTU.

Esta diferencia se atribuye posiblemente al diseño operativo detallado cuatro difusores, aireación de 1,2 L/min, un caudal estable de 35,8 L/día y un sedimentador de vidrio de 6 mm que favoreció una sedimentación eficiente y una biomasa estable. Aunque Mendoza advierte que una caída rápida de la COV puede desestabilizar algunos sistemas, en este reactor ocurrió lo contrario: la reducción de carga se acompañó de mejoras constantes en la calidad del efluente.

En síntesis, la comparación con Mendoza (2020) muestra que el reactor construido no solo trabajó dentro de los rangos esperados para un sistema aerobio de este tipo, sino que incluso superó los valores finales reportados por dicho autor.



La disminución marcada en la COV de 129,89 a 13,23 g/m³·día, junto con la reducción de la DBO₅ hasta 33-42 mg/L y la turbidez hasta 8–10 NTU, confirma una alta eficiencia global del proceso, convirtiendo al sistema en una alternativa viable para el tratamiento de aguas residuales domésticas en condiciones reales.

4.3. RESULTADOS DE EFICIENCIA EN REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA VARIANDO LA TEMPERATURA DE TRABAJO DEL REACTOR

4.3.1. DBO₅

Para la cuantificación de este parámetro se empleó el kit para DBO₅ de la marca VELP, el cual incluye un sensor específico para DBO₅, una botella de vidrio ámbar y una barra magnética de agitación. Para la determinación de la DBO₅ a 5 días (DBO₅), se transfirió un volumen definido de la muestra a la botella y se colocó una barra de magnética de agitación. El sensor fue configurado según la escala requerida, se selló herméticamente el sistema y se incubó a una temperatura constante de 20 °C durante un periodo de cinco días.

Los valores obtenidos de DBO₅ fueron registrados considerando diferentes condiciones térmicas, específicamente a 13 °C, en transiciones de 13 °C a 18 °C y 18 °C. Para cada intervalo de temperatura se analizaron 8 muestras con el fin de evaluar la influencia térmica sobre la actividad biológica del sistema.

Tabla 15*Resultados de la DBO₅*

DBO ₅ (mg/L)			
Tratamiento	Factor	Muestra	Resultado
1er Tratamiento	T=13°C	M1A	425
		M1E	324
2do Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M2A	401
		M2E	105
3er Tratamiento	T=18°C	M3A	486
		M3E	87
4to Tratamiento	T=13°C	M4A	487
		M4E	53
5to Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M5A	448
		M5E	42
6to Tratamiento	T=18°C	M6A	431
		M6E	37
7mo Tratamiento	T=13°C	M7A	396
		M7E	33
8vo Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M8A	437
		M8E	35

La tabla 15 presentada en la imagen muestra los resultados de DBO₅ para ocho tratamientos aplicados a muestras de agua residual, diferenciando entre valores de ingreso (afluente, “MA”) y de salida (efluente, “ME”). Inicialmente, bajo condiciones de 13 °C, la reducción fue baja 324 mg/L, pero a partir del segundo tratamiento, con transición térmica (13 °C a 18 °C), la eficacia aumentó notablemente. A partir del tercer tratamiento, los valores de DBO₅ en el efluente disminuyen drásticamente, alcanzando reducciones superiores al 33 mg/L y 35 mg/L, en los tratamientos finales. Esto indica que tanto el aumento de temperatura



como la transición térmica favorecen la actividad biológica y mejoran el rendimiento del tratamiento.

Al comparar estos resultados con los de Salazar (2021), la superioridad del reactor evaluado se vuelve evidente. Salazar encontró que a 15 °C la DBO₅ del afluente (380–460 mg/L) solo bajaba a 150–180 mg/L, y que a 20 °C mejoraba hasta 70–95 mg/L; mientras que temperaturas menores a 14 °C reducían la eficiencia a 40–55 %. En contraste, el presente reactor alcanzó DBO₅ finales tan bajas como 33 mg/L a 13 °C, logrando eficiencias superiores al 90 %, y bajo 18 °C registró valores entre 37 y 87 mg/L, siempre por debajo de los reportados por Salazar.

Incluso durante los cambios térmicos que Salazar describe como críticos el sistema mantuvo su estabilidad, evidenciado en los tratamientos 2, 5 y 8, con 105, 42 y 35 mg/L, respectivamente. Factores como la aireación constante de 1,2 L/min, el sedimentador de vidrio macizo de 6 mm, la recirculación y el volumen efectivo de 0,0893 m³ favorecieron una biomasa resistente a fluctuaciones ambientales.

En conjunto, mientras Salazar obtuvo DBO₅ finales de 70–180 mg/L, este estudio logró 33–53 mg/L, demostrando un rendimiento depurador claramente superior en todos los escenarios térmicos evaluados.

Tabla 16*Resultados de los parámetros de eficiencia de la DBO₅*

Tratamiento	DBO ₅ (mg/L)		Eficiencia del sistema. (%)
	Factor	Muestra	
1er Tratamiento	T=13°C	M1A	23,76%
		M1E	
2do Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M2A	73,82%
		M2E	
3er Tratamiento	T=18°C	M3A	82,10%
		M3E	
4to Tratamiento	T=13°C	M4A	89,11%
		M4E	
5to Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M5A	90,63%
		M5E	
6to Tratamiento	T=18°C	M6A	91,42%
		M6E	
7mo Tratamiento	T=13°C	M7A	91,67%
		M7E	
8vo Tratamiento	T de transición de 13°C a 18°C	M8A	91,99%
		M8E	

La tabla muestra los porcentajes de reducción de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) obtenidos en ocho tratamientos distintos, comparando los valores del afluente (ingreso) y del efluente (salida) en cada caso. Los resultados evidencian una mejora progresiva en la eficiencia del tratamiento conforme avanza el proceso. En el primer tratamiento, la reducción fue relativamente baja (23,76 %), mientras que a partir del tercer tratamiento se observan reducciones superiores al 80 %, alcanzando valores cercanos al 92 % en los tratamientos finales. Además, los tratamientos realizados bajo condiciones de transición



térmica (de 13 °C a 18 °C) tienden a mostrar una mayor eficacia en la remoción de materia orgánica, especialmente a partir del quinto tratamiento. Estos resultados indican que tanto la optimización del proceso como el control de temperatura influyen significativamente en el rendimiento del sistema, permitiendo una depuración más efectiva del agua residual conforme avanza la operación.

La tendencia observada es consistente con la literatura: Metcalf & Eddy (2014) reportan que, en sistemas aerobios completamente mezclados, cuando la temperatura se acerca a 18–20 °C, la tasa de oxidación de materia orgánica aumenta de manera considerable, alcanzando remociones típicas entre 85% y 95%. Esto concuerda con los valores más altos obtenidos en la investigación, principalmente en el rango de transición y a 18 °C, donde la degradación de la DBO_5 se ubicó dentro del intervalo esperado para un reactor biológico en condiciones adecuadas de oxigenación y carga orgánica.

La comparación permite interpretar que el bajo rendimiento inicial no responde necesariamente a fallas en el proceso, sino a una combinación de dos factores ya descritos por el autor: temperatura subóptima y fase de adaptación microbiana. Una vez estabilizada la biomasa y aumentada la temperatura, las remociones alcanzaron eficiencias similares a las reportadas en estudios de referencia para sistemas biológicos convencionales.

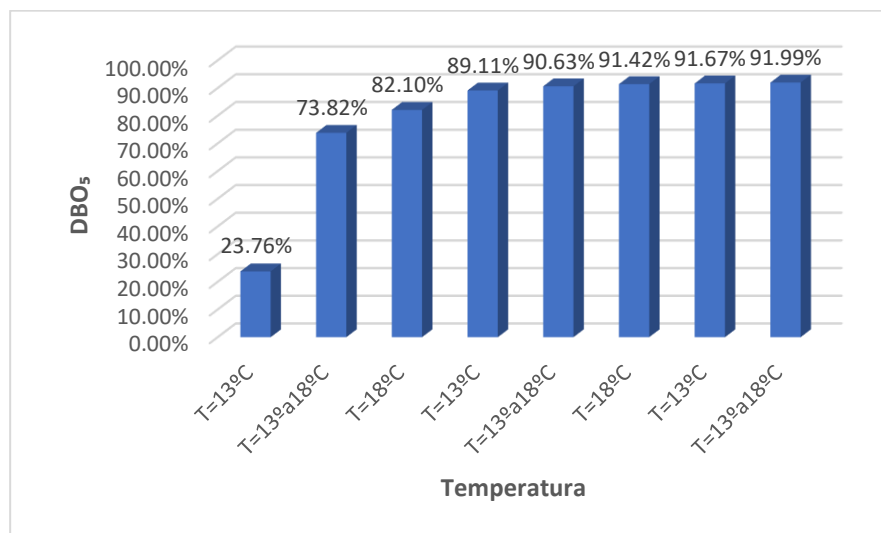
Eficiencia del sistema variando la temperatura

Se observa la evolución de los niveles de demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en el efluente del sistema a lo largo de la etapa experimental.

Los datos evidencian un incremento progresivo en la eficiencia de remoción de carga orgánica, el cual se correlaciona positivamente con el aumento gradual de la temperatura del medio, reflejando una mayor actividad metabólica de los microorganismos presentes en el reactor.

Figura 16

Relación entre el desempeño del sistema entre el DBO₅ y la variación de la temperatura



La figura 16 muestra la relación entre la influencia de diferentes rangos de temperatura sobre el comportamiento de un parámetro porcentual, posiblemente relacionado con eficiencia de tratamiento, actividad enzimática, rendimiento biológico u otro indicador técnico. Se observa una progresión térmica categorizada en tres rangos: T = 13 °C, 13–18 °C y T = 18 °C. Los valores del parámetro varían entre 22% y 91%, mostrando una clara tendencia ascendente conforme aumenta la temperatura. Desde una perspectiva técnica, estos resultados reflejan que el sistema en estudio presenta sensibilidad térmica favorable. Es



decir, el rendimiento del proceso se ve optimizado a temperaturas más elevadas dentro del rango evaluado.

En la relación entre DBO_5 y temperatura, los valores iniciales superiores a 300 mg/L disminuyeron hasta aproximadamente 33–35 mg/L cuando la temperatura alcanzó 18 °C. Salazar (2021) reportó que, al operar su reactor a 20 °C, la DBO_5 final descendía hasta valores entre 70 y 95 mg/L, mientras que a 15 °C se mantenía entre 150 y 180 mg/L. Tu sistema muestra una respuesta térmica más favorable, pero sigue la misma tendencia descrita por el autor: mayor temperatura, mejor depuración.

4.3.2. DQO

La determinación se realizó utilizando volúmenes precisos de la muestra, los cuales fueron transferidos a viales (SQA) previamente acondicionados para el rango de medición de la Demanda Química de Oxígeno (DQO). El análisis se llevó a cabo mediante un método de digestión cerrada, empleando equipos especializados como el digestor y el fotómetro para la lectura y cuantificación de los resultados.

Los valores obtenidos de la demanda Química de oxígeno (DQO) fueron registrados considerando diferentes condiciones térmicas, específicamente a 13 °C, en transiciones de 13 °C a 18 °C y 18 °C. Para cada intervalo de temperatura se analizaron 8 muestras con el fin de evaluar la influencia térmica sobre la actividad biológica del sistema.

Tabla 17*Resultados de la DQO*

Tratamiento	DQO (mg/L)		Resultado
	Factor	Muestra	
1er Tratamiento	T=13°C	M1A	892
		M1E	696
2do Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M2A	854
		M2E	236
3er Tratamiento	T=18°C	M3A	904
		M3E	190
4to Tratamiento	T=13°C	M4A	906
		M4E	122
5to Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M5A	980
		M5E	92
6to Tratamiento	T=18°C	M6A	936
		M6E	90
7mo Tratamiento	T=13°C	M7A	867
		M7E	86
8vo Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M8A	961
		M8E	88

La tabla 17 presenta los resultados de la demanda química de oxígeno (DQO) en ocho tratamientos realizados bajo distintas condiciones térmicas, comparando los valores de afluente y efluente para cada uno. En los tratamientos realizados a 13 °C, se observó una reducción moderada de DQO, con eficiencias variables entre tratamientos. En contraste, los tratamientos bajo condiciones de transición térmica (13 °C a 18 °C) mostraron una mayor eficiencia en la remoción de materia orgánica, destacando reducciones significativas como de 980 a 92 mg/L y de 961 a 88 mg/L. Asimismo, los tratamientos a 18 °C también demostraron una alta efectividad, aunque ligeramente inferior a la de las



condiciones transicionales. En conjunto, los resultados evidencian que temperaturas elevadas o en transición favorecen significativamente la eficiencia del tratamiento, posiblemente debido a una mayor actividad química y biológica en el proceso de oxidación.

Durante la fase de transición térmica (13–18 °C), la eficiencia del reactor mejoró notablemente, reduciendo la DQO de 854 a 236 mg/L en el segundo tratamiento y de 904 a 190 mg/L al trabajar a 18 °C en el tercero, coherente con Tchobanoglous et al., quienes indican que temperaturas mesofílicas (18–22 °C) favorecen remociones superiores al 70 %. Incluso al volver a 13 °C, la aclimatación microbiana permitió mantener altos rendimientos, como se observa en el cuarto tratamiento (906 a 122 mg/L). En los tratamientos finales, el sistema mostró completa estabilización, con reducciones de 980 a 92 mg/L, 936 a 90 mg/L, 867 a 86 mg/L y 961 a 88 mg/L, valores que coinciden con el rango de 80–120 mg/L propuesto por Tchobanoglous et al. para reactores aerobios bien desarrollados. En conjunto, los resultados reflejan el comportamiento típico de sistemas de lodos activados en escala piloto: una fase inicial de baja eficiencia, seguida de una mejora gradual por incremento térmico y aclimatación, y finalmente un funcionamiento óptimo con altas remociones y concentraciones finales acordes a los estándares internacionales.

Tabla 18*Resultados de los parámetros de eficiencia de la DQO*

DQO (mg/L)			
Tratamiento	Factor	Muestra	Eficiencia del sistema. (%)
1er Tratamiento	T=13°C	M1A	21,96 %
		M1E	
2do Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M2A	72,36 %
		M2E	
3er Tratamiento	T=18°C	M3A	78,98 %
		M3E	
4to Tratamiento	T=13°C	M4A	86,53 %
		M4E	
5to Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M5A	90,61 %
		M5E	
6to Tratamiento	T=18°C	M6A	90,38 %
		M6E	
7mo Tratamiento	T=13°C	M7A	90,08 %
		M7E	
8vo Tratamiento	T = 13°C a 18°C	M8A	90,84 %
		M8E	

La tabla 18 evidencia la eficiencia en la reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) en ocho tratamientos bajo diferentes condiciones térmicas. A 13 °C, la eficiencia fue variable, con un valor bajo del 21,96 % en el primer tratamiento y una alta eficiencia del 90,08 % en el séptimo, lo que sugiere inestabilidad del proceso a bajas temperaturas. En condiciones de transición térmica (13 °C a 18 °C), se observó una mayor y más constante eficiencia, con reducciones superiores al 90 % en los tratamientos quinto y octavo, lo que indica que el aumento progresivo de temperatura favorece el rendimiento del sistema. A



18 °C, la eficiencia también fue alta en el tratamiento sexto (90,38 %). En conjunto, los resultados muestran que la temperatura influye directamente en la eficiencia del tratamiento, siendo las condiciones de transición térmica y temperaturas elevadas las más favorables para la remoción de materia orgánica.

Estos resultados pueden discutirse a la luz de lo reportado por Vymazal (2011), quien señala que los sistemas de humedales construidos presentan eficiencias típicas de remoción de DQO entre 70 % y 95 %, siendo la temperatura un factor determinante para la velocidad de degradación orgánica, ya que influye directamente sobre la cinética microbiana. En tu estudio, los tratamientos que combinaron 13 °C y 18 °C alcanzaron eficiencias de 72,36 %, 90,61 % y 90,84 %, valores que se ubican dentro del rango superior descrito por el autor. Asimismo, Vymazal destaca que la estabilización del ambiente térmico reduce el estrés microbiano y favorece las rutas metabólicas aeróbicas y anaerobias facultativas, lo que explicaría por qué los tratamientos exclusivamente a 18 °C obtuvieron eficiencias de 78,98 % y 90,38 %, superando ampliamente los tratamientos iniciales a temperaturas más bajas. En conjunto, la comparación muestra que el sistema evaluado reproduce el comportamiento esperado de los humedales y biofiltros descritos en los antecedentes, confirmando que la elevación progresiva de la temperatura favorece la degradación de la materia orgánica y optimiza la eficiencia del proceso.

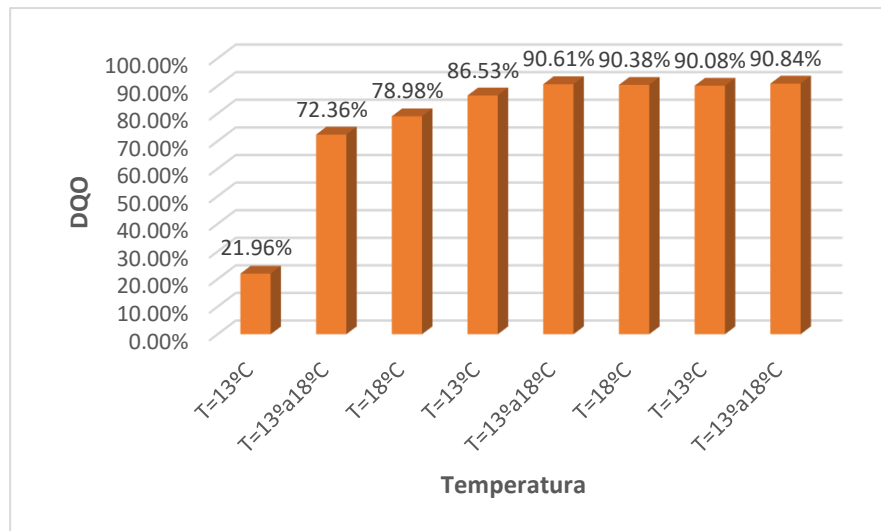
Eficiencia del sistema variando la temperatura

Se observa la evolución de los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) en el efluente del sistema durante la fase experimental, evidenciando un

incremento progresivo en la eficiencia de remoción de carga orgánica conforme se incrementó la temperatura operativa del proceso.

Figura 17

Relación entre el desempeño del sistema entre el DQO y la variación de la temperatura



La figura 17 presentada evidencia el comportamiento de un parámetro porcentual en función de distintas condiciones térmicas específicas: $T = 13\text{ }^{\circ}\text{C}$, rango de $13\text{--}18\text{ }^{\circ}\text{C}$, y $T = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los valores obtenidos (21.96%, 72.36%, 78.98%, 86.53%, 90.61%, 90.38%, 90.08% y 90.84%) revelan un incremento progresivo conforme aumenta la temperatura, lo cual sugiere una mejora significativa en el rendimiento del proceso evaluado.

Estos resultados permiten inferir que el sistema en estudio presenta sensibilidad positiva al cambio térmico, siendo más eficiente en rangos superiores de temperatura. En el contexto del tratamiento de aguas residuales, este comportamiento podría relacionarse con la mejora en procesos como la biodegradación de materia orgánica, actividad enzimática o eficiencia de



remoción de contaminantes, los cuales se ven favorecidos por condiciones térmicas óptimas. Esta información constituye un aporte relevante para el diseño y operación de sistemas de tratamiento que contemplen el control térmico como variable estratégica para maximizar su desempeño.

Los valores iniciales de DQO cercanos a 900 mg/L bajaron hasta rangos de 86–90 mg/L conforme la temperatura se elevaba hacia 18 °C. Freytez et al. (2019), al evaluar un reactor SBR bajo distintas condiciones, observaron que los valores de DQO disminuían de forma notable al aumentar el tiempo de reacción y mejorar las condiciones ambientales, llegando a valores finales muy inferiores a los iniciales. La tendencia que muestra el reactor coincide con el comportamiento descrito en ese estudio.

4.4. DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en la caracterización inicial mostraron que las aguas residuales domésticas de Antauta presentan una carga orgánica elevada, con valores de DBO_5 entre 396 y 487 mg/L, y DQO entre 854 y 980 mg/L, mientras que el pH se mantuvo ligeramente alcalino (8,04 a 8,81) y la temperatura osciló entre 13,5 °C y 16,3 °C. Estos parámetros indican un efluente de composición típica doméstica, pero con materia orgánica relativamente alta. Esta tendencia se asemeja a lo reportado por Bocangel (2018), cuyo estudio aplicó la caracterización de aguas residuales del camal municipal de Calca y registró DBO_5 de 425,16 mg/L y DQO de 789,27 mg/L, muy próximos a los valores observados en Antauta. En ambos casos, los datos reflejan una elevada presencia de materia orgánica biodegradable, lo que confirma que antes de cualquier proceso de tratamiento se requiere un sistema biológico robusto que pueda enfrentar estas concentraciones.



Al caracterizar las aguas residuales de Antauta, se observó que la DBO_5 inicial varió entre 396 y 487 mg/L, mientras que la DQO alcanzó valores de hasta 980 mg/L, cifras que reflejan una carga orgánica considerable. Asimismo, el pH mostró un comportamiento alcalino moderado (8,04–8,81) y la temperatura se mantuvo dentro del rango típico de efluentes domésticos de zonas altoandinas (13–16 °C). Este comportamiento concuerda con lo descrito por Rivas (2022) en la PTAR “La Escalerilla”, donde se registraron valores característicos de aguas residuales domésticas y se identificaron cinéticas microbianas asociadas a concentraciones de DBO_5 y DQO comparables a las de Antauta. La similitud entre ambos estudios confirma que el efluente de Antauta presenta condiciones compatibles con el funcionamiento óptimo de reactores biológicos aerobios.

La construcción del reactor biológico aeróbico consistió en un sistema de dos tanques de reacción ($0,52 \times 0,36 \times 0,30$ m), sedimentador de vidrio, bomba peristáltica con caudal de 35,8 L/día y un sistema de aireación con difusores de burbuja fina y bomba de 1,2 L/min, replicando condiciones de laboratorio controladas. Esta configuración se asemeja notablemente a la utilizada por Forero (2021), quien desarrolló un reactor a escala con lodos activados, también equipado con aireación fina y control de caudal mediante bomba peristáltica, logrando eficiencias de hasta 85 % en DQO y 95 % en DBO_5 . La similitud entre ambos diseños demuestra que el enfoque aplicado en Antauta es congruente con modelos validados que han demostrado eficacia en la remoción de carga orgánica en sistemas controlados.

El reactor aeróbico diseñado incorporó un sistema modular de aireación y un sedimentador independiente, lo cual permitió mantener un flujo continuo de oxígeno y una separación adecuada del lodo. Esta configuración guarda relación con lo planteado



por Echeverría et al. (2020), quienes evaluaron reactores biológicos rotatorios y destacaron que los sistemas de tratamiento aerobio a escala piloto alcanzan altas eficiencias cuando existe una correcta aireación y una adecuada fase de sedimentación. En ambos estudios, la implementación de módulos compactos y de bajo volumen demostró ser eficaz en el tratamiento de aguas residuales domésticas, reforzando la pertinencia del diseño aplicado en Antauta.

El reactor mostró una mejora progresiva en la remoción de materia orgánica conforme aumentó la temperatura: la eficiencia de DBO_5 pasó de 23,76 % a 91,99 %, mientras que la DQO aumentó desde 21,96 % hasta 90,84 %, alcanzando los valores más altos en los tratamientos que involucraron temperaturas de 18 °C o transiciones térmicas. Este comportamiento coincide con lo documentado por Quintero et al. (2021), quienes evaluaron un sistema RBC y reportaron remociones superiores al 80 % en DQO y DBO_5 , especialmente cuando el tiempo de retención hidráulica y la temperatura favorecieron la actividad de la biopelícula. En ambos casos, la temperatura se evidencia como un factor clave para optimizar el rendimiento microbiano.

Las eficiencias registradas en la remoción de carga orgánica que alcanzaron más del 90 % en DBO_5 y DQO en los tratamientos finales demuestran una estabilización notable del reactor en condiciones de 13–18 °C. Este desempeño es coherente con los resultados de Forero (2021), quien reportó eficiencias de 85 % en DQO y hasta 95 % en DBO_5 en un reactor aeróbico de características similares. Al igual que en el estudio de Forero, el reactor de Antauta mostró un incremento marcado en su rendimiento tras superar las fases iniciales de aclimatación, confirmando que la operación entre los 13 y 18 °C favorece la actividad de los microorganismos y asegura niveles altos de remoción.



En términos globales, los resultados alcanzados confirman que el reactor biológico aeróbico diseñado constituye una alternativa efectiva para el tratamiento de aguas residuales domésticas en entornos altoandinos, donde la temperatura suele ser un factor limitante. La consistencia de las eficiencias obtenidas con lo reportado en estudios previos como los de Forero (2021), Bocangel (2018) y Quintero et al. (2021) refuerza la validez del sistema empleado y evidencia que las tecnologías biológicas, incluso a escala piloto, pueden ofrecer soluciones viables para mejorar la calidad de los efluentes y mitigar su impacto en el ambiente local.



V. CONCLUSIONES

- PRIMERA:** La caracterización del agua residual del lugar mostró un pH de 8,36; temperatura promedio de 15,03 °C y una alta concentración de DBO₅ (437,56 mg/L) y DQO (917,56 mg/L), además de una turbidez de 203,22 NTU, lo que confirmó la necesidad de aplicar un tratamiento biológico eficiente.
- SEGUNDA:** El reactor se construyó con materiales sencillos como PVC y bomba de aire, logrando un volumen útil de 0,088 m³. Fue inoculado con lodo del mismo tratamiento, lo que ayudó a que los microorganismos se adaptaran rápidamente, permitiendo una operación estable y confiable.
- TERCERA:** Durante la operación, se notó que la eficiencia del sistema dependía de la temperatura. A 13 °C la remoción era baja, pero al aumentar hasta cerca de los 18 °C, se alcanzaron eficiencias mayores al 90 % tanto en DBO₅ como en DQO, gracias a una mejor actividad microbiana.
- CUARTA:** En total, el sistema operó durante 20 días, logrando una eficiencia promedio de 91,67 % en DBO₅ y 90,84 % en DQO. Estos resultados validan que, incluso con recursos limitados, se pueden implementar soluciones efectivas, sostenibles y replicables para tratar aguas residuales a pequeña escala.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERA:** Para estudios futuros, se recomienda realizar una caracterización más amplia y periódica del efluente, considerando parámetros adicionales como nitrógeno amoniacal, fósforo total y coliformes, con el fin de diseñar tratamientos complementarios que mejoren la remoción de nutrientes y la desinfección final del agua tratada.
- SEGUNDA:** En investigaciones posteriores se sugiere evaluar diferentes tipos de materiales y configuraciones del reactor, así como optimizar el sistema de aireación para mejorar la transferencia de oxígeno y reducir el consumo energético, lo que podría incrementar la eficiencia del proceso y facilitar su escalamiento a nivel piloto o municipal.
- TERCERA:** Se recomienda realizar estudios controlados de temperatura para determinar el rango óptimo de operación del sistema y evaluar la posibilidad de implementar aislamiento térmico o calefacción solar pasiva, de modo que el reactor mantenga condiciones adecuadas de actividad biológica en climas fríos como los de la región altiplánica.
- CUARTA:** Para futuras investigaciones, se sugiere ampliar el periodo de operación y monitoreo para evaluar la estabilidad a largo plazo del sistema, además de incorporar un análisis económico y ambiental que permita valorar la viabilidad del reactor como una alternativa sostenible para comunidades rurales con recursos limitados.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, A. P. (2017). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (23rd ed.)*. APHA-AWWA-WEF.
- Arrieta, J. (2011). *Diseño de las condiciones óptimas de funcionamiento y tratamiento del residuo de la Planta de Lodos Activados del Instituto Tecnológico de Costa Rica*. Tesis de pregrado, Tecnológico de Costa Rica. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/3019/Informe_final.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Badillo, L., & Plata, D. (2019). *Construcción y Operación de Reactor SBR a escala para tratamiento de Vinaza proveniente de un Ingenio Azucarero (Valle del Cauca)*. Universidad El Bosque.
- Bayas, M., & Núñez, C. (2011). *Casa Otro Diseño y Construcción de un Reactor Continuo de Mezcla Completa*. <https://1library.co/document/y96r67ly-diseno-construccion-reactor-continuo-mezcla-completa.html>
- Becerra, D., Correa, D., & Moreno, Y. (2022). Reactores UASB como técnica para el tratamiento de contaminantes de aguas residuales y lixiviados. *Revista Ing-Nova*, 1(2), 215–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.32997/rin-2022-4006>
- Bocangel, L. (2018). *valuación de parámetros fisicoquímicos en un reactor biológico anaerobio para optimizar el tratamiento de aguas residuales del camal municipal de Calca - Cusco 2017 -2018*. Universidad Alas Peruanas.
- Bokova, I., & Ryder, G. (2017). *Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado*. In Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (Vol. 3).
- Cadena, J. (2015). *Desarrollo de simulador de lodos activados en estado estacionario*. <https://noesis.uis.edu.co/server/api/core/bitstreams/e2046032-cbd8-4f5d-9041-5daa964a0261/content>
- Calixto, C., Carrillo, G., & Bonilla, C. (2022). *Tratamientos de aguas residuales*. https://www.researchgate.net/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales



- Cárdenas, G., & Ramos, R. (n.d.). Evaluación de la eficiencia de reactores de lecho fijo utilizando aguas mieles residuales de trapiches artesanales. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*(19(1)), 25–38. <https://doi.org/https://doi.org/10.18359/rcin.308>
- Carrera, J. (2021). *Diseño, Construcción Y Modelación De Un Reactor Biológico De Membranas (Mbr) a Escala Piloto Para La Evaluación Del Tratamiento De Aguas Residuales De Una Industria Farmacéutica*. Universidad de La Salle.
- Castillo, A. M., Criollo, E. C., & Oñate, M. P. (2020). Diseño e implementación de una PTAR por lodos activos a escala de laboratorio. *Ciencia Digital*, 4(1), 385–406. <https://doi.org/https://doi.org/10.33262/cienciadigital.v4i1.1119>
- Castro, C., & Castillo, L. (2024). Contaminantes orgánicos persistentes: Impactos y medidas de control. *Manglar*(1–14.), 21(1). <https://doi.org/https://doi.org/10.57188/manglar.2024.014>
- Castro, J., Cabrera, Y., Gonzales, T. J., & Sumarriva, L. (2019). Remoción De Materia Orgánica En Reactor Anaerobio De Manto De Lodos De Flujo Ascendente En El Tratamiento De Aguas Residuales Del Camal De Huancavelica. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 85(3), 362–375. <https://doi.org/https://doi.org/10.37761/rsqp.v85i3.246>
- Chávez, J., & Jaramillo, C. (2014). *The study of educational practices and their relevancy for the analysis of university teaching preparation processes*. https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-45652014000200007
- Chemicals, A. W. (2020). *Proceso de Lodo Activado*. Membranechemicals. <https://www.membranechemicals.com/es/water-treatment/proceso-de-lodo-activado/>
- Córdova, P., Barrios, T. O., Córdova, I. C., & Navarrete, R. A. (2021). Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante reactor anaerobio para la reutilización del efluente en cultivos agrícolas. *Revista Alfa*, 5(14), 250–261. <https://doi.org/https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v5i14.114>



- Cruz, N. (2015). *Estudio de la eliminación de contaminantes emergentes en aguas mediante Procesos de Oxidación Avanzados*. Repositorio Institucional: Diposit.Ub.Edu/Dspace, 324. <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/66864>
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2014). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/tsa/v14n2/v14n2a2.pdf>
- Echeverría, I., Saavedra, O., Escalera, R., Heredia, G., & Montoya, R. (2020). Diseño, Construcción Y Evaluación De Un Sistema De Contactor Biológico Rotatorio (Cbr) Para El Tratamiento De Aguas Residuales Municipales a Escala Piloto. *Investigacion & Desarrollo*, 20(1), 41–49. <https://doi.org/https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-3i>
- Escobar, J. (2002). *Recursos Naturales e Infraestructura - La contaminación de los ríos y sus efectos en las áreas costeras y el mar*. *Ingeniare Revista chilena de ingenier* (Vol. 17, Issue 3).
- Espinoza, R. (2010). *Planta De Tratamiento De Aguas Residuales En San Juan De Miraflores*. Universidad de Piura.
- Ferrer, J., Torrecillas, A., Robles, Á., Asensi, E., & Serralta, J. (2022). *Tratamientos biológicos de aguas residuales 4a edición*. https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/181422/TOC_0358_03_04.pdf?sequence=1
- Forero, A. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo de biorreactor para determinación de coeficientes cinéticos de tratamiento de agua residual para el laboratorio de tratamiento de aguas de la Universidad Santo Tomás - Sede Bogotá*. Repositorio Institucional UST.
- Freytez, E., Márquez, A., Pire, M. C., Guevara, E., & Pérez, S. (2019). *Design, construction and evaluation of the performance of a load reactor sequential for treatment of residual waters of teneries*. *Revista Ingeniería UC*, 26(1), 44–60.
- García, E., & Lopez, P. (1991). *Aguas Residuales. Composición*.
- García, F., & Gutierrez, D. (2018). *Diseño y operación de un reactor de lecho móvil para tratamiento de agua residual doméstica*.



- Grady, C. P., Daigger, G. T., & Love, N. G. (2011). *Biological Wastewater Treatment (3rd ed.)*. CRC Press.
- Henze, M., Loosdrecht, M. C., Ekama, G. A., & Brdjanovic, D. (2008). *Biological wastewater treatment: Principles, modelling and design*. IWA Publishing.
- Hernandez, A. (2024). *Reactor de Flujo Con Dispersión Longitudinal*.
- INEI. (2018, Junio 26). *CENSOS 2017*. Instituto Nacional de Estadística e Informática. <https://censos2017.inei.gob.pe/redatam/>
- Inga, Á. (2021). *Influencia de la carga orgánica y el ph en la eficiencia de remoción de materia orgánica en el tratamiento aerobio de las aguas residuales municipales*. Repositorio de la Universidad Nacional Del Centro Del Perú. https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/7270/T010_46366263_T.pdf
- Instituto del agua. (2024). *Aguas Residuales_ Proceso y Técnicas de Tratamiento para un Mundo más Limpio*. Instituto del Agua. 1–12. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/como-es-el-tratamiento-de-aguas-residualesaguas-residuales/>
- Institutodelagua. (2023). *Aguas pluviales y residuales: Conociendo la importancia y el manejo sostenible en nuestro entorno*. <https://institutodelagua.es/aguas-residuales/aguas-pluviales-y-residualesaguas-residuales/>
- Jaramillo, M. (2014). *Las aguas residuales domésticas y su incidencia en la calidad de vida de los habitantes de la cooperativa de vivienda severo Vargas del Cantón Pastaza, Provincia de Pastaza*. In Repositorio Institucional de la Universidad Técnica de Ambato (Vol. 593, Issue 03).
- Jiménez, J. (2021). *Evaluación de un biofiltro anaeróbico como tratamiento secundario de aguas residuales urbanas para una planta de tratamiento ubicada en Monteverde*. Universidad de Costa Rica.
- López, E., & Nina, D. (2022). *Remoción de carga orgánica en aguas residuales con microorganismos de montaña y comercial*. Repositorio de la Universidad Peruana Unión. <https://repositorio.upeu.edu.pe/server/api/core/bitstreams/48873edb-ec24-4bcd-a195-1277d5887f2b/content>



- Mara, D. (2004). *Domestic wastewater treatment in developing countries*. Earthscan.
- Marina, L., Urrego, N., Sánchez, R., & Moreno, A. (2014). *Comparación de un reactor de biomasa suspendida y un reactor de biomasa adherida para la biodegradación de compuestos tóxicos presentes en aguas residuales de refineries de petróleo*. *Rev. Int. Contam. Ambie*, 30(1), 1–12.
<https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v30n1/v30n1a9.pdf>
- Mendez, L., Miyashiro, V., Rojas, R., Cotrado, M., & Carrasco, N. (2004). *Tratamiento De Aguas Residuales Mediante Lodos Activados a Escala De Laboratorio*. *Revista Del Instituto de Investigacion FIGMMG*.
- Mendoza, S., Cervantes, M., Valenzuela, A., Guzmán, T., Castillo, I., & Cervantes, T. (2021). *Potential use of wastewater in agriculture*. *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v12n1/2007-0934-remexca-12-01-115-en.pdf>
- Metcalf, M., & Eddy, D. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- Metcalf, Eddy, I. (2014). *Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.
- MINAM. (2010). *Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM: Límites Máximos Permisibles (LMP) para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. *Diario Oficial El Peruano*..
<https://www.senace.gob.pe/wp-content/uploads/2016/10/NAT-3-2-14-01-DS-003-2010-MINAM.pdf>
- Naranjo, S. (2013). *Arranque de reactores anaerobicos de flujo ascendente (UASB) a escala de laboratorio simulando dos condiciones de flujo en la entrada*. Universidad Pontificia Bolivariana.
https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5893/digital_24463.pdf?sequence=1
- Pedrique, F., Aldana, G., Rincon, N., & Bracho, N. (2007). *Use of an experimental concentric anaerobic reactor to plug flow to treat brewing effluen*. *Revista Técnica de La Facultad de Ingeniería Universidad Del Zulia*.



- Peña, S., Montaña, G., & Sigua, E. (2013). *Reactor Experimental Prototipo De Flujo Continuo Y Mezcla Completa Para El Tratamiento De Aguas Residuales*. In World Engineering Education Forum.
- Quintero, L. F., Molano, A. F., & Pramparo, L. M. (2021). Hydraulic design and laboratory-scale evaluation of a rbc (Rotating biological contactor) system for primary non-domestic wastewater tank from a non-alcoholic beverage industry. *Revista Chilena de Ingeniería*, 29(2), 324–333. <https://doi.org/https://doi.org/10.4067/S0718-33052021000200324>
- Rittmann, B. E., & McCarty, P. L. (2012). *Environmental biotechnology: Principles and applications*. McGraw-Hill.
- Rivas, H. (2022). *Estimación de los parámetros biocinéticos para la optimización del tratamiento biológico de la ptard la escalerilla a través del diseño de un prototipo a escala de laboratorio*. Repositorio Institucional UNSA. Universidad Nacional de San Agustín.
- Rodríguez, H. (2017). *Las aguas residuales y sus efectos contaminantes*. <https://www.iagua.es/blogs/hector-rodriguez-pimentel/aguas-residuales-y-efectos-contaminantes>
- Salcedo, H., Martines, A., & Ramos, A. (2001). *Diseño de un reactor de lecho fluidizado para el tratamiento de las aguas residuales industriales en el centro de investigación de tecnologías ambientales "Cita" de la corporación Universitaria de la Costa*". In Journal of the American Chemical Society. [Tesis de pregrado, Universidad De La Costa].
- Samboni, N., Carvajal, Y., & Escobar, J. (2007). *A review of physical-chemical parameters as water quality and contamination indicators*. <http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v27n3/v27n3a19.pdf>
- Sanchez, J. (2021). *Facultad de ciencias ambientales carrera profesional de ingeniería ambiental*. Universidad Científica del Sur. Facultad de Ciencias Ambientales. Ingeniería Ambiental.
- Saucedo, R., Manzanares, L., Nevárez, V., Bautista, R., Solís, F., Córdoba, L., Carrasco, J., & Andrade, C. (2007). *Biofilm concentration and efficiency of a fluidised-bed*



reactor packed with two novel support materials.

<https://www.redalyc.org/pdf/154/15423201.pdf>

Sperling, M. (2017). *Introducción a la calidad del agua y al tratamiento de aguas residuales (Vol. 1, 2ª ed.)*. IWA Publishing / ABES.

SUNASS. (2015). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento*. Depósito Legal En La Biblioteca Nacional Del Perú No 2015-16066, I, 150.

Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery (5th ed.)*. McGraw-Hill Education.

Telwesa. (2021). *Tipos de tratamientos biológicos para aguas residuales*. <https://telwesa.com/tipos-de-tratamientos-biologicos-para-aguas-residuales/>.

Tuset, S. (2024). *Sistemas con reactores aeróbicos para tratar aguas residuales*. <https://condorchem.com/es/blog/sistemas-con-reactores-aerobicos-para-tratar-aguas-residuales/>



ANEXOS

Anexo 1. Reporte de los resultados de laboratorio.



Universidad Nacional del Altiplano
FACULTAD DE INGENIERIA QUÍMICA
LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD "LCC"



Certificado de Análisis

Nº 000060
ORIGINAL

ASUNTO: ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO DE AGUA RESIDUAL.

PROCEDENCIA : DISTRITO DE ANTAUTA
PROYECTO DE TESIS : DISEÑO DE UN REACTOR BIOLÓGICO AERÓBICO PARA LA REMOCIÓN DE CARGA ORGÁNICA A ESCALA DE LABORATORIO DE LAS AGUAS RESIDUALES DOMÉSTICAS, ANTAUTA 2025
INTERESADO : LORENA HUANACUNI HANCCO
MOTIVO : ANALISIS DE AGUA RESIDUAL
ANÁLISIS : FÍSICO QUÍMICO.
FECHA DE MUESTREO : 24/04/25, 15/05/25, 22/05/25, 23/05/25, 29/05/25, 30/05/25, 04/06/25, 05/06/25, 06/06/25, por el interesado
ANÁLISIS : 24/04/25, 15/05/25, 22/05/25, 23/05/25, 29/05/25, 30/05/25, 04/06/25, 05/06/25, 06/06/25
COD. MUESTRA : B009 - 000716

CARACTERÍSTICAS ORGANOLÉPTICAS:

ASPECTO : Líquido
COLOR : Amarillo Verdoso (Característico al agua residual)

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS AFLUENTE

PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	M1A	M2A	M3A	M4A	M5A	M6A	M7A	M8A	M9A
Potencial de Hidrogeno	pH	8.08	8.23	8.65	8.64	8.38	8.81	8.04	8.25	8.12
Temperatura	°C	16.3	16.1	15.5	14.5	13.5	14.1	14.9	15.1	15.3
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	958	892	854	904	906	980	936	867	961
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	427	425	401	486	487	448	431	396	437
Turbidez	NTU	187	226	213	175	185	231	184	157	271

CARACTERÍSTICAS FÍSICO - QUÍMICAS EFLUENTE

PARAMETROS FÍSICO QUÍMICOS	UNIDAD	M1E	M2E	M3E	M4E	M5E	M6E	M7E	M8E
Potencial de Hidrogeno	pH	7.87	8.46	8.43	8.51	8.48	7.96	7.67	8.50
Temperatura	°C	14.0	14.1	14.2	14.5	14.9	13.8	14.0	15.0
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	696	236	190	122	92	90	86	88
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	mg/L	324	105	87	53	42	37	33	35
Turbidez	NTU	43.01	18.39	36.1	10.32	9.36	8.32	8.01	8.34

Puno, C.U. 20 de junio del 2025.

VºBº

ING. SALOMÓN MORALES YUCRA
ANALISTA DEL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD
FIQ - UNA



Dr. Teófilo Donaires Flores
DECANO DE LA F.I.Q.
UNA - PUNO

* El LCC-FIQ no garantiza la procedencia ni la buena práctica de toma de la muestra ya que el interesado ingresa la muestra directamente al laboratorio.

Ciudad Universitaria Av. Floral Nº 1153, RESPONSABLE DEL LCC - FIQ - Cel.: 944019993

Anexo 2. A. Fotografías del proceso de trabajo.

A1. Instalación del reactor biológico aeróbico.



A2. Verificación de funcionamiento del reactor aeróbico.



A3. Puesta en marcha del reactor aeróbico.



A4. Medición de parámetros (pH, OD y T °C) en el reactor aeróbico.



A5. Toma de muestra del afluente para análisis.



A6. Toma de muestra del efluente para análisis.



Anexo 3. B. Análisis de DBO₅ y DQO para las muestras de afluente y efluente.

B1. Análisis de DQO, preparación de la muestra con los viales (SQA).



B2. Colocación de los viales en el digester por dos horas.



B3. Lectura de los resultados de DQO en el fotómetro multiparamétrico (HANNA).



B4. Análisis de DBO₅, introducción de la muestra en la botella y sellado hermético con el sensor (VELP).





B5. Colocación en la incubadora por 5 días.



Anexo 4. Métodos usados para análisis de DQO y DBO₅

COD



Significado y medida del D.Q.O.

En el pasado, las aguas residuales no tratadas eran vertidas libremente en las aguas superficiales. Con el aumento de la actividad industrial, el control de la contaminación de estas aguas se ha convertido en una necesidad. De hecho, en las áreas industrializadas, la contaminación perjudica el ecosistema y puede generar consecuencias muy graves para la salud.

DQO ("Chemical Oxygen Demand")

Las aguas residuales no tratadas son generalmente ricas de sustancias orgánicas que constituyen una fuente de nutrición para bacterias y algas normalmente presentes en las aguas superficiales no contaminadas. La presencia de cantidades excesivas de nutrientes origina un incremento en el crecimiento de estos organismos. Además de las sustancias orgánicas, las aguas residuales pueden también contener compuestos inorgánicos oxidables. Todos estos compuestos contribuyen al consumo de oxígeno presente en el agua, sustrayéndolo del necesario para el equilibrio de los ecosistemas. Este proceso se llama eutrofización y es causa de la muerte de organismos acuáticos tanto animales como vegetales. Los gobiernos controlan estos contaminantes, fijando los límites máximos de los valores de "demanda de oxígeno" de las aguas residuales vertidas. Existen diferentes métodos conocidos para medir la demanda de oxígeno para DBO (Demanda Biológica de Oxígeno) y DQO (Demanda Química de Oxígeno) con los métodos más ampliamente aceptados. El test DQO tiene muchas ventajas con respecto al método DBO. El test DQO es más preciso y más rápido que el método DBO. El método DBO requiere un periodo de incubación de 5 a 7 días y está más sujeto a errores en la ejecución del procedimiento. El método DQO normalmente requiere menos de 3 horas y es más fácil de realizar. El método usado por los medidores de HANNA Instrument's para la determinación del DQO, utiliza un agente específico para eliminar eventuales interferencias debidas a la presencia de cloruros.

Métodos oficiales para la determinación del DQO

La Demanda Química de Oxígeno (DQO) se define como la cantidad de un oxidante específico que reacciona con una muestra en condiciones controladas. La cantidad de oxígeno consumida por la reacción se expresa en términos de mg/L oxígeno equivalente(O₂). El método DQO de HANNA Instrument's está basado en el "método colorimétrico de reflujó cerrado" y está en concordancia con las dos líneas oficiales principales para el análisis químico de aguas potables y residuales: "Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater" (20^a edición) Método n° 5220 D y "US EPA, Methods and guidance for Analysis of Water" (2^a edición) Método n° 410.4 e ISO 15705:2000. Los métodos US EPA e ISO presentan la ventaja de una mayor precisión y certificación de los resultados. Además, el método colorimétrico de reflujó cerrado asegura diferentes ventajas respecto a otros métodos para la medida del DQO. No es necesaria ninguna corrección del volumen después de la digestión y respecto a otros métodos que utilizan titulaciones, se ahorran tiempo y reactivos.



DQO

Fáciles de usar

Las probetas con reactivos para DQO, pre-dosificadas HANNA Instruments[®], simplifican las operaciones, basta realizar 3 operaciones:



Llene el vial predosificado con la muestra y cerrar.



Coloque el vial en el reactor y fije el temporizador.



Coloque el vial en la cámara del instrumento HANNA Instruments[®] y lea los resultados en la pantalla.

Reactivos DQO certificados

Los reactivos HANNA Instruments[®] para DQO están disponibles en los siguientes formatos:

Código	Método	Rango
HI 837946-05	521 [*]	de 0 a 150 mg/L
HI 837948-05	521 [*]	de 0 a 1500 mg/L
HI 837946-05		de 0 a 15000 mg/L
HI 837948-05	sin Mercurio ^{**}	de 0 a 150 mg/L
HI 837948-05	sin Mercurio ^{**}	de 0 a 1500 mg/L
HI 837946-05	102 ^{**}	de 0 a 150 mg/L
HI 837948-05	102 ^{**}	de 0 a 1500 mg/L

Cada confezione incluye 25 probetas (diámetro 16 mm) de reactivos predosificados y suministrados con certificado de calidad HANNA Instruments[®]. Los reactivos son trazables en el estándar NIST SRM[®] 930.

• Tres rangos de medida para cada exigencia

Los niveles de DQO varían según las aplicaciones y los puntos de medición del proceso. Dispone de 3 rangos para cubrir todas las aplicaciones de DQO:

rango bajo: 0-150 mg/L O₂;
rango medio: 0-1500 mg/L o 0-1000 mg/L O₂;
rango alto: 0-15000 mg/L O₂.

• Medidas precisas y repetibles

Los reactivos de DQO de HANNA Instruments[®] han sido desarrollados bajo las más estrictas normas de control de calidad de acuerdo con los Métodos Estándar 5220D, Método 410.4 de la USEPA e ISO15705:2002.

• Probetas con reactivos pre-dosificados

Las probetas contienen los reactivos predosificados cuidadosamente. Todo lo que el usuario debe hacer es agregar la muestra compuesta por 2 ml para LR y MR y por 0.2 ml para HR.

• Medidas rápidas y seguras

Con las probetas pre-dosificadas de HANNA Instruments[®] se reduce extraordinariamente el tiempo de preparación ya que no tiene que realizar largos procesos de dosificación de reactivos.

• Reactivos seguros

Los reactivos HANNA Instruments[®] son seguros tanto para las personas como para el ambiente. El diseño de las probetas y de las tapas ha sido estudiado para evitar la dispersión accidental de los reactivos. Además, las probetas sirven como recipiente para la eliminación de las desechos; y, gracias a los reactivos pre-dosificados, la cantidad de productos químicos utilizados se reduce al mínimo. Para ofrecer un menor impacto ambiental, HANNA Instruments[®] produce también la versión de reactivos sin mercurio, recomendada para uso genérico y en ausencia de cloruros.

Nota:
* El método 521 está certificado conforme con el método estándar por la EPA para el análisis de agua residual.
** La versión HI 837946-05 y HI 837948-05 siguen estrictamente el método estándar ISO 15705.
*** La versión HI 837946-05 y HI 837948-05 son el caso de ausencia de cloruro.

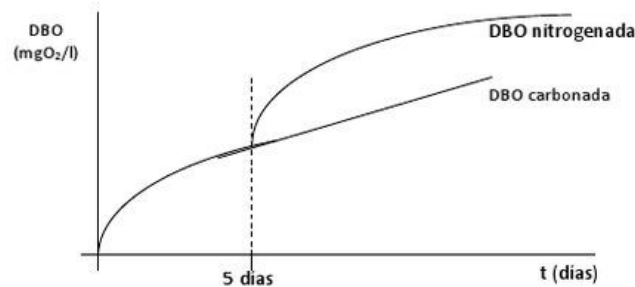
Determinación de DBO - 5

La DBO_5 expresa la cantidad de oxígeno necesaria para degradar la materia orgánica presente en el agua contaminada, por medio de los microorganismos presentes en ella, durante 5 días. Por lo tanto, es un método que mide la materia orgánica biodegradable y permite apreciar la carga orgánica biodegradable del agua y su poder autodepurador.

La DBO_5 , se mide a una temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante 5 días y en la oscuridad. Debido a que las reacciones bioquímicas son muy lentas, se tiende a poner estos 5 días, que corresponde a una degradación de la materia orgánica biodegradable entre el 60 y el 70% de la materia orgánica biodegradable total en aguas residuales. La oscuridad, se utiliza para evitar que la presencia de algas microscópicas produzca oxígeno adicional por la fotosíntesis y alteren el resultado.

También, se puede medir la DBO_{21} , que es la demanda bioquímica de oxígeno a los 21 días y corresponde a la degradación de la materia orgánica biodegradable entre el 95 y el 98% de la materia orgánica biodegradable total en aguas residuales, aunque debido a la gran cantidad de tiempo que se requiere, no es muy común su utilización.

Si en las aguas residuales hay microorganismos capaces de oxidar la materia nitrogenada a nitratos, esto ocasiona un aumento en la DBO. A partir del 5 o 6 día y aparece este aumento que se denomina DBO nitrogenada.



En aguas con una DBO_5 muy alta, es indicativo de una alta contaminación y está relacionada con procesos de anaerobiosis, haciendo que conforme esta sea más alta, se consuma el oxígeno del agua y puedan darse procesos anaerobios y en consecuencia producción de malos olores, desprendimiento de gases peligrosos, etc. La DBO_5 se emplea mucho para las instalaciones de aguas residuales, siendo uno de los parámetros más importantes junto con la DQO.



La oxidación de la materia orgánica no es el único fenómeno que tiene lugar en la biodegradación, ya que hay que añadir la oxidación de los nitritos y sales amoniacales a nitratos, así como el consumo de los procesos de asimilación y de formación de nuevas células. Por tanto, en la medida de este parámetro, se producen variaciones según los microorganismos presentes en el medio, de su concentración y edad, según la presencia o no de bacterias nitrificantes y de los protozoos consumidores de oxígeno y que se alimentan de bacterias. También varía según el pH, salinidad, etc., haciendo que el método tenga un error que puede llegar hasta el 15%, pero sigue siendo uno de los ensayos más importantes en aguas residuales.

Su máxima concentración es de 500 mgO₂/l.

Entendimiento del análisis de DBO-5 por el método de dilución:

Se define como D.B.O-5 de un líquido a la cantidad de oxígeno que los microorganismos, especialmente bacterias (aerobias o anaerobias facultativas: *Pseudomonas*, *Escherichia*, *Aerobacter*, *Bacillus*), hongos y plancton, consumen durante la degradación de las sustancias orgánicas contenidas en la muestra. Se expresa en mg /L. Es un parámetro indispensable cuando se necesita determinar el estado o la calidad del agua de ríos, lagos, lagunas o efluentes. Cuanto mayor cantidad de materia orgánica contiene la muestra, más oxígeno necesitan sus microorganismos para oxidarla (degradarla).

La determinación más general para la DBO₅, es el método de dilución, que consiste en depositar la muestra en unos frascos de Winkler color ámbar (oscuros) de 300 ml solamente con el agua contaminada a medir y a distintas diluciones con agua de dilución, a la cual se agregan unos estabilizantes como son el cloruro férrico, cloruro de calcio, sulfato de magnesio y buffer de fosfatos. La disolución se lleva a pH 7.2 y se tapa procurando que no quede aire dentro del frasco. Se hace una estandarización con el agua de dilución solamente y se mide el oxígeno disuelto en cada frasco (se puede el método Winkler para medir el oxígeno disuelto). Luego se deja incubar a 20 °C, en la oscuridad, durante 5 días. Cuando han pasado los 5 días se vuelve a medir la concentración de oxígeno disuelto, comparándolo con el estándar para calcular la DBO₅ en mgO₂/l. Los inconvenientes de este método son varios, por ejemplo, si los microorganismos se adhieren a las paredes no actúan sobre la materia orgánica y pueden producir errores por defecto en la medida, por lo que es conveniente agitar la muestra. Si en el agua hay tensioactivos, estos forman películas alrededor de los microorganismos y tampoco pueden actuar sobre la materia orgánica, al igual que en presencia de sustancias tóxicas, ya que estas pueden inhibir la acción de los microorganismos.

Nota: Según las reglamentaciones, se fijan valores de D.B.O. máximo que pueden tener las aguas residuales, para poder verterlas a los ríos y otros cursos de agua. De acuerdo a estos valores se establece, si es posible arrojarlas directamente o si deben sufrir un tratamiento previo.

Anexo 5. Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR domésticas o municipales. DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM.

El Peruano Lima, miércoles 17 de marzo de 2010	NORMAS LEGALES	415675
de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.	implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;	
Artículo 5°.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.	De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118° de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11° de la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;	
Regístrese, comuníquese y publíquese.	DECRETA:	
ALAN GARCÍA PÉREZ Presidente Constitucional de la República	Artículo 1°.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)	
JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN Presidente del Consejo de Ministros	Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.	
469446-6	Artículo 2°.- Definiciones	
AMBIENTE	Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:	
Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales	- Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR): Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.	
DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM	- Límite Máximo Permisible (LMP): Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.	
EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA	- Protocolo de Monitoreo.- Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.	
CONSIDERANDO:	Artículo 3°.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR	
Que, el artículo 3° de la Ley N° 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;	3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.	
Que, el numeral 32.1 del artículo 32° de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permisible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;	3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.	
Que, el numeral 33.4 del artículo 33° de la Ley N° 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;	3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.	
Que, el literal d) del artículo 7° del Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;	3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.	
Que, mediante Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permisible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;	Artículo 4°.- Programa de Monitoreo	
Que el artículo 14° del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo N° 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28° el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,	4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.	

415676

NORMAS LEGALES

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

4.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento podrá disponer el monitoreo de otros parámetros que no estén regulados en el presente Decreto Supremo, cuando existan indicios razonables de riesgo a la salud humana o al ambiente.

4.3 Sólo será considerado válido el monitoreo conforme al Protocolo de Monitoreo establecido por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, realizado por Laboratorios acreditados ante el Instituto Nacional de Defensa del Consumidor y de la Propiedad Intelectual - INDECOPI.

Artículo 5°.- Resultados de monitoreo

5.1 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento es responsable de la administración de la base de datos del monitoreo de los efluentes de las PTAR, por lo que los titulares de las actividades están obligados a reportar periódicamente los resultados del monitoreo de los parámetros regulados en el Anexo de la presente norma, de conformidad con los procedimientos establecidos en el Protocolo de Monitoreo aprobado por dicho Sector.

5.2 El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento deberá elaborar y remitir al Ministerio del Ambiente dentro de los primeros noventa (90) días de cada año, un informe estadístico a partir de los datos de monitoreo presentados por los Titulares de las PTAR, durante el año anterior, lo cual será de acceso público a través del portal institucional de ambas entidades.

Artículo 6°.- Fiscalización y Sanción

La fiscalización del cumplimiento de los LMP y otras disposiciones aprobadas en el presente Decreto Supremo estará a cargo de la autoridad competente de fiscalización, según corresponda.

Artículo 7°.- Refrendo

El presente Decreto Supremo será refrendado por el Ministro del Ambiente y por el Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

Única.- El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, en coordinación con el MINAM, aprobará el Protocolo de Monitoreo de Efluentes de PTAR en un plazo no mayor a doce (12) meses contados a partir de la vigencia del presente dispositivo.

Dado en la Casa de Gobierno, en Lima, a los dieciséis días del mes de marzo del año dos mil diez.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES 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	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales Suspensión	en mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

Designan responsable de brindar información pública y del contenido del portal de internet institucional del Ministerio

RESOLUCIÓN MINISTERIAL N° 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo N° 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2° de la Constitución Política del Perú;

Que, el artículo 3° de la citada Ley, señala que el Estado tiene la obligación de entregar la información que demanden las personas en aplicación del principio de publicidad, para cuyo efecto se designa al funcionario responsable de entregar la información solicitada;

Que, asimismo, de acuerdo a lo previsto en el artículo 5° de la mencionada Ley, las Entidades Públicas deben identificar al funcionario responsable de la elaboración de los Portales de Internet;

Que, mediante Resolución Ministerial N° 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

Que, por razones del servicio y considerando la renuncia al cargo que desempeñaba en el Ministerio del Ambiente la servidora citada en el considerando precedente, resulta necesario designar al personal responsable de brindar información en el marco de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública y responsable del Portal de Internet Institucional;

Con el visado de la Secretaría General y de la Oficina de Asesoría Jurídica; y

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo N° 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo N° 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1°.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo N° 043-2003-PCM.

Artículo 2°.- Todos los órganos del Ministerio del Ambiente, bajo responsabilidad, deberán facilitar la información y/o documentación que les sea solicitada como consecuencia de lo dispuesto en el artículo precedente, dentro de los plazos establecidos en la normatividad vigente.

Artículo 3°.- Disponer que la presente Resolución se publique en el Diario Oficial El Peruano y en Portal de Internet del Ministerio del Ambiente.

Artículo 4°.- Notificar la presente Resolución a todos los órganos del Ministerio del Ambiente, al Órgano de Control Institucional y al responsable designado.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1



Anexo 6. Declaración jurada de autenticidad de tesis



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Lorena Huanacuni Hanco
identificado con DNI 72375243 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ingeniería Química

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

“ Diseño de un reactor biológico aeróbico para la
remoción de la carga orgánica a escala de Laboratorio
de las aguas residuales domésticas, Antauta 2025 ”

Es un tema original.

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

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

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

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

Puno 22 de diciembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella



Anexo 7. Autorización para el depósito de tesis en el Repositorio Institucional



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

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

Por el presente documento, Yo Lorena Huanacuni Hanco
identificado con DNI 72175243 en mi condición de egresado de:

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

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

“ Diseño de un reactor biológico aerobico para la
remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio
de las aguas residuales domésticas, Antzuta 2025 ”

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

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

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

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

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

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

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

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 22 de diciembre del 2025

FIRMA (obligatoria)



Huella