

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**BIORREACTOR DE LECHO MÓVIL CON BIOFILM (MBBR) A ESCALA DE
LABORATORIO, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO
DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA, CAJAMARCA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR LA BACHILLER

YOLA MAGALI QUIROZ ATALAYA

ASESOR

Ing. M Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA

CELENDÍN – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:
YOLA MAGALI QUIROZ ATALAYA
DNI N° 74525622
Escuela Profesional/Unidad UNC:
DE INGENIERÍA AMBIENTAL
2. Asesor:
Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
Facultad/Unidad UNC:
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
3. Grado Académico o título profesional:
 Bachiller Título profesional Segunda especialidad
 Maestro Doctor
4. Tipo de investigación:
 Tesis Trabajo de investigación Trabajo de suficiencia profesional
 Trabajo académico
5. Título del trabajo de investigación:
**BIORREACTOR DE LECHO MÓVIL CON BIOFILM (MBBR) A ESCALA DE LABORATORIO,
PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE
CAJABAMBA, CAJAMARCA**
6. Fecha de evaluación: 27/11/2024
7. Software antiplagio: TURNITIN URKUND (ORIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 6%
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:
 APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 07/08/2025

*Firma y/o Sello
Emisor Constancia*



Ing. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA
DNI: 40432609

*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los veinticuatro días del mes de julio del año dos mil veinticinco, se reunieron en el aula 101 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 094-2025-FCA-UNC, de fecha 07 de febrero del 2025**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "BIORREACTOR DE LECHO MÓVIL CON BIOFILM (MBBR) A ESCALA DE LABORATORIO, PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CAJABAMBA, CAJAMARCA", realizada por la Bachiller YOLA MAGALI QUIROZ ATALAYA para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **QUINCE** horas con **DIEZ** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **DIECISEIS (16)** por tanto, la Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIECISEIS** horas y **QUINCE** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
PRESIDENTE

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas
VOCAL

Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
ASESOR

COPYRIGHT © 2025 by
YOLA MAGALI QUIROZ ATALAYA
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y fortaleza, iluminando mi camino y brindándome refugio en los momentos difíciles.

A mi querida mamita Margarita Leonor Cruz Maita, por su amor incondicional y apoyo constante. Cada palabra y gesto tuyo me han impulsado a seguir adelante. Esta tesis lleva tu nombre y tu amor en cada página.

A mis padres, German Quiroz Flores y Zoila Rosa Atalaya Cruz, y a toda mi familia Atalaya, por su fe, amor y apoyo incesante. Este éxito es un testimonio de su esfuerzo y sacrificio.

A mi querido papito Filomeno Atalaya Tirado, a quien llamaba "FILO". Aunque ya no estés con nosotros, tu memoria y enseñanzas siguen inspirándome. Esta tesis es un homenaje a tu amor y al impacto que has tenido en mi vida.

AGRADECIMIENTO:

A Dios, por rodearme de personas especiales y permitir que forme parte de la familia Atalaya.

A cada miembro de la familia Atalaya (Manuel, Nilda, Amado, Jenny, Jhampool). Su amor, apoyo y aliento han sido esenciales en cada etapa de este proceso. Estoy profundamente agradecido por su presencia y apoyo incondicional.

A la familia Quiroz (Pacífico, Evelin, Ever, Analy y María del Cielo), por su cariño y apoyo constante. Sus palabras de aliento han sido una gran fortaleza en mi camino.

A mi asesora, Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna, por su orientación y apoyo en el desarrollo de esta investigación.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro es el resultado de su amor y apoyo continuo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO:	iv
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	5
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Antecedentes de la Investigación	5
2.2. Bases Teóricas.....	11
2.2.1. <i>Aguas residuales municipales</i>	11
2.2.2. <i>Tratamiento biológico de aguas residuales</i>	13
2.2.3. <i>Biorreactores de lecho móvil con biofilm (MBBR)</i>	14
2.2.4. <i>Carga orgánica (L)</i>	21
2.2.5. <i>Planta de tratamiento de aguas residuales N° 1 “Lanla” de Cajabamba- Cajamarca</i>	22
2.3. Definición de Términos Básicos	25

2.3.1. <i>Reactor MBBR</i>	25
2.3.3. <i>Biofilm</i>	26
2.3.4. <i>Optimización</i>	26
2.3.5. <i>Remoción de carga orgánica</i>	26
CAPÍTULO III.....	27
MATERIALES Y MÉTODOS.....	27
3.1. Localización de la Investigación	27
3.2. Materiales Experimentales	29
3.2.1. <i>Materiales</i>	29
3.2.2. <i>Equipos</i>	29
3.3. Procedimiento.....	30
3.3.1. <i>Instalación de los reactores MBBR</i>	30
3.3.2. <i>Funcionamiento de los reactores</i>	35
3.3.3. <i>Muestreo de los parámetros analizados</i>	36
3.4. Tratamiento y Análisis de Datos	38
CAPÍTULO IV.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
4.1. Condiciones de Funcionamiento del Biorreactor de Lecho Móvil con Biofilm	40
4.2. Carga Orgánica y Microbiológica.....	44

4.3. Evaluación del Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de PTAR.....	52
CAPÍTULO V.....	54
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones.....	55
CAPÍTULO VI.....	56
REFERENCIAS.....	56
CAPÍTULO VII	65
ANEXOS	65
Anexo 1. Datos completos de los parámetros muestreados en 10 repeticiones	66
Anexo 2. Carga de la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) (Kg/día) y coliformes termotolerantes (NMP/día).....	67
Anexo 3. Cadena de custodia de envío de muestras al laboratorio	68
Anexo 4. Informes de laboratorio	69
Anexo 5. Certificado de calibración del multiparámetro	99
Anexo 6. Panel fotográfico.....	102

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características del agua residual municipal	12
Tabla 2 Ventajas y desventajas de los bioreactores con lecho móvil con biofilm (MBBR).....	16
Tabla 3 Eficiencias promedio de un sistema MBBR	21
Tabla 4 Volumen en función al tiempo de retención hidráulica (TRH)	30
Tabla 5 Dimensiones del reactor MBBR, para cumplir con el volumen	30
Tabla 6 Dimensiones del sedimentador secundario	34
Tabla 7 Condiciones de funcionamiento promedio del biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR)	40
Tabla 8 Carga de la DQO y coliformes termotolerantes en el efluente de la PTAR y MBBR....	45
Tabla 9 Análisis de la varianza ANOVA de la demanda química de oxígeno	47
Tabla 10 Análisis del Tukey al 5% de la demanda química oxígeno	48
Tabla 11 Análisis de la varianza ANOVA de coliformes termotolerantes	50
Tabla 12 Análisis del Tukey al 5% de coliformes termotolerantes	51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Geometría y biopelícula de un soporte móvil	17
Figura 2 Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba-Cajamarca	25
Figura 3 Ubicación de la investigación.....	28
Figura 4 Plano del sistema MBBR, vista de perfil	31
Figura 5 Plano del sistema MBBR, vista en planta	32
Figura 6 Reactores con los biocarriers.....	33
Figura 7 Sistema de aireación.....	34
Figura 8 Sedimentador secundario	34
Figura 9 Tanque de distribución de agua del efluente de la PTAR	35
Figura 10 Medición del caudal para regulación del TRH.....	36
Figura 11 Croquis del experimento	37
Figura 12 Preservación, etiquetado y envío de muestras al laboratorio	37
Figura 13 Medición de los parámetros de campo	38
Figura 14 Potencial de hidrógeno promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR	41
Figura 15 Temperatura promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR.....	42
Figura 16 Oxígeno disuelto promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR.....	43
Figura 17 Sólidos sedimentables promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR	44
Figura 18 Carga de la DQO (g/día) y eficiencias de remoción	45
Figura 19 Carga de coliformes termotolerantes (NMP/día) y eficiencia de remoción.....	49
Figura 20 Concentración de la DQO con los LMP para efluentes de PTAR	52
Figura 21 Concentración de los coliformes termotolerantes con los LMP para efluentes de PTAR	53

RESUMEN

La gestión eficiente de las aguas residuales es un desafío crítico en diversas regiones urbanas y rurales del Perú. En la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba-Cajamarca, indicadores como la demanda química de oxígeno (DQO) y los coliformes termotolerantes (CF) superan los límites máximos permisibles (LMP). Este estudio evaluó un biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) a escala de laboratorio como alternativa de tratamiento complementario para la PTAR de Cajabamba, utilizando el efluente de la PTAR como afluente a los sistemas MBBR. Se emplearon reactores de vidrio macizo con un 50% de biocarriers como lecho móvil, garantizando agitación óptima y oxigenación constante, y se trabajó con dos tiempos de retención hidráulica (TRH) de 10 y 17 horas. Los resultados mostraron que, en el afluente, la carga de DQO fue de 13.79 g/día y la de CF fue de 5.69×10^8 NMP/día. Los resultados más eficientes se registraron en el efluente con TRH de 17 horas, que presentó una carga de DQO de 3.64 g/día, con una eficiencia de remoción del 74%, y una carga de CF de 1.06×10^8 NMP/día, con una eficiencia del 81%. En contraste, el efluente con TRH de 10 horas tuvo una carga de DQO de 5.36 g/día y eficiencia del 61%, y una carga de CF de 2.05×10^8 NMP/día, con eficiencia del 64%. Ambos TRH cumplieron con los LMP para DQO; sin embargo, ninguno logró cumplir con los LMP para coliformes.

Palabras clave: Optimización, carga orgánica, PTAR, MBBR, TRH, eficiencia, LMP.

ABSTRACT

Efficient wastewater management is a critical challenge in various urban and rural regions of Peru. At the wastewater treatment plant (WWTP) in Cajabamba-Cajamarca, indicators such as chemical oxygen demand (COD) and thermotolerant coliforms (TC) exceed maximum permissible limits (MPL). This study evaluated a moving bed biofilm reactor (MBBR) at laboratory scale as a complementary treatment alternative for the Cajabamba WWTP, using the WWTP effluent as influent to the MBBR systems. Solid glass reactors with 50% biocarriers as moving bed were employed, ensuring optimal agitation and constant oxygenation, and two hydraulic retention times (HRT) of 10 and 17 hours were tested. The results showed that in the influent, the COD load was 13.79 g/day and the TC load was 5.69E+08 MPN/day. The most efficient results were recorded in the effluent with 17-hour HRT, which presented a COD load of 3.64 g/day, with a removal efficiency of 74%, and a TC load of 1.06E+08 MPN/day, with an efficiency of 81%. In contrast, the effluent with 10-hour HRT had a COD load of 5.36 g/day and efficiency of 61%, and a TC load of 2.05E+08 MPN/day, with efficiency of 64%. Both HRT met the MPL for COD; however, neither achieved compliance with the MPL for coliforms..

Keywords: Optimization, organic load, WWTP, MBBR, HRT, efficiency, MPL.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de efluentes constituye un desafío ingenieril crítico en el desarrollo urbano sostenible. Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son fundamentales para preservar la calidad del agua y la salud pública. Sin embargo, múltiples instalaciones presentan baja eficiencia de remoción de contaminantes, requiriendo la implementación de tecnologías avanzadas para mejorar el rendimiento del sistema.

En este escenario, la innovación tecnológica se convierte en un factor clave para mejorar el rendimiento de las plantas de tratamiento de aguas residuales. La implementación de nuevas técnicas y sistemas puede contribuir significativamente a optimizar la calidad del efluente, asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales y promoviendo la sostenibilidad a largo plazo.

Las aguas residuales urbanas derivan de distintas fuentes presentes en un asentamiento humano, tales como domicilios, empresas, industrias e instituciones. Este tipo de aguas residuales engloba tanto las provenientes del ámbito doméstico como las de escorrentía originada

en áreas urbanas. De manera general, en naciones con ingresos elevados, alrededor del 70% de las aguas residuales procedentes tanto de ámbitos municipales como industriales son sometidas a tratamiento. No obstante, esta cifra disminuye a un 38% en naciones de ingresos medios-altos y a un 28% en naciones de ingresos medios-bajos. En países con ingresos bajos, solamente un 8% recibe algún tipo de tratamiento. Estos cálculos respaldan la premisa ampliamente reconocida de que más del 80% de las aguas residuales a nivel mundial son liberadas sin recibir ningún proceso de tratamiento. (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura [UNESCO], 2017, p. 2).

En el Perú uno de los desafíos primordiales en la gestión de aguas residuales es la falta de cobertura adecuada del sistema de alcantarillado. En este sentido, solamente el 69,6% de la población urbana en el Perú cuenta con servicios de saneamiento proporcionados por 50 empresas prestadoras de servicios (EPS). Además, se identifica un déficit en el tratamiento de estas aguas, un procedimiento esencial para prevenir la contaminación de ecosistemas y la formación de focos infecciosos que puedan comprometer la salud de las personas (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2014, p. 4).

Según los datos de vertimiento anual registrados en el Programa de Adecuación de Vertimientos y Reúso de Aguas Residuales (PAVER) de la Autoridad Nacional del Agua, se estima que cerca de 54 metros cúbicos por segundo (m^3/s) de agua residual sin procesar se vierten en cuerpos de agua superficiales, mientras que alrededor de 4 000 hectáreas de terrenos agrícolas se riegan con aguas residuales (Fernández, 2011, p. 4).

En el Perú se encuentran en funcionamiento 171 de las 202 plantas de tratamiento de aguas residuales. Es destacable que un 85 % de estas instalaciones están llevando a cabo su labor de eliminación de partículas contaminantes presentes en las aguas residuales derivadas del uso de

los sistemas de agua potable y alcantarillado en áreas urbanas. Esta acción evita que dichas sustancias alcancen fuentes naturales de agua, tales como ríos, lagunas y mares, con el propósito de contribuir a la preservación del entorno medioambiental y a la protección de la salud de la población. No obstante, persiste una cantidad significativa de plantas de tratamiento que aún no están cumpliendo de manera efectiva su objetivo (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento [SUNASS], 2022)

En la actualidad, la gestión eficiente de las aguas residuales representa un desafío crítico en muchas regiones urbanas y rurales, incluyendo Cajabamba, Cajamarca. A pesar de los esfuerzos realizados para tratar las aguas residuales en la planta de tratamiento existente, persisten problemas relacionados con la ineficiencia en la remoción de algunos contaminantes y la falta de cumplimiento de los límites máximos permisibles. Núñez (2019) quien en su estudio demostró que la PTAR de Cajabamba no es eficiente en la remoción de carga orgánica, medido por los parámetros de DBO_5 , DQO y coliformes termotolerantes, resulta insatisfactoria. Los porcentajes obtenidos fueron de 23,20 %; 27,63 % y 65,62 %, respectivamente, cifras que se sitúan notablemente por debajo de los niveles considerados adecuados para este método de tratamiento. Esta situación no solo compromete la salud pública y el medio ambiente, sino que también limita el desarrollo sostenible de la comunidad. En este sentido se formula la pregunta de investigación. ¿Cómo contribuye la incorporación de un biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) a escala de laboratorio contribuye a la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, Cajamarca?

Esta investigación se centra en evaluar un posible tratamiento para mejorar el rendimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de Cajabamba, ubicada en la región de Cajamarca, utilizando un biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) a escala de

laboratorio. El objetivo general de este estudio es evaluar un biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) a escala de laboratorio, para la optimización de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba, Cajamarca. Para alcanzar este propósito, se establecen tres objetivos específicos: en primer lugar, evaluar las condiciones de funcionamiento del biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) a escala de laboratorio, en el contexto de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba; en segundo lugar, Evaluar la carga orgánica y microbiológica en el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales con tecnología MBBR y la eficiencia de remoción; y finalmente, evaluar el cumplimiento de los límites máximos permisibles para efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales.

La relevancia de esta investigación radica en su capacidad para abordar los desafíos actuales de la PTAR de Cajabamba, lo que facilitará el cumplimiento de los límites máximos permisibles (LMPs) para efluentes. Además, la optimización del rendimiento de la planta contribuirá de manera significativa a la protección de la salud pública y a la preservación del entorno, garantizando un manejo más eficiente y sostenible de las aguas residuales en la región.

Los resultados evidenciaron que el sistema MBBR, con un TRH de 17 horas, alcanzó una remoción del 74 % de DQO y 81 % de coliformes termotolerantes. Si bien se cumplieron los LMP para DQO, no se logró para coliformes. Se concluye que el MBBR es una alternativa eficaz para optimizar la PTAR de Cajabamba, especialmente en la reducción de carga orgánica.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la Investigación

Estévez (2016) diseñó un equipo MBBR (Moving Red Biofilm Reactor) a escala de laboratorio, para la agitación colocó un motor fuera de borda, para oxigenar los efluentes dentro del tanque utilizó dos oxigenadores de pecera; el tipo de biosoportres o cama móvil fueron soportes inertes (soportes plásticos de polietileno), trató efluentes industriales; lo trabajó a diferentes tiempos de retención hidráulica (7, 10 y 15 días). Obtuvo los mejores resultados de eficiencias para: DQO el mejor resultado obtenido fue a 15 días de retención, con una eficiencia de 53.93 %; DBO el mejor resultado se dio a los 10 días de retención, con una eficiencia de 12.08 %. Concluyó que el sistema planteado es eficiente en la remoción de DQO y baja eficiencia en la DBO (p. 7).

Parra (2006), construyó un biorreactor de lecho móvil (MBBR), a escala de laboratorio, con la finalidad de degradar efluentes industriales, utilizó soportes inertes (biocarriers) para biopelículas, trabajó con diferente retención hidráulica (2 y 0.9 días); el diseño del reactor fue

cilíndrico de material acrílico (diámetro total 10.5 cm, diámetro interno 9.5 cm, altura total 20 cm y altura útil 13.5 cm), el llenado del soporte inerte se dio al 25 %. Concluyó que, a mayores velocidades de carga orgánica y menores tiempos de retención hidráulica, con una biopelícula madura y estabilizada, el sistema es más eficiente, obteniéndose eficiencias de remoción de DBO_5 superiores a 97% y eficiencias de DQO por sobre el 45% (p. 9).

García y Gutiérrez (2018) diseñaron un reactor de lecho móvil aerobio para el tratamiento de agua residual doméstica, el diseño del reactor fue rectangular de 22.5 litros, TRH se realizó pruebas de tratabilidad a 8 y 12 horas inicialmente fue a 20 horas con el cual se logró el mayor arrastre de biomasa, caudal 20 l/día, edad de lodos 30 día y un caudal de purga 750 mL; utilizaron como medio de soporte móvil anillos de biopack de polietileno de alta densidad, utilizaron 2743 anillos que se aproximan al 50% del volumen útil del reactor; la inoculación se realizó por medio del cultivo de una semilla basada en el arranque de un sistema de lodo activado, para ello fue necesario tomar una muestra significativa de lodo del reactor biológico de la PTAR. Obtuvo resultados de remoción de: DBO 22.67 % y DQO 35.60 %. Concluyeron que. En cuanto al tiempo de retención hidráulica, se puede concluir que su importancia en la operación radica en la determinación del caudal del efluente y en los porcentajes remoción de sólidos, DBO y DQO obtenidos en el tratamiento (p. XI).

Reyes (2020) realizó la optimización del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen domésticas, en lo que se refiere a la PTAR constó de lodos activados y capacidad para tratar $200 \text{ m}^3/\text{día}$, se realizó la optimización mediante el adicionamiento de biocarriers convirtiéndola en un sistema MBBR; los parámetros de diseño del sistema MBBR fue: caudal $280 \text{ m}^3/\text{día}$, superficie específica rellena $400 \text{ m}^2/\text{m}^3$, TRH en el reactor 11 horas, TRH en el sedimentador 1.7 horas, TRH en el tanque precipitador 0.84 horas. Antes de la

instalación de biocarriers y ampliación del caudal, la eficiencia fue de la DBO 84 % y la DQO 79 %, y con la ampliación del caudal en 40 y adición de biocarriers la eficiencia fue de la DBO 86.80 % y la DQO de 82.10 %. Concluyó que con el adición de biocarriers permite tratar 40 % más de capacidad nominal y que con la adición de biocarriers se logra optimizar los tratamientos convencionales de biorreactores (p. IX).

Balarezo (2018) evaluó un sistema biológico MBBR implementado en la ampliación de la capacidad de tratamiento de una PTARI existente, realizó la evaluación del efluente de la PTARI antes y después de la ampliación. El tiempo de retención hidráulica a que trabajo fue de 3.3 días (79 horas), el porcentaje de llenado de portadores del reactor fue del 55 % Obtuvo resultados: sin ampliación la DBO_5 presentó valores en el rango de 1 020 a 3 150 mg/L, con un valor promedio de 2039 mg/L; los valores de la DQO reportados varían entre 6 516 y 7 459 mg/L, con un valor promedio de 7 200 mg/L. Con la ampliación obtuvo resultados de la DBO_5 variaron desde un valor mínimo de 2 355 mg/L hasta un valor máximo de 13 530 mg/L, con un valor promedio de 6 430 mg/L, de la DQO variaron desde un valor mínimo de 5 896 mg/L hasta un valor máximo de 20 050 mg/L, con un valor promedio de 9 752 mg/l. concluyó que el efluente industrial de la ampliación en comparación con el de la etapa anterior, lo supera en 204 por ciento veces más en caudal, 55 por ciento en DQO, 252 por ciento en DBO_5 . Estas variaciones tanto en calidad como en caudal de agua se atribuyen a las nuevas líneas de producción y nuevos productos desarrollados en la ampliación (p. IIV).

Cruz (2022) construyó y puso en funcionamiento a escala de laboratorio un biorreactor de lecho móvil (MBBR) en una escala de 1:12, orientado al tratamiento de aguas residuales domésticas. Esta unidad fue concebida para tratar aguas residuales con una carga bioquímica de oxígeno (DBO) que oscilaba entre 500 y 700 g/m^3 . El propósito de esta construcción era la

evaluación de diversos niveles de llenado de biocarriers en el reactor, así como diferentes configuraciones en el sistema de aireación. Los resultados derivados de estos experimentos demostraron que la óptima proporción de llenado de biocarriers corresponde al 50%. En cuanto a los sistemas de aireación, se constató que las piedras difusoras trapezoidales generaban un desempeño superior, pues el flujo de aire emitido por este tipo de piedras exhibía un alcance de hasta 7.5 cm, proporcionando así los resultados más efectivos (p. 11).

Vela et al., (2023) determinaron la eficiencia de remoción de carga orgánica mediante la tecnología MBBR de un agua residual industrial, La metodología utilizada fue experimental a nivel de laboratorio, nuestro diseño fue de 3 factores y 2 niveles dando un total de 8 corridas experimentales, realizó una caracterización inicial del agua residual indicando la concentración de contaminantes para SST, DBO₅ y DQO de 274 mg/L, 1494.2 mg/L y 3114 mg/L respectivamente; y al aplicar la tecnología MBBR logró obtener un porcentaje de remoción para DBO₅, DQO y SST de 83.55%, 92.44% y 93.19 % respectivamente. Concluyó que el tiempo de retención hidráulica en la eficiencia de remoción de carga orgánica del agua residual tuvo mayor efecto en la remoción de la DBO₅ y DQO (p. 8).

Torres (2020) examinó el rendimiento de un sistema de tratamiento biológico de lecho móvil acoplado a un biorreactor con membranas (MBBR-MBR) con el propósito de eliminar la carga orgánica y de nitrógeno presente en aguas residuales municipales. Los experimentos se llevaron a cabo empleando un reactor biológico de lecho móvil con una configuración anóxica-aerobia que contaba con recirculación interna. Dentro de la zona aerobia, se sumergió un módulo de membranas de fibra hueca de ultrafiltración. Los reactores de lecho móvil utilizaron un soporte de biocarriers que representó el 30% del volumen, y el sistema funcionó con un tiempo de retención de sólidos (TRS) de 30 días y tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24, 20, 16,

12 y 10 horas. Los resultados obtenidos fueron notables, con una eliminación de más del 97% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y una eliminación de más del 96% de la demanda química de oxígeno (DQO). En cuanto al nitrógeno amoniacal (NH_4) y al nitrógeno total (NT), se lograron tasas de eliminación del 98.67% y 51.84%, respectivamente (p. 1).

Huaynacho y Larico (2021) llevaron a cabo la concepción de un módulo experimental y la evaluación del desempeño de esta tecnología en la eliminación de contaminantes en aguas residuales de origen doméstico. Su investigación abordó el seguimiento de la disminución de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) y la demanda química de oxígeno (DQO), utilizando la tecnología de biopelícula adherida a soportes con la adición de un agente coagulante. Exploraron distintos intervalos de tiempo de retención hidráulica, con un mínimo de 4 horas y un máximo de 8 horas. Los resultados obtenidos revelaron que el punto óptimo para la eliminación de DBO se registró a un tiempo de retención hidráulica de 8 horas y una concentración de 45 mg/L de coagulante, logrando una eficiencia del 96%. En lo que respecta a la DQO, la eliminación más efectiva ocurrió a un tiempo de retención hidráulica de 6 horas y una concentración de 55 mg/L de coagulante. A partir de sus hallazgos, los investigadores llegaron a la conclusión de que el rendimiento de eliminación está directamente relacionado con el tiempo de permanencia en el sistema (TRH), y en relación a la concentración de coagulante (C), no se sigue necesariamente una relación directamente proporcional. Esto se debe a que la concentración efectiva no siempre guarda una proporción directa con la cantidad de coagulante aplicada (p. VI).

Núñez (2019) determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba que consta de (cámara de rejillas, tanques Imhoff, filtros percoladores, sedimentadores secundarios, lechos de secado), en la remoción de la DBO_5 , DQO, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y coliformes termotolerantes. Ubicó 2 puntos de muestreo en el afluente y

efluente de la PTAR, las muestras fueron tomas 3 en épocas de lluvia y 3 en épocas de estiaje, comparo los resultados con la normativa y determinó que la PTAR no es eficiente en la remoción de la DBOs, DQO y coliformes termotolerantes; cuyos valores fueron 23,20 %; 27,63 % y 65,62 % respectivamente, valores que se encuentran muy por debajo de los aceptables para este tipo de tratamiento según la Norma Técnica de Edificación OS.090 (2006), la cual señala que la eficiencia de remoción de DBO debe encontrarse entre 50% a 90% (p. XIV).

Ali et al. (2022) determinaron el efecto del tiempo de retención hidráulica en el rendimiento de un reactor de biopelícula de lecho móvil compacto para el pulido de efluentes de aguas residuales tratadas, lo trabajaron con un volumen de 500 L, se trabajó con diferentes tiempos de retención hidráulica (2, 4, 6, 12, 18 y 24 horas), se mantuvo oxigenando el reactor continuamente para que el oxígeno disuelto se mantenga en un rango de 5-7 mg/L. obtuvieron resultados de: temperatura osciló entre 27,6 °C y 34,7 °C; pH osciló entre 6,8 y 8,1, en el caso de la carga orgánica obtuvieron remociones de DQO 54% y DBO 71%; coliformes fecales obtuvieron eficiencias que oscilaron entre 89 y 96%, concluyeron que el sistema MBBR remueve gran cantidad de carga orgánica a tiempo de retención hidráulica de 24 horas, pero que con tiempos más cortos también es eficiente en menor cantidad y que también lograron cumplir con la normativa cuyos valores se encontraron inferiores a los datos de la Clase IIA del NWQS para Malasia

Houda et al. (2015) investigaron el el efecto de las condiciones operativas en el desarrollo de biopelículas y la nitrificación en un reactor de biopelículas de lecho móvil (MBBR), el reactor funcionó en un régimen de alimentación continua durante 170 días y con un tiempo de retención hidráulica teórico de 7 h, respectivamente, El reactor se puso en funcionamiento y se caracterizó la calidad del agua antes y después del tratamiento. Durante el tratamiento se monitorearon

parámetros como el pH, la demanda bioquímica de oxígeno de 5 días (DBO5), los sólidos suspendidos totales (SST) (DQO), los sólidos suspendidos totales, los PS y las bacterias fecales en las aguas residuales crudas y tratadas. Las tasas de eliminación de nitrógeno amónico ($\text{NH}_4 + \text{N}$), DBO5, DQO y SST son 95, 67,5, 69,2 y 73,33 %, respectivamente; La reducción bacteriana promedio entre la entrada y la salida fue del orden de 5 ± 1 unidades logarítmicas para coliformes fecales. Concluyeron que el MBBR puede servir como una tecnología prometedora para el tratamiento de aguas residuales y puede ampliarse para pequeñas comunidades en los países en desarrollo.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Aguas residuales municipales

Las aguas residuales de origen municipal se originan a partir de distintas fuentes dentro de un asentamiento o comunidad humana, incluyendo hogares, industrias, negocios e instituciones. Estas aguas residuales abarcan tanto las provenientes de la población urbana como la escorrentía generada en áreas urbanas. Dado que la producción de aguas residuales urbanas y municipales está estrechamente ligada a la estructura y el propósito de los sistemas urbanos, resulta esencial examinar de manera crítica los patrones actuales y futuros de urbanización para desarrollar enfoques más sostenibles en la gestión de aguas residuales en las décadas por venir. (UNESCO, 2017, p. 51)

Las propiedades físicas, químicas y bacteriológicas del agua residual en cada área urbana experimentan variaciones debido a factores externos como la ubicación geográfica, la temperatura y la fuente de captación de agua, entre otros, así como a factores internos como la densidad de población, el desarrollo socioeconómico, el nivel de industrialización, las pautas dietéticas, el tipo de instalaciones sanitarias y las prácticas de uso eficiente del agua. Del mismo

modo, los volúmenes de vertido varían con el tiempo, mostrando un aumento en el caso doméstico, especialmente durante las horas de comidas y tareas domésticas, y en el ámbito industrial, en función de los horarios de limpieza y las descargas en los procesos de fabricación. Debido a estos factores, los vertidos en cada municipio exhiben características ligeramente distintas. El principal agente contaminante son las excreciones humanas, seguidas de los desechos orgánicos de la cocina. Estos materiales poseen un alto contenido de materia orgánica biodegradable y de microorganismos, que en su mayoría son de naturaleza patógena (Ministerio del Medio Ambiente, 2002, p. 14)

Tabla 1

Características del agua residual municipal

Componente	Concentración		
	Alta	Media	Baja
Sólidos totales (mg/l)	1000	500	200
Sólidos suspendidos	500	300	100
Sólidos sedimentables (mg/l)	12	8	4
Demanda bioquímica de oxígeno DBO ₅ (mg/l)	300	200	100
Demanda química de oxígeno DQO (mg/l)	1000	500	250
Nitrógeno total (mg/l)	80	50	25
Fósforo total (mg/l)	20	15	5
Grasas y aceites (mg/l)	40	20	00
Coliformes fecales (NMP/100mL)	10 ⁹	10 ⁷	10 ⁵

Fuente: (Ministerio del Medio Ambiente, 2002, p. 14)

2.2.2. Tratamiento biológico de aguas residuales

Se emplean reacciones vinculadas a organismos vivos. Los microorganismos experimentan un crecimiento al emplear los contaminantes presentes en el agua como fuente de carbono y/o energía, transformándolos en nuevas entidades microbianas (biomasa), dióxido de carbono y otros compuestos inofensivos. La fuente de carbono y/o energía se designa como sustrato, por lo que, en estas técnicas, la eliminación de contaminantes se conoce como utilización de sustrato. Los procesos de incremento en la biomasa y de utilización de sustrato están estrechamente entrelazados, y el término rendimiento se emplea para denotar la cantidad de biomasa generada por unidad de sustrato eliminado. Los tratamientos biológicos se presentan con varias categorizaciones, como procesos biológicos en suspensión y procesos biológicos en medios sólidos de soporte. Entre los organismos más relevantes que participan en el sistema de tratamiento biológico se encuentran bacterias, protozoos, hongos, algas, rotíferos, entre otros (Ferrer et al., 2018, p. 1)

El propósito fundamental del tratamiento biológico de las aguas residuales es descomponer o asimilar la sustancia disuelta, coloidal o sedimentable en aglomerados biológicos o películas biológicas, junto con los compuestos solubles que comprenden materia orgánica, ya sea biodegradable o no biodegradable (algunos de los cuales pueden tener características tóxicas), y nutrientes, incluyendo nutrientes esenciales como nitrógeno y fósforo. Este proceso se fundamenta en la capacidad inherente de las bacterias para cerrar los ciclos de elementos (como carbono, nitrógeno y fósforo) de manera natural en la tierra. En las plantas de tratamiento de aguas residuales, se aprovechan las bacterias que proliferan de forma natural en el entorno. A través de la ingeniería del sistema, es posible satisfacer los requisitos naturales para lograr la conversión biológica, tales como la provisión de oxígeno y la cantidad adecuada de biomasa.

Además, el diseño de los procesos biológicos se basa en la creación y explotación de entornos específicos para seleccionar microorganismos mejor adaptados que puedan reproducirse en esas condiciones ambientales (López et al., 2008, p. 9)

Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costes económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas. Según sea el tipo de compuesto a eliminar, podemos distinguir tratamientos biológicos que eliminan compuestos carbonados, compuestos nitrogenados o fósforo (Carmen y Lebrato, 2000, p. 1)

2.2.3. Biorreactores de lecho móvil con biofilm (MBBR)

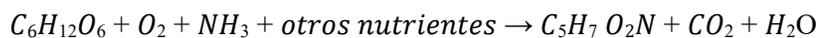
El fundamento primordial del método de lecho móvil implica el desarrollo de biomasa sobre estructuras de plástico que se desplazan dentro del reactor biológico mediante agitación generada por sistemas de aireación (en reactores aerobios) o sistemas mecánicos (en reactores anóxicos o anaerobios). Estas estructuras, fabricadas con plástico y con una densidad cercana a 1 gramo por centímetro cúbico, tienen la capacidad de desplazarse con facilidad en el reactor, incluso en condiciones de llenado de hasta un 70%. En estos procedimientos, se caracteriza la formación de agrupaciones de bacterias en forma de película biológica sobre las estructuras del soporte dentro del reactor. Es esencial contar con un soporte de alta superficie específica para lograr la reducción del volumen del reactor biológico. En las capas superficiales de esta película biológica, se producen diversas reacciones biológicas, incluyendo la eliminación de materia orgánica, así como procesos de nitrificación y desnitrificación (Larrea et al., 2004, p. 1).

El MBBR es altamente eficaz en la eliminación de materia orgánica debido a su diseño, que favorece una serie de reacciones biológicas y bioquímicas. La aireación constante y el

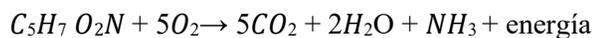
movimiento de los portadores incrementan la transferencia de oxígeno y previenen la aglomeración excesiva del biofilm, creando un entorno óptimo para la biodegradación aeróbica de compuestos orgánicos, donde los microorganismos convierten la materia orgánica en dióxido de carbono, agua y biomasa, generando energía en el proceso. Además, se promueve la nitrificación, donde el amoníaco es oxidado a nitrato, contribuyendo a la reducción de la concentración de nitrógeno en el efluente. Estas condiciones también permiten que algunos microorganismos asimilen fósforo en procesos de fosforización. (Revilla Salas, 2017, pp. 21-35).

López et al. (2017) menciona las siguientes reacciones:

Oxidación de materia orgánica



Por otro lado, las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto para la oxidación bioquímica de la materia orgánica a CO₂



Eliminación de nitrato



Fermentación, conversión de compuestos orgánicos más complejos (glucosa a ácido acético)



Eliminación de amoníaco

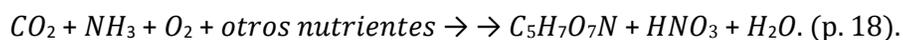


Tabla 2

Ventajas y desventajas de los bioreactores con lecho móvil con biofilm (MBBR)

Ventajas	Desventajas
-Mayor tiempo efectivo de retención de lodos	
-Menor tiempo de retención hidráulica	-Se requiere monitoreo bacteriano manual
-Responde a las fluctuaciones de carga sin intervención del operador	
-Baja producción de lodos	-Operador experto necesario
-Menos área requerida	
-Resistente al choque tóxico	
-Rendimiento del proceso independiente del clarificador secundario	
-Características de asentamiento mejoradas	

Nota: adaptado de Genesis Water Tech (2019).

Larrea et al. (2004) mencionan algunas aplicaciones del sistema MBBR: mejorar la capacidad de plantas de tratamiento de aguas residuales más antiguas, Renovar estaciones de tratamiento de lodos activados, Procesar aguas residuales de núcleos activados y tratar aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica disuelta (p. 3).

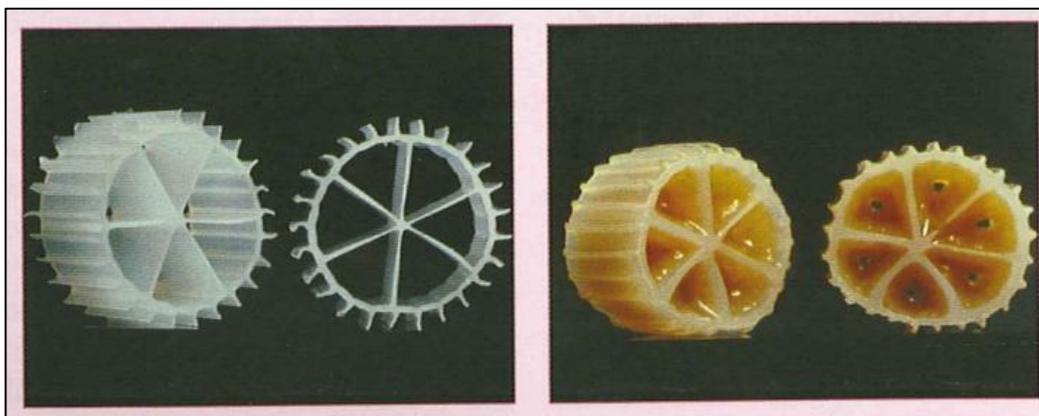
Componentes principales de un reactor MBBR

Reactor o tanque principal. Contenedor donde se desarrollan las reacciones biológicas aeróbicas, optimizado para garantizar un tiempo de retención adecuado y condiciones homogéneas de mezcla. Su diseño debe soportar la presión del agua y los biocarriers en movimiento (Buitrago Parada, 2022), p. 32).

Soportes. Soportes plásticos que proporcionan una alta superficie específica para el crecimiento del biofilm, permitiendo una alta eficiencia de tratamiento. Su estructura porosa favorece el intercambio de nutrientes y oxígeno con los microorganismos adheridos (Torres Quezada, 2020, p. 18).

Figura 1

Geometría y biopelícula de un soporte móvil



Fuente: (Larrea et al, 2004, p. 3)

Sistema de aireación. Introduce aire comprimido para mantener niveles óptimos de oxígeno disuelto y garantizar la actividad biológica del biofilm. Los difusores de aire en el fondo del reactor generan burbujas finas, maximizando la transferencia de oxígeno y agitando los biocarriers de forma uniforme. Este sistema asegura una distribución homogénea del aire, optimizando la degradación de la carga orgánica en el agua residual (Buitrago Parada, 2022), p. 32).

Sistema de agitación. Mantienen los biocarriers en movimiento continuo, garantizando una distribución homogénea de oxígeno y nutrientes. Son esenciales para prevenir zonas de estancamiento que podrían reducir la eficiencia del proceso biológico (Riancho López, 2018, p. 48).

Parámetros de dimensionamiento

Caudal. Parámetro clave para determinar el volumen del reactor MBBR, necesario para asegurar un tiempo de retención hidráulica (TRH) óptimo y eficiente. El caudal influye

directamente en la selección de componentes como las bombas y el sistema de distribución de aire, asegurando que el reactor maneje el flujo de aguas residuales sin comprometer la eficiencia de tratamiento (Dueñas Israel, 2019, p. 23).

Tiempo de retención hidráulica (TRH). tiempo promedio que una fracción de agua residual permanece en el reactor desde su entrada hasta su salida. Este parámetro es crítico, ya que determina el periodo durante el cual el agua está expuesta a los procesos de tratamiento biológico y químico. Un TRH adecuado asegura que el sustrato orgánico tenga el tiempo suficiente para ser degradado por los microorganismos. Se calcula mediante la relación entre el volumen del reactor y el caudal de entrada, y se expresa en horas o días (Orozco Jaramillo, 2014, p. 309).

Porcentaje de llenado de biocarriers. Proporción del volumen del reactor MBBR ocupado por los elementos de soporte plástico donde se desarrolla el biofilm. Este parámetro es crucial para optimizar la capacidad de tratamiento, ya que define la superficie disponible para la actividad microbiana. Generalmente, el porcentaje de llenado varía entre 10% y 70%, dependiendo del diseño y los requisitos de tratamiento. Un mayor porcentaje de llenado aumenta la superficie específica para la degradación de materia orgánica, pero también puede afectar la circulación de agua y la eficiencia del sistema de aireación (Riancho López, 2018, p. 17).

Carga de área superficial (SALR). Expresada en $\text{g/m}^2\cdot\text{día}$, indica la cantidad de materia orgánica, como la DBO, que debe ser removida por unidad de superficie activa de los biocarriers. Los gramos por día (g/d) se refieren a la carga orgánica a tratar, mientras que los metros cuadrados (m^2) representan el área superficial disponible en los biocarriers para el tratamiento. Este parámetro es clave para dimensionar el reactor y garantizar la eficiencia del biofilm en la remoción de la materia orgánica (Sanabria y Pacheco, 2019, p. 41).

Condiciones de operación

Huaynacho y Larico (2021) señalaron que las condiciones de operación juegan un papel determinante en la formación y estabilidad de la biopelícula en los reactores de lecho móvil.

Entre los factores mencionados se incluyen:

Disponibilidad de nutrientes. La disponibilidad de nutrientes como carbono, nitrógeno y fósforo es esencial para el crecimiento y la actividad de los microorganismos en la biopelícula; una adecuada proporción de estos nutrientes asegura una biodegradación eficiente de los contaminantes, deficiencias o excesos pueden limitar el rendimiento del reactor o provocar desequilibrios en la comunidad microbiana (Revilla Salas, 2017, p. 7).

Potencial de hidrógeno (pH). El pH del medio afecta directamente la actividad enzimática y la estructura de las células microbianas. La mayoría de los procesos biológicos en MBBR funcionan de manera óptima en un rango de pH entre 6.5 y 8.5. Valores fuera de este rango pueden inhibir el crecimiento microbiano y reducir la eficiencia de eliminación de contaminantes (Spellman, 2020, p. 10).

Temperatura. La temperatura es un factor esencial en el tratamiento de aguas residuales, ya que afecta directamente a diversos procesos biológicos. También es un regulador clave de la actividad bacteriana, cuyo rendimiento óptimo se encuentra entre los 25 °C y 35 °C. A temperaturas cercanas a 50 °C, los procesos mesófilos de digestión aerobia y la nitrificación bacteriana se interrumpen, mientras que, por debajo de 5 °C, se observa una inhibición significativa de la actividad microbiana (Delgadillo et al., 2010, p. 53).

Velocidad de flujo y turbulencia. Son parámetros fundamentales en el funcionamiento de un reactor MBBR, ya que regulan el contacto entre los portadores y el agua residual. Un flujo

adecuado asegura la exposición del biofilm a los contaminantes, mientras que la turbulencia mantiene los portadores en suspensión, favoreciendo la oxigenación y distribución de nutrientes. No obstante, una turbulencia excesiva puede dañar el biofilm, comprometiendo su eficiencia, por lo que es esencial mantener un equilibrio preciso en estos factores (Velasco Garduño, 2020, p. 28).

Hidrodinámica del sistema. Comportamiento del flujo de agua y su impacto en el movimiento de los portadores, donde se desarrolla el biofilm. Un flujo adecuado garantiza que los portadores permanezcan en suspensión, facilitando la distribución uniforme de oxígeno y nutrientes en el reactor, lo que maximiza la actividad biológica. Además, previene la sedimentación de los portadores y evita la formación de zonas de baja eficiencia. Factores como la velocidad del flujo de entrada y el diseño del reactor son determinantes para mantener una hidrodinámica óptima que favorezca un contacto continuo entre el biofilm y los contaminantes, mejorando la eficiencia del tratamiento (García Gonzáles, 2018, pp. 33-35).

Carga orgánica soluble aplicada. Cantidad diaria de DQO soluble biodegradable que se suministra por unidad de superficie de biopelícula en un reactor MBBR ($\text{g DQO/m}^2 \cdot \text{día}$). Este parámetro influye directamente en la composición y diversidad microbiana del biofilm, así como en la eficiencia del proceso de hidrólisis de la DQO particulada de degradación lenta, impactando el rendimiento general del sistema (Revilla Salas, 2017, p. 28).

Oxígeno disuelto. La concentración de oxígeno disuelto en el reactor debe mantenerse por encima de 2 g/m^3 para asegurar una eliminación eficiente de la DQO. Cuando el nivel de oxígeno disminuye de 2 a 1 g/m^3 , la eficiencia de remoción de DQO se reduce en un 13 %, lo que sugiere que la concentración de oxígeno actúa como un factor limitante. No obstante, un incremento de 2 a 6 g/m^3 solo mejora la eficiencia de eliminación de DQO en un 5,8 %, lo que

indica que, más allá de cierto umbral, el aumento de oxígeno tiene un efecto limitado en la mejora del proceso (Revilla Salas, 2017, p. 28).

Eficiencias de remoción

Se caracteriza por su alta eficiencia en la eliminación de materia orgánica y nutrientes, lograda mediante la optimización del contacto entre el biofilm en los portadores y el efluente. Esta tecnología promueve una actividad biológica efectiva y una remoción destacada de DQO. Además, su diseño permite una operación estable y resistente a variaciones en la carga contaminante, superando las limitaciones de sistemas tradicionales en cuanto a flujo y concentración de contaminantes (Huartos Toro, 2018, p. 37).

Tabla 3

Eficiencias promedio de un sistema MBBR

Parámetro	Porcentaje de remoción (%)
Demanda bioquímica de oxígeno	92
Demanda química de oxígeno	96
Sólidos suspendidos totales	95

Fuente: (Huartos Toro, 2018, p. 37).

2.2.4. Carga orgánica (L)

La carga orgánica en un sistema de tratamiento de aguas residuales se define como la cantidad de materia orgánica que ingresa al sistema por unidad de volumen y tiempo. Esta carga se expresa generalmente en términos de la demanda química de oxígeno (DQO) o la demanda biológica de oxígeno (DBO₅), ya sea en kg DQO/d o kg DBO₅/d. Un aumento en la carga orgánica incrementa la proporción de alimento disponible para los microorganismos presentes en el reactor, lo que estimula su crecimiento y actividad metabólica, dado que estos

microorganismos utilizan el sustrato orgánico como fuente de energía y carbono. Sin embargo, cuando la carga orgánica es elevada, la eficiencia del tratamiento dependerá de otros factores operacionales como el nivel de oxígeno disuelto, la capacidad de aireación y la composición del sustrato. Si alguno de estos factores se vuelve limitante, podría comprometerse la capacidad del sistema para degradar eficientemente la materia orgánica, afectando la calidad del efluente tratado. Por lo tanto, un manejo adecuado de la carga orgánica es fundamental para optimizar el rendimiento del sistema y asegurar que el proceso biológico opere dentro de parámetros controlados para maximizar la remoción de contaminantes (Reyes y Reyes, 2009, p. 102).

$$L = Q * CC$$

Donde:

L: carga orgánica

Q: caudal

CC: concentración

2.2.5. Planta de tratamiento de aguas residuales N° 1 "Lanla" de Cajabamba-Cajamarca

La planta de tratamiento de aguas residuales N° 1 "Lanla" de Cajabamba, Cajamarca, trata el 68% de las aguas residuales generadas por aproximadamente 17,750 usuarios, con un caudal de ingreso de 48.142 L/s. La planta cuenta con diversas unidades de tratamiento, cada una diseñada para purificar y acondicionar el agua residual antes de su descarga final, desempeñando funciones específicas en el proceso de tratamiento.

- a. Tubería de ingreso.** Es de PVC para desagüe, con un diámetro de 25 cm

- b. Recamara de rejas.** El agua ingresante se somete primero a una recamara de rejas La recámara de la reja tiene una altura total de 50 cm y una longitud de 4.35 m. El ancho de la sección de la reja es de 30 cm. La criba está compuesta por platinas de acero inoxidable de 35 x 6 mm en su sección transversal, con un espaciamiento de 2.5 cm entre cada platina, inclinadas a 45° respecto a la horizontal. El bypass comienza antes de la reja y termina aguas abajo de la misma, con un ancho de 25 cm, una altura de 52 cm y una longitud de 3.17 m. Además, la recámara de la reja fina presenta una pendiente de 4.6 por mil). Cuya función es retener partículas sólidas de mayor tamaño, como residuos y objetos grandes, evitando que obstruyan o dañen las etapas posteriores del tratamiento.
- c. Medidor del caudal.** El medidor de caudal modelo Palmer-Bowlus cuenta con un canal de régimen crítico de 0.25 m de ancho, una garganta de 0.125 m, 17 cm de longitud y una altura de 67 cm.
- d. Conducción y distribución del agua residual.** La tubería de conducción, fabricada en HDPE, tiene un diámetro de 25 cm y una pendiente de 2.5‰, conectada mediante bridas en cada cambio de dirección. Después de que el agua residual cribada llega al distribuidor de caudal, se divide en dos tuberías de HDPE, cada una con un diámetro de 25 cm y una pendiente de 2.5 por mil, dirigiéndose individualmente a cada uno de los tanques Imhoff.
- e. Tanque Imhoff con sedimentadores primarios.** La PTAR N°01 está equipada con dos tanques Imhoff operativos. Cada sedimentador de estos tanques tiene un tiempo de retención de 2.5 horas, lo que asegura una sedimentación adecuada. Cada tanque Imhoff cuenta con dos sedimentadores y dos cámaras de digestión. Las dimensiones de cada tanque son de 18 m de longitud y 5.75 m de ancho, y cada uno tiene una salida de 25 cm de diámetro. En promedio, se retiran 0.2 m³ de lodo por mes de cada tanque Imhoff.

- f. Filtros percoladores.** Cada uno de los dos filtros percoladores está equipado con un molinete hidráulico o distribuidor de agua, alimentado por una tubería de 20 cm de diámetro. Cada molinete cuenta con dos brazos de distribución, cada uno con un diámetro de 10 cm. Los filtros percoladores tienen un diámetro de 19 m, y el material filtrante en la capa superior presenta un tamaño de partículas entre 20 mm y 30 mm. No se ha detectado desbordes de agua cruda, filtraciones ni grietas en la estructura.
- g. Sedimentadores secundarios o Tanques Dortmund.** Los dos sedimentadores secundarios presentan un diámetro superior de 5.7 m y una profundidad total de 4.55 m cada uno. Después del tratamiento, las aguas residuales tratadas fluyen hacia el tanque de contacto de cloro, donde se lleva a cabo la desinfección final. El lodo generado en los sedimentadores se acumula en una tolva y es removido por gravedad hacia la cisterna de la estación de bombeo de lodos, no se ha observado ningún desbordamiento de agua cruda en el sistema, lo que indica un funcionamiento adecuado.
- h. Desinfección.** El tanque de desinfección está dividido en tres compartimientos longitudinales. Sus dimensiones son 3.5 m de largo y 2.10 m de ancho. Actualmente, el tanque de contacto de cloro no está operativo, dado que la PTAR N°01 no ha utilizado cloro desde su puesta en funcionamiento.
- i. Lechos de Secado:** Se dispone de seis ambientes de lechos de secado, cada uno con dimensiones de 18.5 m de largo y 9.5 m de ancho. En promedio, de cada ambiente se retiran 2.5 toneladas de abono seco mensualmente. Estos lechos cuentan con una geomembrana que evita la contaminación del suelo y se cubren con una capa de arena de 40 centímetros de espesor. Además, presentan dos capas de grava de diferente tamaño y finalizan con una cama de tuberías ahuecadas de 6 pulgadas. Aquí, los lodos se

deshidratan mediante la evaporación natural, y el líquido resultante retorna a los sedimentadores secundarios para un tratamiento adicional.

- j. Canal de recolección y disposición Final:** Finalmente, el agua tratada es conducida en una tubería hacia el río Lanla, está tubería fabricada en PVC, tiene un diámetro de 25 cm y presenta una pendiente de 2.5 por mil.

Figura 2

Planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba-Cajamarca



Fuente: (Núñez, 2019, p. 38)

2.3. Definición de Términos Básicos

2.3.1. *Reactor MBBR*

Tecnología de tratamiento de aguas residuales que utiliza un medio de soporte suspendido en un tanque para fomentar la colonización de microorganismos beneficiosos que degradan los contaminantes presentes en el agua.

2.3.2. Biocarriers

Soportes bioactivos a los que se adhieren los microorganismos. Estos soportes son principalmente plásticos, diseñados específicamente para mantenerse en suspensión y moverse continuamente dentro del volumen del reactor.

2.3.3. Biofilm

Comunidad de microorganismos adheridos a una superficie, que trabajan conjuntamente para degradar contaminantes en el tratamiento de aguas residuales.

2.3.4. Optimización

Mejorar de manera sistemática parámetros operativos y diseño para lograr un rendimiento óptimo en la eliminación de contaminantes y eficiencia general.

2.3.5. Remoción de carga orgánica

Reducción o eliminación de materia orgánica presente en aguas u otros medios, mediante procesos de degradación biológica u otras técnicas, con el objetivo de mejorar la calidad ambiental.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la Investigación

La investigación se desarrolló en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales N° 1 “Lanla” de Cajabamba, provincia de Cajabamba en la región de Cajamarca, donde se realizó las observaciones, mediciones y análisis para comprender y mejorar el proceso de tratamiento de aguas residuales en esta instalación, permitiendo optimizar y proponer soluciones para la eficiencia y efectividad del tratamiento de aguas residuales.

Coordenadas UTM:

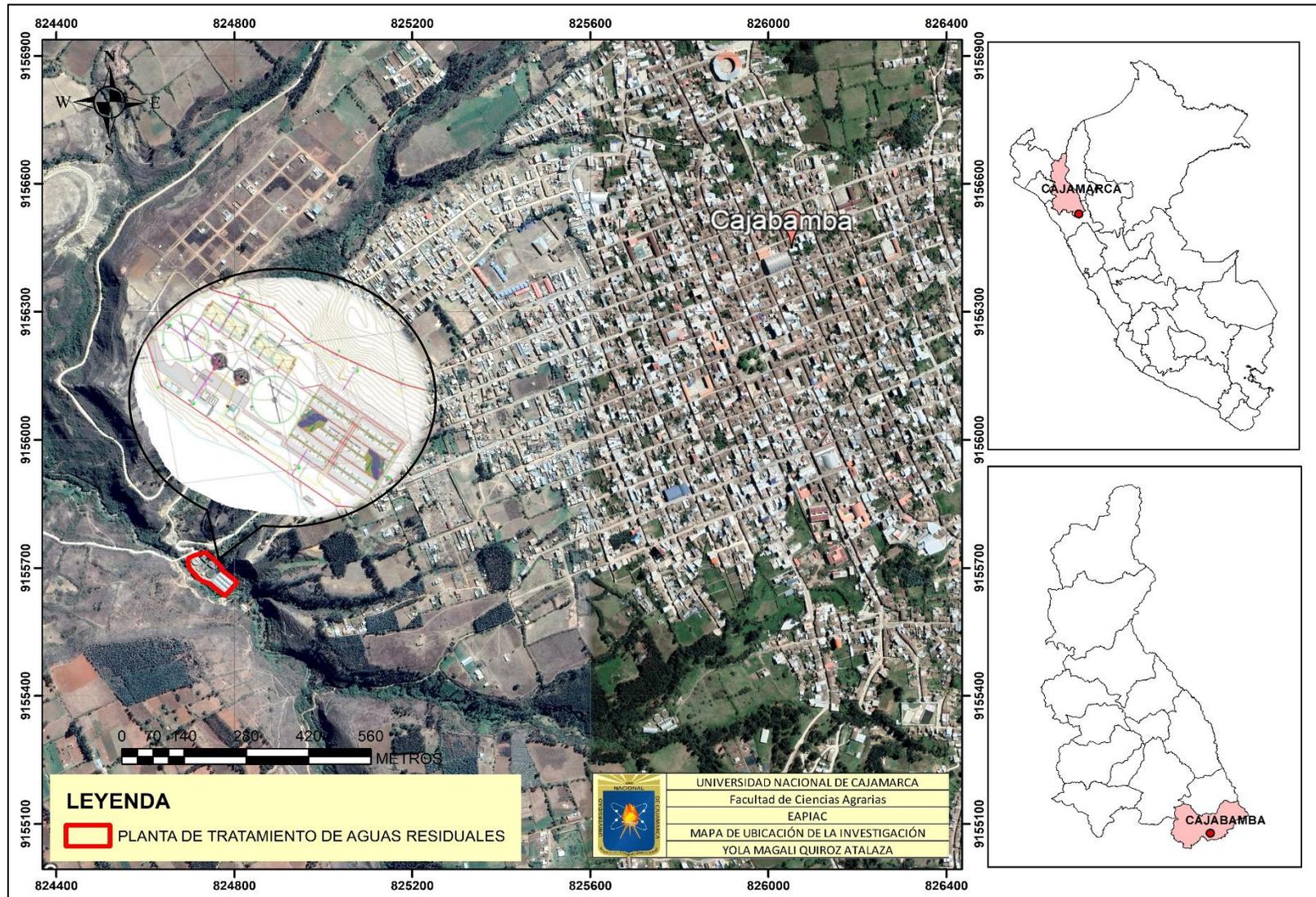
Norte: 9155700.78, Este: 824732.09

Altitud: 2530 m s. n. m

La ubicación de la investigación presenta una temperatura, con mínimas de 7°C y máximas de 17°C, debido a los cambios climáticos estacionales a lo largo del año (Núñez Figueroa, 2019)

Figura 3

Ubicación de la investigación



3.2. Materiales Experimentales

- Efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba-Cajamarca

3.2.1. Materiales

- Fichas de registro de campo
- Cinta adhesiva
- Silicona
- Kit de muestreo (envases de vidrio y plástico)
- Mascarillas y Guantes quirúrgicos
- Tubos de PVC ½ pulgada
- Codos de PVC de 90° de ½ pulgada
- Tee de PVC de ½ de pulgadas
- Adaptador macho y hembra de PVC de ½ pulgada
- Llaves de paso de PVC de ½ pulgada
- Controlador de flujo de aire de 10 salidas
- Piedra difusora
- Biocarriers
- Mangueras de cristal
- Reactor de vidrio

3.2.2. Equipos

- Electrobomba centrifuga Munich ¼ HP
- Multiparámetro HANNA HI 9811-5
- Cámara fotográfica Canon EOS T100
- Cronometro Casio Hs-80tw

3.3. Procedimiento

3.3.1. Instalación de los reactores MBBR

- Se instalaron dos reactores MBBR con fiofilm, fabricados en vidrio macizo; a los cuales se les incorporo 50 % de biocarriers como medio de soporte, Vela et al., (2023) corroboró la eficacia de este porcentaje, destacando que es óptimo para el proceso.
- Las dimensiones se calcularon en función al caudal de trabajo elegido ($Q=40$ L/día)

$$Q=V/T$$

$$V=Q*T$$

Tabla 4

Volumen en función al tiempo de retención hidráulica (TRH)

TRH (horas)	Volumen efectivo del reactor (sin biocarriers) (L)	Volumen total (L)
10	17	34
17	28	56

- Los TRH escogidos (10 y 17 h) se sustentan en investigaciones previas; Parra (2006) demostró que tiempos inferiores a un día producen mejores resultados, mientras que Villamar (2009) reportó eficiencias superiores al 90 % con TRH de 17 y 10 horas.
- La relación de largo a ancho del reactor se mantuvo por debajo de 1.5:1 para evitar una distribución inadecuada de los biocarriers. Asimismo, la altura del reactor se ajustó en función de su longitud, ya que un mayor alargamiento favorece la eficiencia en la transferencia de oxígeno (Gonzales, 2020).

Tabla 5

Dimensiones del reactor MBBR, para cumplir con el volumen

Volumen (L)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
34	0.37	0.25	0.368
56	0.44	0.296	0.43

Figura 4

Plano del sistema MBBR, vista de perfil

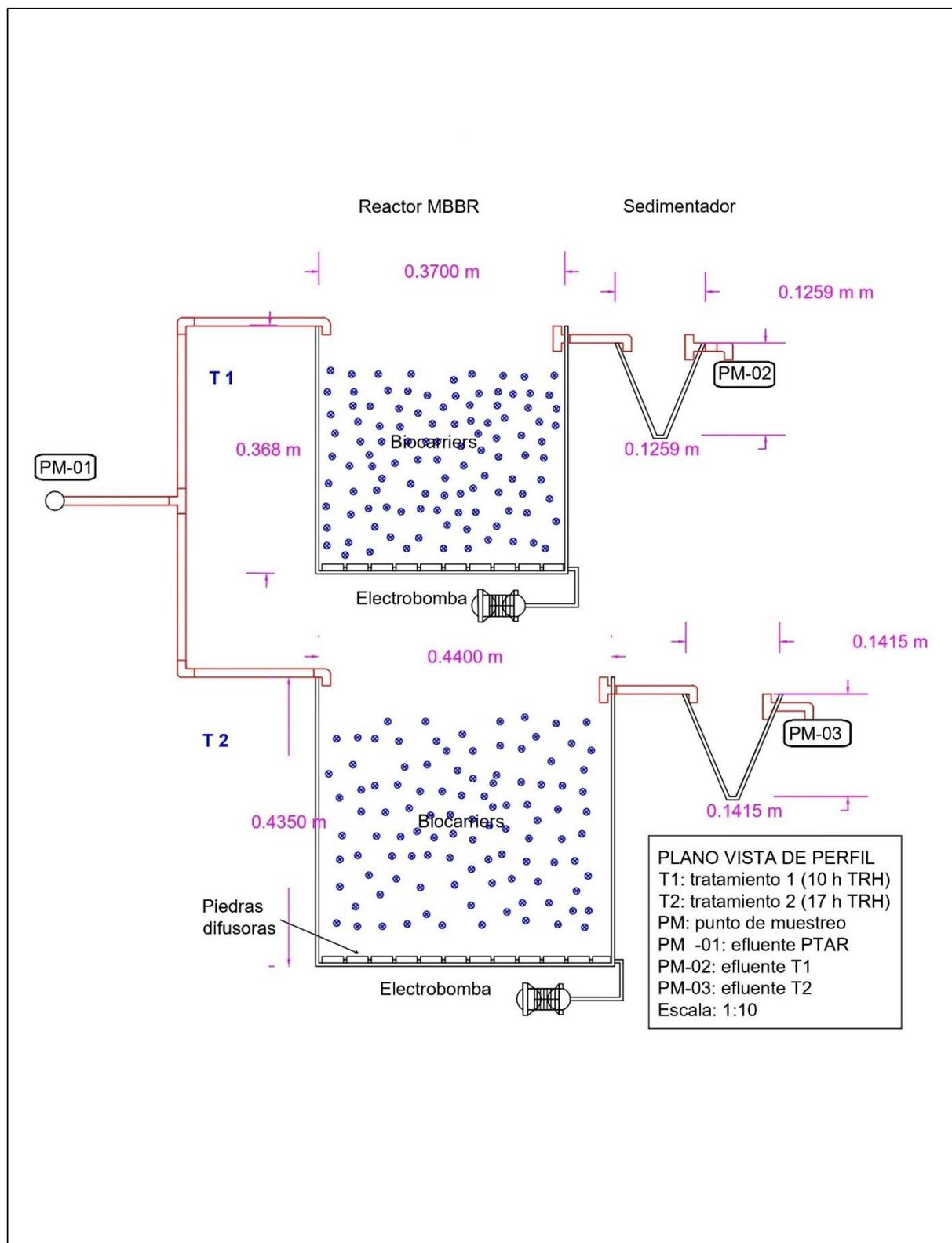
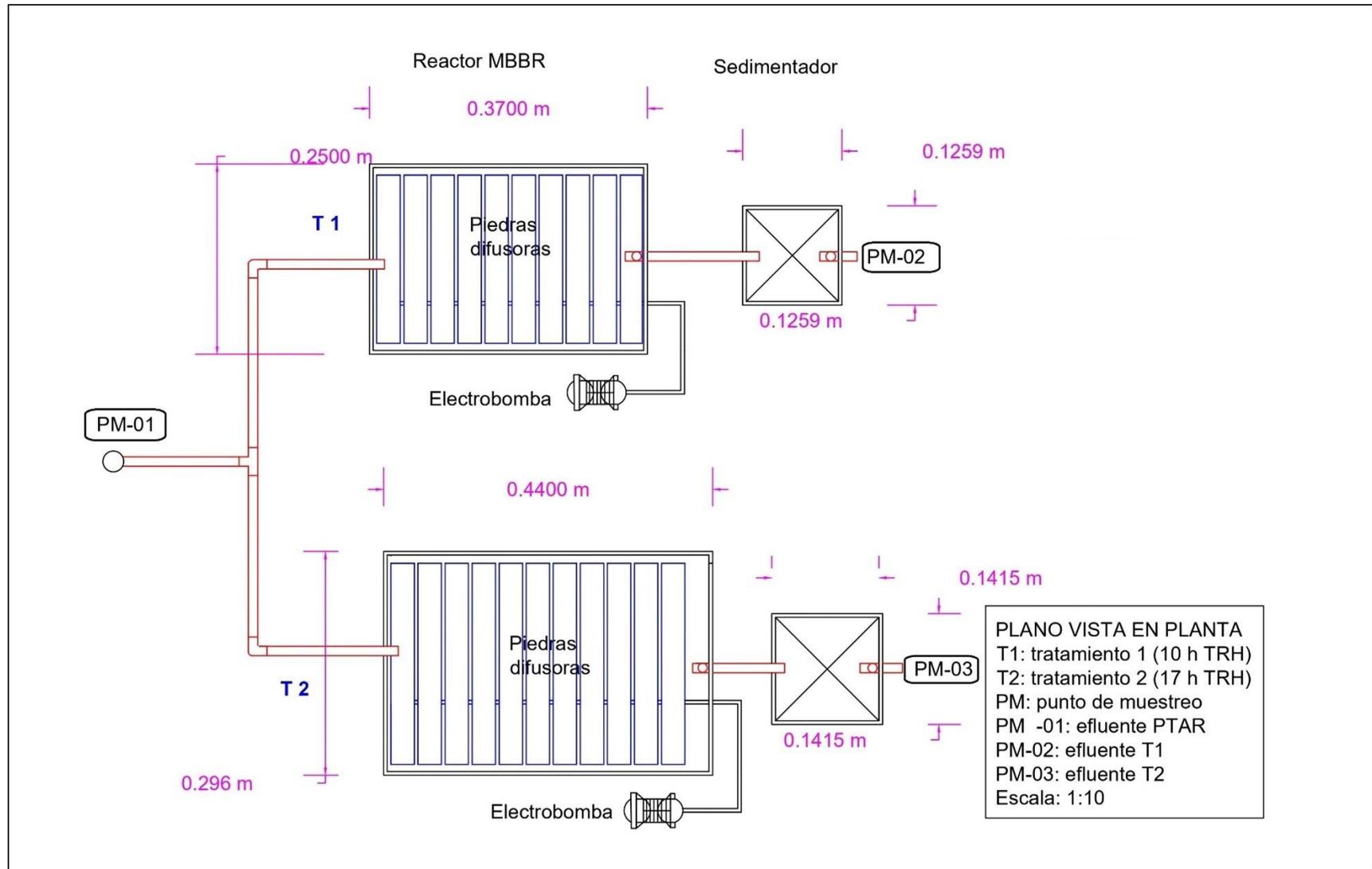


Figura 5

Plano del sistema MBBR, vista en planta



- La forma rectangular elegida, se basa en las observaciones de García y Gutiérrez (2018), quienes mencionaron que la geometría cilíndrica presenta problemas en lo que respecta al movimiento de los biocarriers.

Figura 6

Reactores con los biocarriers



- Para inducir turbulencia requerida en el sistema, se empleó electrobombas centrífugas Munich de 1/4 Hp. Para que los biocarriers se encuentren en suspensión.
- Las bombas se vincularon mediante mangueras flexibles a un controlador de flujo de aire de 10 salidas. Este controlador, a su vez, estuvo conectado a piedras difusoras sumergidas en la base del reactor. Esta configuración permitió una distribución precisa y eficiente del aire, con una tasa promedio de aireación de 10 a 15 L/h y un tamaño de burbuja de aproximadamente 1 a 3 mm, esencial para el enriquecimiento del proceso biológico en el interior del reactor.

Figura 7*Sistema de aireación*

- El sistema estuvo conectado a un sedimentador secundario de vidrio macizo de forma cónica cuyo volumen se calculó en función al tiempo de retención hidráulica, ver plano figura 4 y 5.

Tabla 6*Dimensiones del sedimentador secundario*

TRH (horas)	Largo (m)	Ancho (m)	Altura (m)
1.5	0.1259	0.1259	0.1259
2	0.1415	0.1415	0.1415

Figura 8*Sedimentador secundario*

3.3.2. Funcionamiento de los reactores

- Se empleó el efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales N° 1 “Lanla” de la ciudad de Cajabamba. Este efluente, fue utilizado como la base de partida de la investigación, mediante un balde de alimentación de aguas residuales.

Figura 9

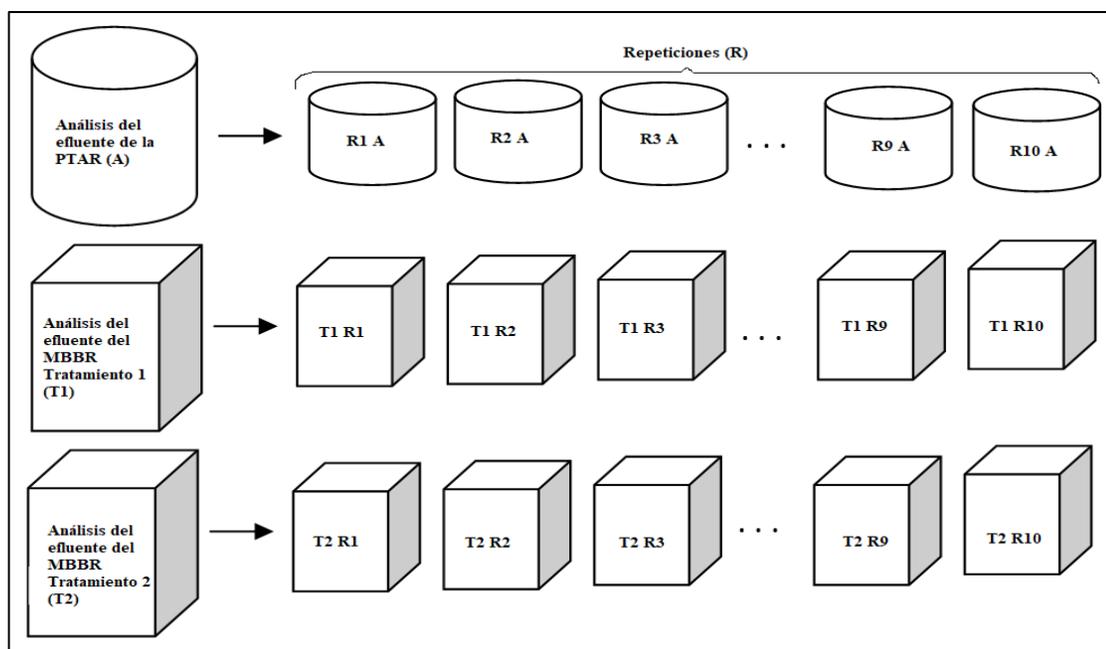
Tanque de distribución de agua del efluente de la PTAR



- En la fase inicial del experimento (arranque), Barwal y Chaudhary (2015) señalan que el intervalo óptimo para una mayor producción microbiana es entre el cuarto y séptimo día. Sin embargo, en este estudio, fue necesario un tiempo de retención hidráulica de 15 días para que la biopelícula alcanzara el desarrollo adecuado.
- Se reguló el caudal (0.00047 L/s), garantizando el cumplimiento de los tiempos de retención hidráulica establecidos, ver Figura 10.
- El sistema incorporado funcionó de forma continua, cumpliendo con el cronograma de muestreo establecido.

Figura 10*Medición del caudal para regulación del TRH***3.3.3. Muestreo de los parámetros analizados**

- Se estableció tres puntos de muestreo: uno se localizó en el efluente proveniente de la planta de tratamiento de aguas residuales (PM-01), mientras que los otros dos se ubicaron en los efluentes generados por los biorreactores MBBR (PM-02 y PM-03), ver plano (figura 4 y 5).
- Se llevó a cabo un total de 10 repeticiones en el proceso de muestreo (figura 11). La recolección de las muestras se efectuó semanalmente a lo largo de un período de dos meses. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, que cuenta con la acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INACAL-DA) bajo el registro N.º LE-084. En dicho laboratorio, se procedió a realizar un análisis de los parámetros: demanda química de oxígeno (DQO), coliformes termotolerantes, sólidos sedimentables y oxígeno disuelto.

Figura 11*Croquis del experimento***Figura 12***Preservación, etiquetado y envío de muestras al laboratorio*

- Los parámetros de pH y temperatura, fueron evaluados utilizando un multiparámetro TERMOCIENTIFIC STAR A 329 calibrado y acreditado para asegurar la precisión de las mediciones.

Figura 13

Medición de los parámetros de campo



3.4. Tratamiento y Análisis de Datos

Esta investigación se dividió en dos fases principales: Análisis inicial, se examinó el efluente de la PTAR de Cajabamba. Análisis final, se evaluó el efluente del sistema MBBR incorporado. Comparando ambos análisis, se determinó el impacto de la incorporación del sistema MBBR en la optimización del tratamiento de aguas residuales

El enfoque estadístico consistió en la aplicación del análisis de varianza de un solo factor (ONE-WAY) en un diseño completamente al azar (DCA).

La característica fundamental de un diseño completamente al azar radica en la realización de un experimento o estudio en el cual todas las diversas fuentes de variación o influencia potenciales están rigurosamente reguladas, y solo un factor bajo investigación tiene. Este factor

se examina en al menos tres niveles o tratamientos, y se implementan “ni” repeticiones en cada uno de estos niveles o tratamientos (Cervantes y Marques, 2007, p. 4)

Elo modelo matemático a usar es: $Y_{ij} = \mu + \beta_i + \varepsilon_{ij}$

con $i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, n$ y $\varepsilon_{ij} = (0, \sigma^2)$

donde:

μ : representa la media de la población

β_i : representa el efecto del tratamiento “i”

ε_{ij} : representa el error con una distribución normal $(0, \sigma^2)$

Tabla 7

Tabla de análisis de varianza

Fuente de Variación (F.V.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Grados de Libertad (g.l.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F_o
Tratamientos	$SC_{TRATAMIENTOS}$	K - 1	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{K - 1}$	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{SC_{ERROR}}$
Error	SC_{ERROR}	N - K	$\frac{SC_{ERROR}}{N - K}$	
Total	SC_{TOTAL}	N - 1	—	

Fuente: (Fallas, 2012, p. 10).

Coefficiente de variabilidad (CV) = $\frac{\sqrt{\text{Cuadrado medio del error}}}{\text{media}} \times 100$

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de Funcionamiento del Biorreactor de Lecho Móvil con Biofilm

La Tabla 7 muestra los resultados de tres puntos de muestreo: efluente de la PTAR Cajabamba (PM-01), efluente del sistema MBBR con TRH de 10 horas (PM-02) y efluente del MBBR con TRH de 17 horas (PM-03).

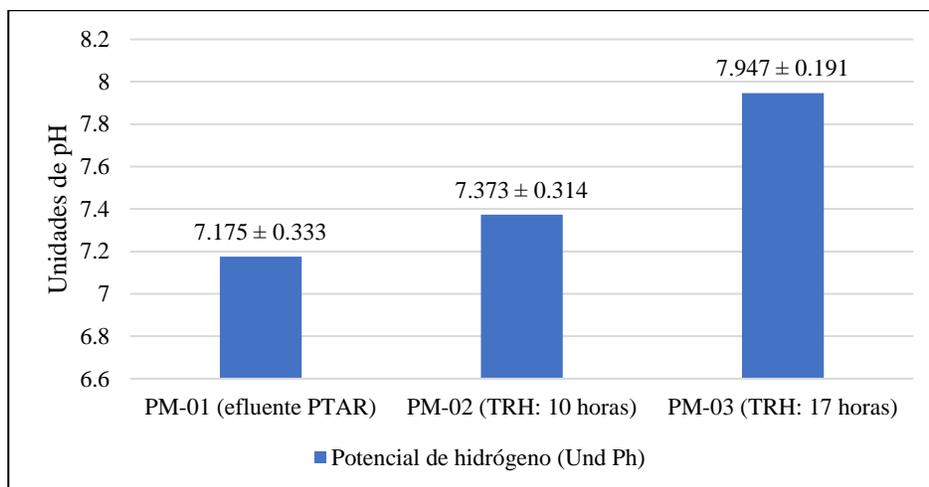
Tabla 7

Condiciones de funcionamiento del biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR)

Repeticiones	Potencial de hidrógeno			Temperatura (°C)			Oxígeno disuelto (mg/L)			Sólidos sedimentables ml/L/h		
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03
1	7.34	7.87	7.98	19.7	21.41	21.51	2.31	5.34	6.87	70.21	19.37	12.07
2	7.45	7.65	8.03	20.01	20.21	20.25	2.46	5.98	7.12	75.98	24.31	14.37
3	6.98	7.34	7.89	18.21	19.37	19.14	3.18	6.04	7.89	69.03	20.36	9.34
4	7.01	7.45	7.71	21.34	21.86	21.71	1.06	4.03	5.98	63.37	15.94	10.97
5	6.59	7.23	8.21	19.02	20.31	19.98	2.93	5.38	6.31	72.69	21.21	12.34
6	7.69	6.89	7.89	19.31	19.91	20.38	3.98	6.71	6.89	60.08	20.73	12.98
7	7.51	7.69	7.87	20.01	20.14	20.16	3.54	5.97	7.37	70.21	20.27	14.31
8	7.26	7.43	8.31	21.34	21.98	21.67	2.07	4.39	6.31	65.31	21.09	11.82
9	7.03	7.23	7.79	18.31	19.21	19.87	1.38	4.01	6.79	71.98	20.39	13.33
10	6.89	6.95	7.79	19.45	20.01	20.31	1.05	4.34	7.01	58.01	18.03	11.39
Promedio	7.175	7.373	7.947	19.67	20.44	20.5	2.396	5.219	6.854	67.69	20.17	12.29
Desviación E.	0.333	0.314	0.191	1.075	0.978	0.856	1.025	0.967	0.557	5.798	2.175	1.545

Figura 14

Potencial de hidrógeno promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR

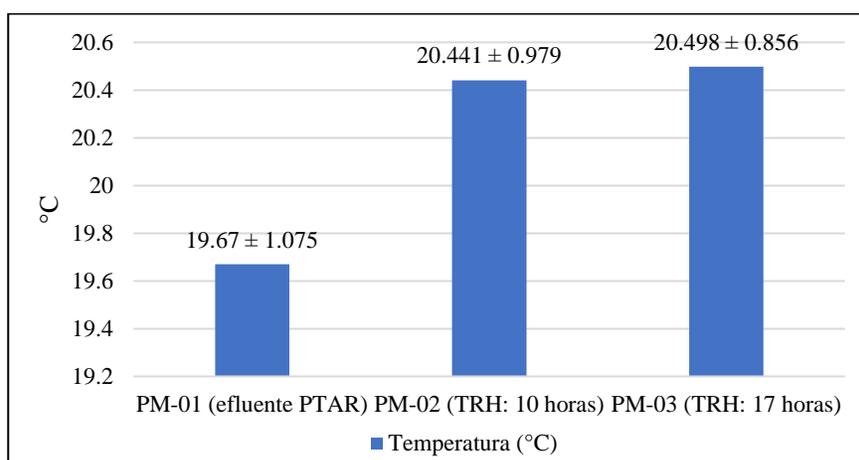


Los resultados de pH muestran un incremento progresivo entre el afluente y los efluentes de los sistemas MBBR con distintos tiempos de retención hidráulica (TRH): desde 7.175 ± 0.333 en el afluente hasta 7.947 ± 0.191 en el efluente con TRH de 17 horas. Este aumento progresivo de pH indica una eficiente remoción de carga orgánica en el sistema, en línea con Parra (2006), quien reportó un pH de entrada de 7.0 y salidas de 7.9 y 8.1 en sistemas de tratamiento similares, atribuyendo el cambio a la reducción de ácidos orgánicos. La disminución de estos ácidos y la constante aireación, que elimina CO_2 disuelto, favorecen el aumento de pH al reducir la cantidad de ácido carbónico (Orellana, 2005). Además, ciertas bacterias en el biofilm pueden consumir CO_2 para sintetizar compuestos orgánicos, lo que contribuye a la formación de bicarbonato y estabiliza el pH (Sanz Valencia, 2014). El pH resultante, en un rango de 6 a 9, es adecuado para el crecimiento microbiano, como también observaron García y Gutiérrez (2018) con un valor de 7.75 y Reyes (2020), quien reportó un incremento de 6.5 en el afluente a 8 en el efluente. Otros estudios corroboran estos incrementos: Torres (2020) encontró valores de 7.86 ± 0.3 en el afluente y 7.49 ± 0.3 en el efluente; Cruz (2022) reportó un aumento de 7.175 en el afluente de la

PTAR a 7.947 en el efluente del MBBR con 17 horas de TRH; Vela et al. (2023) y Huaynacho y Larico (2021) hallaron valores de 6.8 y 7.5, respectivamente; y Ali et al. (2020) registró un rango de 6.8 a 8.1, típicos en aguas residuales tratadas. Estos datos sugieren que el MBBR opera eficazmente y mantiene el pH dentro de los límites óptimos para la remoción de contaminantes.

Figura 15

Temperatura promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR

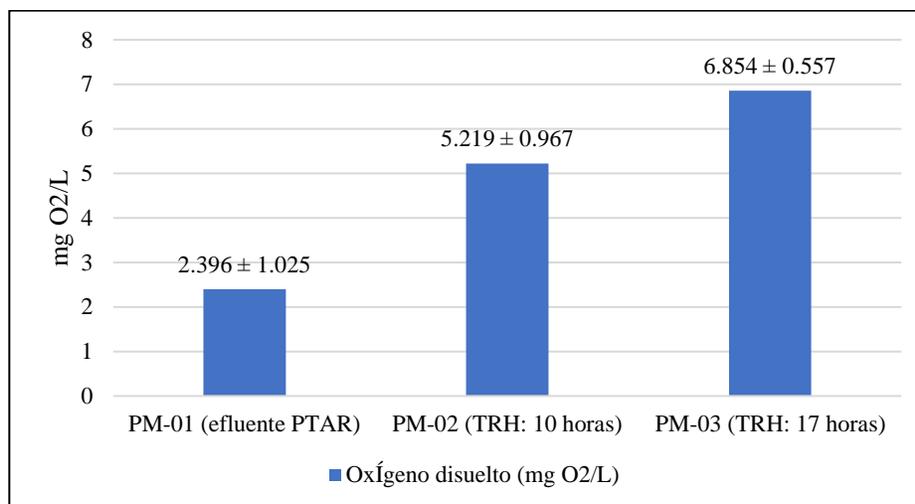


La figura 15 muestra los resultados de temperatura oscilaron entre 19.67 ± 1.075 °C en el afluente y 20.498 ± 0.856 °C en el efluente con 17 horas de TRH, mostrando un leve incremento. Este aumento se explica por la producción de calor derivada de la oxidación biológica, donde las bacterias, al crecer, oxidan un donante de electrones para obtener energía, generando calor (Grady et al., 2011). Incrementos similares fueron observados por García y Gutiérrez (2018) y Cruz (2022), atribuidos a la actividad metabólica de los microorganismos. Otros estudios, como los de Vela et al. (2023) y Ali et al. (2020), registraron temperaturas más altas (23.6 °C y entre 27.6 - 34.7 °C, respectivamente), posiblemente debido a factores climáticos y operativos. Houda et al. (2015) reportó mayores variaciones, con temperaturas de 35.70 ± 4.78 °C en agua sin tratar y 29.36 ± 4.78 °C en agua tratada, destacando la influencia del clima en la temperatura del agua.

Estos resultados confirman que el MBBR opera en un rango térmico favorable para la actividad biológica y la remoción de carga orgánica.

Figura 16

Oxígeno disuelto promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR

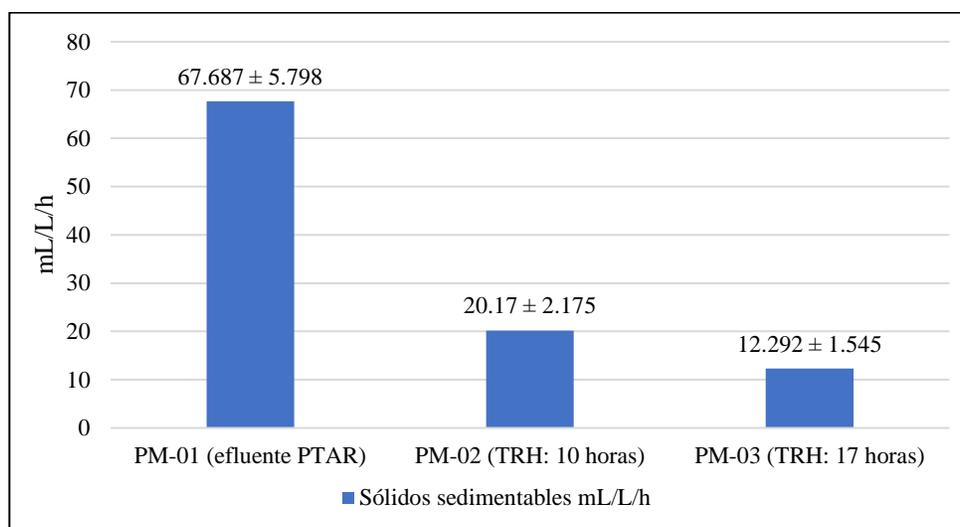


La figura 16 muestra los resultados de oxígeno disuelto, evidenciando un aumento progresivo con el incremento del tiempo de retención hidráulica, oscilando entre 2.396 ± 1.025 mg/L en el afluente y 6.854 ± 0.557 mg/L en el efluente con un TRH de 17 horas. Este aumento se atribuye a la disminución de contaminantes, lo que reduce la demanda de oxígeno disuelto. El mayor tiempo de contacto en el MBBR, junto con una oxigenación constante, favorece la disolución de oxígeno en el agua. Parra (2016) resalta que niveles óptimos entre 8.1 y 9 mg/L son cruciales para el crecimiento microbiano. Torres (2020) reportó un incremento de 0.17 ± 0.03 mg/L en el afluente a 6.57 ± 0.3 mg/L en el efluente, reflejando una tendencia similar. García y Gutiérrez (2018) encontraron un oxígeno disuelto de 4.51 mg/L, alineado con los resultados obtenidos. Ali et al. (2022) enfatizan la necesidad de mantener niveles superiores a 2 mg/L para garantizar la operación del MBBR. Así, el incremento de oxígeno disuelto,

especialmente notable con el tiempo de retención de 17 horas, indica una eficiente remoción de contaminantes y una adecuada dotación de oxígeno, favoreciendo el rendimiento del MBBR.

Figura 17

Sólidos sedimentables promedio en el efluente PTAR y efluentes del MBBR



La figura 17 muestra los resultados de los sólidos sedimentables, evidenciando una reducción significativa a medida que el agua pasa a través del sistema MBBR, disminuyendo de 67.687 ± 5.798 mL/L/h en el afluente a 12.292 ± 1.545 mL/L/h en el efluente con un tiempo de retención de 17 horas. Esta reducción se atribuye a la ubicación de los puntos de muestreo posteriores a los sedimentadores, donde ocurre una separación efectiva de sólidos. El mayor tiempo de retención permite una sedimentación más completa y mejora la calidad del agua tratada, reflejándose en la notable disminución de sólidos sedimentables.

4.2. Carga Orgánica y Microbiológica

La Tabla 8 presenta la carga orgánica (carga de la DQO) y microbiológica (carga de coliformes termotolerantes) en el efluente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) y en el biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR), operado con diferentes tiempos

de retención hidráulica (TRH). Los datos de concentración, junto con el cálculo de la carga, se encuentran en el Anexo 1 y 2.

Tabla 8

Carga de la DQO y coliformes termotolerantes en el efluente de la PTAR y MBBR

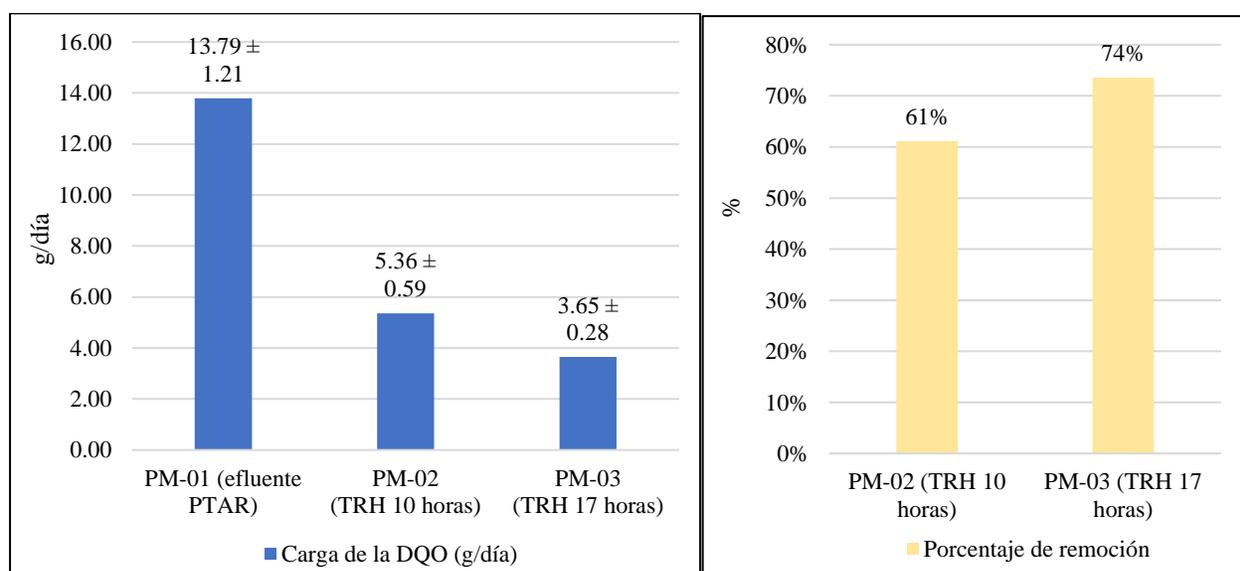
Repeticiones	Carga de DQO g/día			Carga de coliformes termotolerantes NMP/día		
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03
1	15.440	6.104	4.106	6.90E+08	2.68E+08	1.42E+08
2	14.989	5.364	3.914	7.11E+08	2.58E+08	1.40E+08
3	14.393	5.236	3.667	6.86E+08	2.61E+08	1.41E+08
4	14.891	6.024	3.903	6.42E+08	2.59E+08	1.30E+08
5	13.117	5.679	3.628	5.89E+08	2.36E+08	1.12E+08
6	13.518	5.941	3.667	4.93E+08	1.79E+08	9.30E+07
7	14.471	5.442	3.645	5.48E+08	1.86E+08	9.54E+07
8	12.939	4.684	3.328	4.83E+08	1.53E+08	7.92E+07
9	12.262	4.482	3.221	4.43E+08	1.34E+08	6.70E+07
10	11.894	4.685	3.369	4.10E+08	1.17E+08	6.05E+07
Promedio	13.791	5.364	3.645	5.69E+08	2.05E+08	1.06E+08
Desviación E.	1.2192	0.590	0.280	1.10E+08	5.79E+07	3.14E+07

Nota: Afluente PTAR Cajabamba (PM-01), efluente TRH 10 horas (PM-02), efluente TRH 17 horas (PM-03)

Carga orgánica (DQO) en el efluente de la PTAR y MBBR

Figura 18

Carga de la DQO (g/día) y eficiencias de remoción



Fuente: afluente (PM-01), efluente MBBR TRH 10 horas, efluente MBBR TRH 17 horas

La Figura 18 muestra las cargas de demanda química de oxígeno (DQO) en los diferentes puntos de muestreo, evidenciando una disminución significativa a medida que aumenta el tiempo de retención hidráulica (TRH). En el afluente, se encontró una carga de DQO de 13.79 ± 1.21 g/día. En el efluente con un TRH de 10 horas, la carga de DQO se redujo a 5.36 ± 0.59 g/día, logrando una eficiencia de remoción del 61%. Al aumentar el TRH a 17 horas, la carga de DQO disminuyó a 3.65 ± 0.28 g/día, con una eficiencia de remoción del 74 %. Esta mejora se atribuye al mayor tiempo de contacto entre los microorganismos y la materia orgánica, lo que favorece su oxidación biológica y, en consecuencia, una mayor eliminación de contaminantes. Estévez (2016) respalda estos resultados, demostrando que mayores TRH favorecen la adherencia bacteriana en el lecho móvil, incrementando la degradación de la carga orgánica; en su estudio, la DQO inicial disminuyó de 16500 mg/L a 7600 mg/L y una eficiencia de 53.93% tras 15 días de TRH. García y Gutiérrez (2018) también observaron resultados óptimos a mayores TRH y señalaron que la introducción de aire en el reactor crea condiciones aeróbicas ideales, potenciando la actividad metabólica de los microorganismos y logrando una reducción de la DQO de 496.65 ± 150.93 mg/L a 323.38 ± 112.08 mg/L con una eficiencia 35.60%. De manera similar, Reyes (2020) destacó la eficacia de los biocarriers, cuya alta superficie específica facilita la colonización microbiana, mejorando la transferencia de oxígeno y promoviendo un contacto constante con la materia orgánica; en su estudio, una DQO inicial de 294 mg/L en el afluente disminuyó a 64.5 mg/L en el efluente con una eficiencia 79.59% a 11 horas de TRH.

Torres (2020) también encontró que un TRH prolongado mejora la degradación de la carga orgánica, reportando una disminución de la DQO desde 322 ± 54 mg/L en la entrada hasta 12.88 ± 2.16 mg/L en el efluente con eficiencia de 96%. Sin embargo, Parra (2006) reportó una reducción significativa de DQO con TRH menores, atribuyéndolo a una biopelícula madura y

estable en el sistema; en su estudio, la DQO bajó de 661 mg/L en la entrada a 391.8 mg/L y 382 mg/L en la salida. Esto sugiere que la eficiencia de remoción también puede depender del estado de la biopelícula, no solo del TRH. En un contexto similar, Huaynacho y Larico (2021) encontraron una reducción de DQO desde 235 ± 51 mg/L en el afluente hasta 45 mg/L con un TRH de solo 6 horas, indicando que en algunos casos la relación entre el TRH y la eficiencia de remoción no es siempre lineal.

Por otro lado, Vela et al. (2023) observaron una concentración inicial de DQO de 3114 mg/L que disminuyó a 542.416 mg/L, mientras que Houda et al. (2015) reportaron una reducción de 146 ± 27.5 mg/L en el agua sin tratar a 45.00 ± 28.00 mg/L en el agua tratada con eficiencia del 96 %, confirmando la eficacia del MBBR para reducir la carga orgánica bajo condiciones de TRH ajustadas. Estos hallazgos resaltan la importancia de optimizar el TRH, junto con factores como la dotación de oxígeno y la condición de la biopelícula, para maximizar la eficiencia en la remoción de DQO en sistemas MBBR.

Tabla 9

Análisis de la varianza ANOVA de la demanda química de oxígeno (DQO)

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	8963.378	1	8963.378	69.1476684	1.4066E-07	4.41387342
Dentro de los grupos	2333.27902	18	129.6266122			
Total	11296.657	19				

Coefficiente de variabilidad (CV)= 10%

La tabla 9, muestra el análisis de varianza (ANOVA) revelando diferencias significativas entre los grupos comparados (PM-01, PM-02 y PM-03) en términos de la concentración de carga orgánica medida por DQO. El valor F calculado fue de 69.14, el cual supera el valor crítico de F

de 4.413 para un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, indicando una alta diferencia estadísticamente significativa entre los grupos. Además, el p-valor obtenido fue extremadamente bajo, $1.4066E-07$, menor que el nivel de significancia $\alpha = 0.05$, lo que corrobora que estas diferencias no se deben al azar.

El coeficiente de variabilidad calculado fue del 10%, lo cual indica que la variabilidad entre los grupos representa una proporción relativamente baja de la variabilidad total observada en las concentraciones de DQO. Este valor sugiere que los datos son relativamente homogéneos dentro de cada grupo, lo que hace que las diferencias significativas entre los grupos sean aún más destacables.

Tabla 10

Análisis del Tukey al 5% de la demanda química oxígeno

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
PM-01	PM-02	207.528	6.2200	33.3643	185.720	229.335	2.3315E-15	21.807	10.5507
PM-01	PM-03	249.868	6.2200	40.1713	228.060	271.675	2.3315E-15	21.807	12.7032
PM-02	PM-03	42.34	6.2200	6.8070	20.5324	64.1475	0.00014483	21.807	2.15256

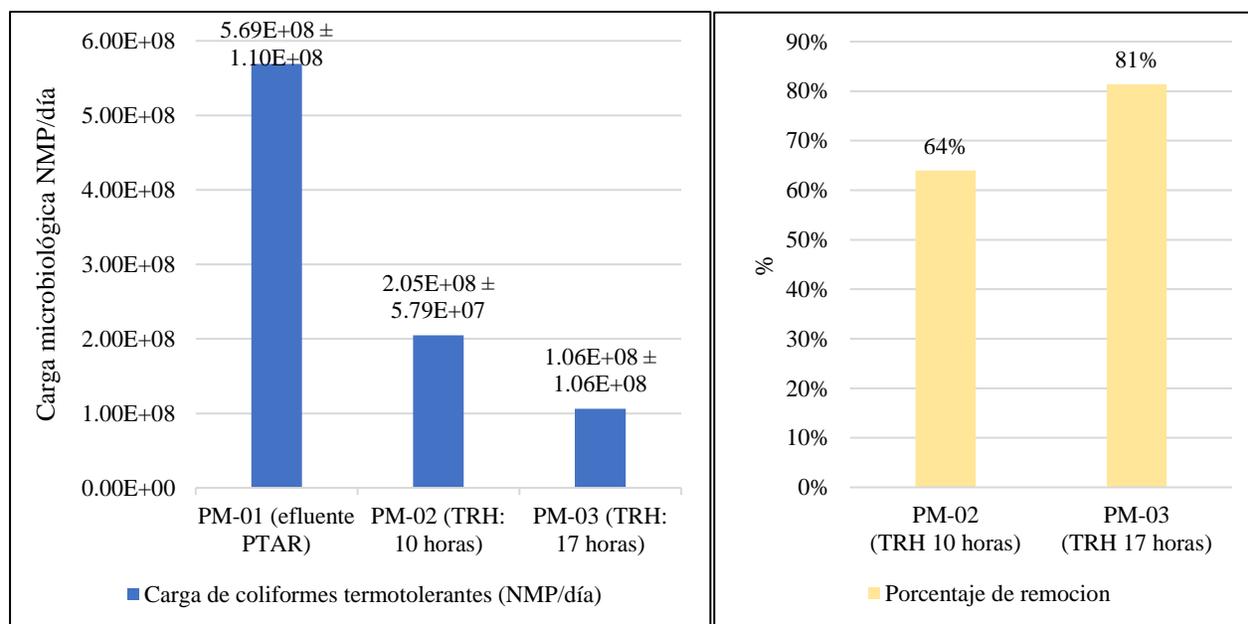
La tabla 10 muestra el análisis de Tukey, encontramos que ambos tratamientos, PM-02 y PM-03 (efluentes TRH 10 y 17 horas), difieren significativamente de PM-01 (afluente) en la remoción de DQO, con valores de $p < 0.05$ para ambas comparaciones. Esto indica que tanto PM-02 como PM-03 logran reducciones significativas en las concentraciones de DQO en comparación con el efluente de la PTAR (PM-01). Además, al comparar PM-02 y PM-03 entre sí, se encontró que PM-03 muestra una diferencia estadísticamente significativa en la remoción de DQO en comparación con PM-02. La diferencia promedio entre PM-03 y PM-02 fue de 42.34 mg/L ($p = 0.05$). Estos resultados afirman que PM-03 tiene una eficiencia superior en la reducción de DQO en el efluente tratado, en comparación con PM-02 y especialmente con el

afluente, respaldado por el valor significativamente alto de q-stat (40.171 para PM-03 vs PM-01 y 6.807 para PM-03 vs PM-02).

Carga microbiológica (coliformes termotolerantes) en el efluente de la PTAR y MBBR

Figura 19

Carga de coliformes termotolerantes (NMP/día) y eficiencia de remoción



La Figura 19 presenta la carga de coliformes termotolerantes en los puntos de muestreo: en el afluente, la carga se registró en $5.69E+08 \pm 1.10E+08$ NMP/día. En el efluente con un TRH de 10 horas, la carga fue de $2.05E+08 \pm 5.79E+07$ NMP/día con eficiencia de 64%, mientras que con un TRH de 17 horas se observó una carga de $1.06E+08 \pm 1.06E+08$ NMP/día con eficiencia de 81%. Estos resultados indican que no se logró una disminución significativa en la carga de coliformes termotolerantes, ya que no se consiguió reducir ni un ciclo logarítmico con el incremento del tiempo de retención hidráulica (TRH). Esta falta de reducción puede atribuirse a diversos factores, como la ausencia de una etapa de desinfección, la falta de exposición a la radiación solar, la no implementación de desinfección por rayos ultravioleta y la estabilidad del

pH, que no presentó condiciones extremas que pudieran inhibir la proliferación bacteriana. Además, es posible que se requiera un TRH más elevado para lograr una reducción efectiva.

Ali et al. (2020) señalan que en TRH cortos, la eliminación de la carga microbiológica es ineficiente debido a la alta velocidad del agua en el reactor y al breve tiempo de contacto entre la materia orgánica y los microorganismos. Asimismo, mencionan que la disminución de los coliformes está relacionada con condiciones de pH extremas en su estudio obtuvo eficiencias entre 89 y 96 %. Este comportamiento es consistente con los hallazgos de Reyes (2020), quien determinó que el tiempo de retención se correlaciona positivamente con la reducción en la concentración de coliformes termotolerantes, observando valores de 4,600,000 NMP/100 mL en el afluente y 1,800 NMP/100 mL en el efluente con una eficiencia 99.97%, en condiciones de TRH más elevados. Por otro lado, Houda et al. (2015) también reportaron una disminución significativa en la carga de coliformes fecales, con concentraciones de 5966.66 NMP/100 mL en el agua sin tratar y 1000 NMP/100 mL en el agua tratada, a pesar de trabajar con tiempos de retención cortos obtuvo eficiencia del 83%.

Tabla 11

Análisis de la varianza ANOVA de coliformes termotolerantes

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3.5378E+11	1	3.5378E+11	96.9706014	1.131E-08	4.41387342
Dentro de los grupos	6.567E+10	18	3648322222			
Total	4.1945E+11	19				

Coeficiente de variabilidad (CV)= 14%

La tabla 11, muestra el análisis del ANOVA para los coliformes termotolerantes, el F calculado es 96.9770, el cual es significativamente mayor que el F crítico de 4.41. Esto indica que existen diferencias altamente significativas entre las medias de los grupos comparados (PM-

01, PM-02 y PM-03). Además, el valor de p es $1.131E-08$, que es mucho menor que el nivel de significancia de 0.05. Esto refuerza la conclusión de que las diferencias observadas entre los grupos no son producto del azar, sino que son estadísticamente significativas.

El coeficiente de variabilidad (CV) obtenido es del 14%, lo que indica una baja dispersión de los datos en torno a la media y sugiere homogeneidad, dado que el valor es inferior al umbral del 30%. Este resultado implica que la media es representativa de la población estudiada y que las diferencias observadas en el análisis de varianza (ANOVA) son confiables.

Tabla 12

Análisis del Tukey al 5% de coliformes termotolerantes

group 1	group 2	mean	std err	q-stat	lower	upper	p-value	mean-crit	Cohen d
PM-01	PM-02	897500	57642.13	15.57	695406.6	1099593.3	5.1517E-11	202093.3	4.9237
PM-01	PM-03	1141500	57642.13	19.80	939406.6	1343593.3	2.0217E-13	202093.3	6.2623
PM-02	PM-03	244000	57642.13	4.233	41906.6	446093.3	0.01560123	202093.3	1.3385

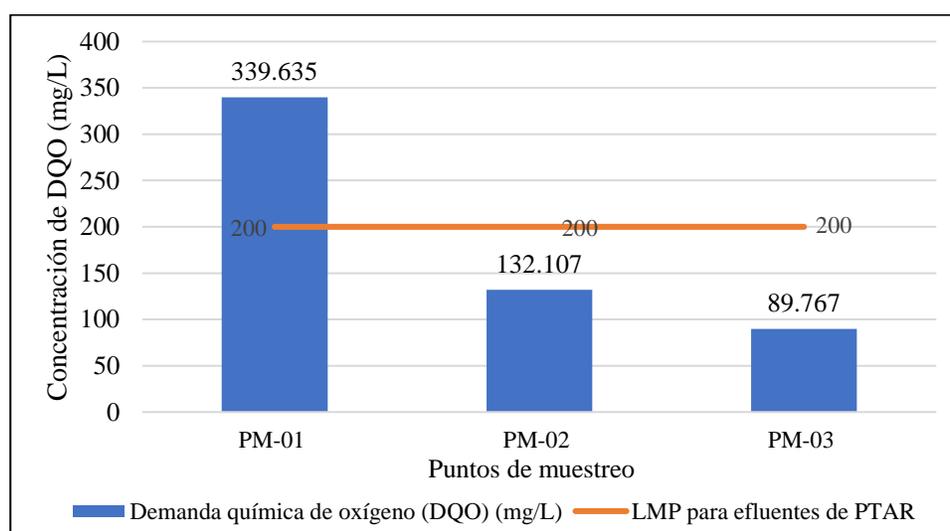
La tabla 12 muestra el análisis de Tukey al 5 %, se observa que ambos tratamientos, PM-02 y PM-03 (TRH 10 y 17 horas), difieren significativamente de PM-01 (afluente) en la reducción de coliformes termotolerantes, con valores de $p < 0.05$ para ambas comparaciones. La diferencia promedio entre PM-01 y PM-02 es de 897500 NMP/100 mL ($p < 0.05$), y la diferencia promedio entre PM-01 y PM-03 es de 1141500 NMP/100 mL ($p < 0.05$). Estos resultados indican que tanto PM-02 como PM-03 logran reducciones significativas en las concentraciones de coliformes termotolerantes en comparación con el efluente de la PTAR (PM-01). Además, al comparar PM-02 y PM-03 entre sí, se encontró una diferencia estadísticamente significativa en la reducción de coliformes termotolerantes. La diferencia promedio entre PM-03 y PM-02 fue de 244000 NMP/100 mL ($p = 0.015$). Estos resultados afirman que PM-03 tiene una eficiencia

superior en la reducción de coliformes termotolerantes en comparación con PM-02 y especialmente con el afluente, respaldado por los valores significativamente altos de q-stat (19.803 para PM-03 vs PM-01 y 4.233 para PM-03 vs PM-02).

4.3. Evaluación del Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para Efluentes de PTAR

Figura 20

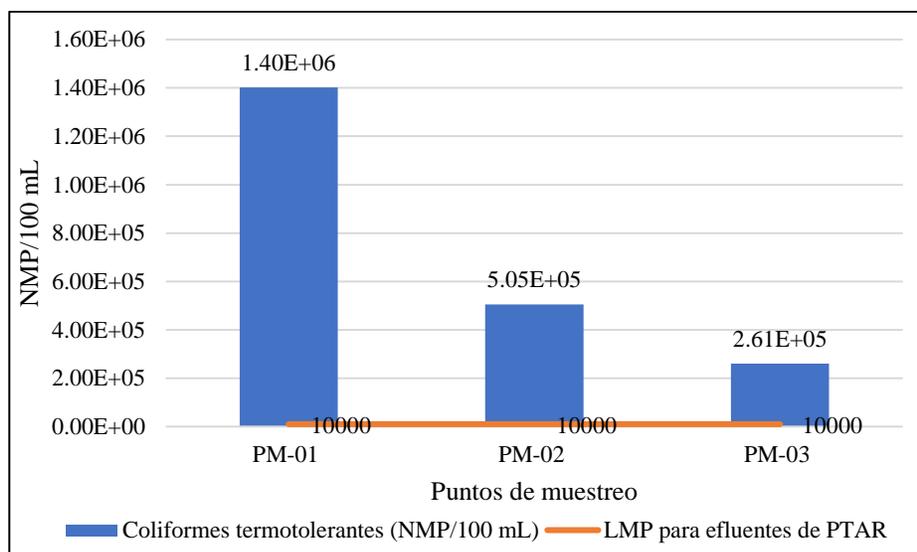
Concentración de la demanda química de oxígeno con los límites máximos permisibles para efluentes de PTAR



La figura 20 muestra la comparación de los puntos de muestreo con los LMP para efluentes de PTAR. En el afluente a los sistemas de tratamiento, se observa que la DQO excede el límite, similar a lo reportado por Núñez (2019), donde el efluente de la misma PTAR también superó los límites normativos. En los efluentes del MBBR con tiempos de 10 y 17 horas, ambos se encuentran por debajo del límite establecido. Estudios como los de García y Gutiérrez (2018), Reyes (2020), Torres (2020), Huaynacho y Larico (2021), Ali et al. (2020) y Houda et al. (2015) también reportaron cumplimiento con la normativa. En contraste, Estévez (2016) y Vela et al. (2023) no lograron cumplir los límites.

Figura 21

Concentración de los coliformes termotolerantes con los límites máximos permisibles para efluentes de PTAR



La figura 22 muestra la comparación con los LMP, la concentración en el afluente es considerablemente alta, con 1.40×10^6 NMP/100 mL, sobrepasando el LMP de 1×10^4 NMP/100 mL. En el efluente con un TRH de 10 horas, la concentración disminuye a 5.05×10^5 NMP/100 mL, excediendo el LMP y en el efluente con un TRH de 17 horas (PM-03), la concentración se reduce a 2.61×10^5 NMP/100 mL, también por encima del LMP. Estos resultados indican que los tratamientos actuales no son suficientes para cumplir con los estándares regulatorios para coliformes termotolerantes, y se requiere optimización adicional del proceso. Al comparar con estudios previos, Reyes (2020) cumplió con la normativa; del mismo modo, Ali et al. (2020) también cumpliendo con la normativa; asimismo, Houda et al. (2015) cumpliendo con la normativa. En contraste, los resultados de este estudio reflejan una eficiencia de remoción inferior.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- Las condiciones de funcionamiento del biorreactor de lecho móvil con biofilm (MBBR) se mantienen estables en el afluente y efluentes en cuanto a pH oscila entre 7.17 a 7.95 y temperatura 19.67 °C a 20.50 °C. Sin embargo, el oxígeno disuelto aumenta de 2.40 a 6.85 mgO₂/L, mientras que los sólidos sedimentables disminuyen de 67.69 a 12.29 mL/L/h con un TRH de 17 horas en el MBBR.
- La carga orgánica y microbiológica en el afluente es de 13.79 g/día para la DQO y 5.69E+08 NMP/día para los coliformes termotolerantes. La mayor disminución se registra en el efluente con un TRH de 17 horas, con una DQO de 3.64 g/día y una eficiencia de remoción del 74%, y coliformes termotolerantes de 1.06E+08 NMP/día y eficiencia del 81%. En el efluente con TRH de 10 horas, la DQO es de 5.36 g/día y eficiencia del 61%, y los coliformes termotolerantes alcanza 2.05E+08 NMP/día y 64% de eficiencia.
- Al comparar con los límites máximos permisibles para efluentes de PTAR, el efluente con un TRH de 17 horas cumple con la DQO, pero no con coliformes termotolerantes. En

el efluente con TRH de 10 horas, se cumple con la DQO, pero no con coliformes termotolerantes.

5.2. Recomendaciones

- En el arranque del sistema, esperar el tiempo necesario (superior a 5 días) para la formación y maduración adecuada de la biopelícula antes de iniciar el proceso operativo.
- Limpieza y mantenimiento periódico del lecho móvil para prevenir la acumulación excesiva de biopelícula y asegurar una operación eficiente del sistema.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Ali, J., Suja, F., Kumar, S., Yusof, A., Abdul, R., y Abu, H. (2022). *Efecto del tiempo de retención hidráulica en el rendimiento de un reactor de biopelícula de lecho móvil compacto para el pulido de efluentes de aguas residuales tratadas*. *Agua*, 14(1), 81.
<https://doi.org/https://doi.org/10.3390/w14010081>
- Balarezo Sánchez, K. Á. (2018). *Evaluación del sistema biológico MBBR en la aplicación de capacidad de tratamiento en PTARI existente para aguas residuales de la industria de alimentos*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional, Perú.
<https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3200/balarezo-sanchez-kevin-angel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barwal, A., y Chaudhary. (2015). *Impacto de la relación de llenado del portador en la tasa de absorción y transferencia de oxígeno, el coeficiente de transferencia volumétrica de oxígeno y el potencial de ahorro de energía en un MBBR a escala de laboratorio*. *Revista*

de ingeniería de procesos de agua, 8, 202-208.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214714415300568>

Buitrago Parada, C. C. (2022). *Comparación de los diferentes procesos y modificaciones de tratamientos de aguas residuales por lodos activados relacionado costos de operación y eficiencia de remoción de sustrato*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Colombia]. Repositorio institucional.

<https://repository.ucatolica.edu.co/server/api/core/bitstreams/cbf2aff1-4cf2-49ac-b54b-99e3ad2ed3e7/content>

Carmen, L. I., y Lebrato, J. (2000). *Tratamiento biológico de aguas residuales*. Tecnología del Agua.

https://cidta.usal.es/cursos/simulacion/modulos/libros/Pasar/Tratamiento_biologico_edar.pdf

Cervantes, A., y Marques, M. J. (2007). *Diseño de Experimentos. Curso Práctico*. México.

https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/ecocuan/ecocuan_dis_manual.pdf

Cruz Pérez, J. R. (2022). *Construcción y puesta en operación de un biorreactor de lecho móvil (MBBR) a escala de laboratorio para el tratamiento de aguas residuales domésticas*. [tesis de pregrado, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo]. Repositorio institucional.

http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/bitstream/handle/DGB_UMICH/8292/FIC-L-2022-1041.pdf?sequence=1

- Delgadillo, O., Camacho, A., Pérez, L. F., y Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua (Centro AGUA). <https://core.ac.uk/download/pdf/48017573.pdf>
- Dueñas Israel, D. B. (2019). *Diseño de sistema de tratamiento asistido de biopelículas para la remoción de PCBS en aguas residuales*. [Memoria de pregrado, Universidad de Chile]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/173457/Dise%C3%B1o-de-un-sistema-de-tratamiento-asistido-de-biopel%C3%ADculas-para-la-remoci%C3%B3n.pdf>
- Estévez Villarroel, L. A. (2016). *Construcción de un equipo para la aplicación de la tecnología MBBR para el tratamiento de efluentes en la industria del aceite de la palma*. [tesis de pregrado, Universidad Internacional SEK]. Repositorio institucional, Ecuador.
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2549?mode=full>
- Fallas, J. (2012). *Análisis de la varianza comparando tres o más medias*.
https://www.ucipfg.com/Repositorio/MGAP/MGAP-05/BLOQUE-ACADEMICO/Unidad-2/complementarias/analisis_de_varianza_2012.pdf
- Fernández Estela, A. (2011). *Aguas residuales en el Perú, problemática y uso en la agricultura*.
<https://repositorio.ana.gob.pe/handle/20.500.12543/4516>
- Ferrer, J., Seco, A., y Robles, Á. (2018). *Tratamientos biológicos de aguas residuales*.
https://gdocu.upv.es/alfresco/service/api/node/content/workspace/SpacesStore/935a8d7c-2081-4d74-9f7c-bf3ad9e69bb4/TOC_0358_03_03.pdf?guest=true
- García Gonzáles, S. I. (2018). *Estudio de un reactor biológico de biopelícula fija a escala laboratorio con el uso de materiales no tejidos para la fijación de la biomasa*. [Tesis de

- postgrado, Universidad Autónoma de México]. Repositorio institucional.
<https://ru.dgb.unam.mx/bitstream/20.500.14330/TES01000783123/3/0783123.pdf>
- García, F. N., y Gutierrez, D. (2018). *Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aerobio para tratamiento de agua residual domésticas. [tesis de pregrado. Universidad Nacional Nueva Granada]*. Repositorio institucional, Bogota, Colombia.
<https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/18000/GarciaNathalia,Guti%C3%A9rrezDaniela,2018.pdf?sequence=2>
- Genesis Water Tech. (2019). *Pros y contras: tecnología de biorreactor de lecho móvil*. Genesis Water Technologies: <https://es.genesiswatertech.com/blog-post/pros-and-cons-of-a-moving-bed-bioreactor/>
- Gonzales, W. (2020). *Parte 2, ¿Cómo diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales tipo MBBR?* <https://www.linkedin.com/pulse/parte-2-c%C3%B3mo-dise%C3%B1ar-una-planta-de-tratamiento-aguas-tipo-dr-agua/?originalSubdomain=es>
- Houda, N., Chatti, A., Ben, A., Mehri, I., Landoulsi, A., y Abdenaceur, H. (2015). *Nitrificación terciaria mediante un reactor de biopelícula de lecho móvil: un estudio de caso en Túnez*. *Microbiología actual*, 70(4), 1-9. <https://doi.org/10.1007/s00284-014-0756-8>
- Huartos Toro, J. A. (2018). *Análisis comparativo de tecnologías aerobias para el tratamiento de aguas residuales urbanas*. [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Manizales]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.ucm.edu.co/bitstream/10839/2127/1/Juli%C3%A1n%20and%20Huartos.pdf>

Huaynacho, R. E., y Larico, M. w. (2021). *Diseño y construcción de un reactor de biopelícula adherida a carriers en lecho fluidizado con coagulación para la evaluación de su rendimiento en la remoción de DBO5 y DQO en aguas residuales domésticas del distrito de Mollendo - Islay*. Repositorio institucional, Arequipa, Perú.

<https://repositorio.unsa.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1e903c06-ba80-4250-b458-568fab7eb706/content>

Larrea, A., Zalakain, B., Larrea, L., y Arantza, A. (2004). *Ventajas y aplicaciones de la tecnología de lecho móvil en aguas residuales urbanas e industriales*. Artículos

Técnicos. https://yacutec.com/documentos/LM-01_ventajas_aplicaciones_lecho_movil.pdf

López, C. M., Buitrón, G., García, H. A., y Cervantes, F. J. (2008). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*.

https://watermark.silverchair.com/wio9781780409146.pdf?token=AQECAHi208BE49Ooan9kkhW_Ercy7Dm3ZL_9Cf3qfKAc485ysgAAAwMwggL_BgkqhkiG9w0BBwagggLwMIIC7AIBADCCAuUGCSqGSIb3DQEHATAeBglghkgBZQMEAS4wEQQMxycy8KzNmEUAEsLYmAgEQgIICtrn0P9mUp-rrze0VOsiDgouunaaFLpRBoLWVaG

Ministerio del Medio Ambiente. (2002). *Gestión para el manejo, tratamiento y disposición final de las aguas residuales municipales*.

<http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/005574/cartillas/Residuosmunicipales.pdf>

Núñez Figueroa, M. (2019). *Eficiencia del sistema de tratamiento de aguas residuales en la ciudad de Cajabamba-Cajamarca. Alternativas para mejorar su tratamiento*. [tesis de

- postgrado, Universidad Nacional de Cajamarca*. Repositorio institucional, Cajamarca, Perú. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3526>
- Orellana, J. A. (2005). *Tratamiento de aguas residuales*. Ingeniería Sanitaria- UTN - FRRO. https://www.frro.utn.edu.ar/repositorio/catedras/civil/ing_sanitaria/Ingenieria_Sanitaria_A4_Capitulo_06_Tratamiento_de_Aguas.pdf
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales*. Perú. <https://www.oefa.gob.pe/el-oefa-advierte-problematica-ambiental-por-deficit-de-tratamiento-de-las-aguas-residuales-a-nivel-nacional/ocac07/#:~:text=Uno%20de%20los%20principales%20problemas,poblaci%C3%B3n%20urbana%20en%20el%20Per%C3%BA>.
- Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO). (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/\\$FILE/1__15.247647s.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/9A13A8A4E16D102F05258175006A9AD1/$FILE/1__15.247647s.pdf)
- Orozco Jaramillo, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño*. ACODAL. <https://toaz.info/doc-view-3>
- Parra Riquelme, C. (2006). *Optimización de un biorreactor de lecho móvil (MBBR) para la biodegradación de un efluente proveniente de la industria de celulosa Kraft. [tesis de pregrado. Universidad de Concepción]*. Repositorio institucional, Concepción, Chile. <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-claudio-parra-2006.pdf>
- Ramos Galarza, C. (2021). *Diseños de investigación experimental*. CienciAmérica.

- Revilla Salas, M. (2017). *Análisis y modelado de un proceso BAS (Biofilm Activated Sludge) para el tratamiento biológico de aguas residuales de alta carga orgánica con limitación de nutrientes*. [Tesis de postgrado, Universidad de Cantabria]. Repositorio institucional.
- Reyes Araujo, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma - AQUAFIL*. [tesis de postgrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. Repositorio institucional, Lima, Perú.
https://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12672/15532/Reyes_aw.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reyes, S., y Reyes, R. (2009). *Efecto de las cargas hidráulica y orgánica sobre la remoción sobre la remoción masica de un empaque estructurado de un filtro percolador*. Revista Mexicana de Ingeniería Química, 8(1), 101-109.
<https://www.redalyc.org/pdf/620/62011375009.pdf>
- Riancho López, R. (2018). *Análisis del proceso BAS para el tratamiento biológico de un efluente residual a escala laboratorio*. [Tesis de pregrado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación]. Repositorio institucional.
<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/14154/409380.pdf?sequence=1>
- Sanabria, A., y Pacheco, J. (2019). *Diseño y evaluación de un reactor biológico de lecho móvil de cargas secuenciales como alternativa de tratamiento para un vertimiento procedente de una industria farmacéutica*. [Tesis de pregrado, Universidad de Lasalle]. Repositorio institucional.

https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1779&context=ing_ambiental_sanitaria

Sanz Valencia, M. (2014). *Eliminación biológica de Nitrógeno y Fósforo en EDAR's*.

[https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/eliminacion-biologica-de-nitrogeno-y-fosforo-en-edars#:~:text=En%20la%20nitrificaci%C3%B3n%20se%20acidifica,alcalinidad%20y%20sube%20el%20pH.&text=El%20paso%20de%20oxidaci%C3%B3n%20de,AOA\)%20perteneientes%20a](https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/eliminacion-biologica-de-nitrogeno-y-fosforo-en-edars#:~:text=En%20la%20nitrificaci%C3%B3n%20se%20acidifica,alcalinidad%20y%20sube%20el%20pH.&text=El%20paso%20de%20oxidaci%C3%B3n%20de,AOA)%20perteneientes%20a)

Spellman, F. R. (2020). *The Science of Water*.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781003094197>

Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento (SUNASS). (2022). *El tratamiento de aguas residuales en el Perú aumentó en 11 %, entre el 2016 y el 2020*.

<https://www.sunass.gob.pe/lima/el-tratamiento-de-aguas-residuales-en-el-peru-aumento-en-11-entre-el-2016-y-el-2020/>

Torres Quezada, G. S. (2020). *Tratamiento de aguas residuales municipales utilizando un sistema biológico de lecho móvil acoplado a un módulo de membranas*. [tesis de postgrado, Instituto Mexicano de Tecnología del Agua]. Repositorio institucional.

http://repositorio.imta.mx/bitstream/handle/20.500.12013/2249/T_097.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Vela, F., Revoredo, J. A., y Manco, O. E. (2023). *Eficiencia de remoción de la carga orgánica mediante la tecnología MBBR del agua residual procedente de una planta de cerveza artesanal*. [tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. Repositorio

institucional, Callao, Perú.

<http://repositorio.unac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12952/7890/TESIS-VELA-REVOREDO-MANCO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Velasco Garduño, O. (2020). *Acoplamiento de Procesos Biológicos en un Reactor Híbrido Tipo Carrusel para la Depuración de un Agua Residual Industrial*. [Tesis de postgrado, Universidad Autónoma Metropolitana]. Repositorio institucional.

<https://bindani.izt.uam.mx/downloads/6w924c06t?locale=de>

Villamar, C., y Vidal, G. (2009). *Desempeño del biorreactor de lecho móvil aeróbico: un estudio comparativo de las eficiencias de eliminación de efluentes de molinos kraft de Pinus radiata y Eucalyptus globulus como materia prima*. *Water Sci Technol*, 59(3), 507–514.

<https://iwaponline.com/wst/article-abstract/59/3/507/13719/Aerobic-moving-bed-bioreactor-performance-a?redirectedFrom=PDF>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Datos completos de los parámetros muestreados en 10 repeticiones

REPETICIONES	potencial de hidrogeno			temperatura (°C)			oxígeno disuelto (mg/L)			solidos sedimentables ml/L/h			Demanda química de oxígeno (DQO) mg/L			coliformes termotolerantes NMP/100mL		
	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03
1	7.34	7.87	7.98	19.7	21.41	21.51	2.31	5.34	6.87	70.21	19.37	12.07	380.2	150.3	101.1	1.70E+06	6.59E+05	3.50E+05
2	7.45	7.65	8.03	20.01	20.21	20.25	2.46	5.98	7.12	75.98	24.31	14.37	369.1	132.1	96.39	1.75E+06	6.35E+05	3.45E+05
3	6.98	7.34	7.89	18.21	19.37	19.14	3.18	6.04	7.89	69.03	20.36	9.34	354.5	128.9	90.32	1.69E+06	6.42E+05	3.47E+05
4	7.01	7.45	7.71	21.34	21.86	21.71	1.06	4.03	5.98	63.37	15.94	10.97	366.7	148.4	96.12	1.58E+06	6.38E+05	3.19E+05
5	6.59	7.23	8.21	19.02	20.31	19.98	2.93	5.38	6.31	72.69	21.21	12.34	323	139.9	89.36	1.45E+06	5.80E+05	2.75E+05
6	7.69	6.89	7.89	19.31	19.91	20.38	3.98	6.71	6.89	60.08	20.73	12.98	332.9	146.3	90.31	1.21E+06	4.41E+05	2.29E+05
7	7.51	7.69	7.87	20.01	20.14	20.16	3.54	5.97	7.37	70.21	20.27	14.31	356.4	134	89.78	1.35E+06	4.58E+05	2.35E+05
8	7.26	7.43	8.31	21.34	21.98	21.67	2.07	4.39	6.31	65.31	21.09	11.82	318.6	115.4	81.97	1.19E+06	3.78E+05	1.95E+05
9	7.03	7.23	7.79	18.31	19.21	19.87	1.38	4.01	6.79	71.98	20.39	13.33	302	110.4	79.33	1.09E+06	3.29E+05	1.65E+05
10	6.89	6.95	7.79	19.45	20.01	20.31	1.05	4.34	7.01	58.01	18.03	11.39	292.9	115.4	82.97	1.01E+06	2.89E+05	1.49E+05
promedio	7.175	7.373	7.947	19.67	20.44	20.5	2.396	5.219	6.854	67.69	20.17	12.29	339.6	132.1	89.77	1.40E+06	5.05E+05	2.61E+05

Anexo 2. Carga de la demanda bioquímica de oxígeno (DQO) (Kg/día) y coliformes termotolerantes (NMP/día)

CARGA= CAUDAL x CONCENTRACION													
REPETICIONES	caudal (L/s)	Demanda química de oxígeno (DQO) mg/L			coliformes termotolerantes NMP/100mL			Carga de la DQO (g/día)			Carga de coliformes termotolerantes NMP/día		
		PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03	PM-01	PM-02	PM-03
1	0.00047	380.2	150.3	101.1	1.70E+06	6.59E+05	3.50E+05	15.44	6.10	4.10	6.90E+08	2.68E+08	1.42E+08
2	0.00047	369.1	132.1	96.39	1.75E+06	6.35E+05	3.45E+05	14.98	5.36	3.91	7.11E+08	2.58E+08	1.40E+08
3	0.00047	354.5	128.9	90.32	1.69E+06	6.42E+05	3.47E+05	14.36	5.23	3.66	6.86E+08	2.61E+08	1.41E+08
4	0.00047	366.7	148.4	96.12	1.58E+06	6.38E+05	3.19E+05	14.89	6.02	3.90	6.42E+08	2.59E+08	1.30E+08
5	0.00047	323	139.9	89.36	1.45E+06	5.80E+05	2.75E+05	13.11	5.68	3.62	5.89E+08	2.36E+08	1.12E+08
6	0.00047	332.9	146.3	90.31	1.21E+06	4.41E+05	2.29E+05	13.51	5.94	3.66	4.91E+08	1.79E+08	9.30E+07
7	0.00047	356.4	134	89.78	1.35E+06	4.58E+05	2.35E+05	14.47	5.44	3.64	5.48E+08	1.86E+08	9.54E+07
8	0.00047	318.6	115.4	81.97	1.19E+06	3.78E+05	1.95E+05	12.93	4.68	3.32	4.83E+08	1.53E+08	7.92E+07
9	0.00047	302	110.4	79.33	1.09E+06	3.29E+05	1.65E+05	12.26	4.48	3.22	4.43E+08	1.34E+08	6.70E+07
10	0.00047	292.9	115.4	82.97	1.01E+06	2.89E+05	1.49E+05	11.89	4.68	3.36	4.10E+08	1.17E+08	6.05E+07
promedio	0.00047	339.6	132.1	89.77	1.40E+06	5.05E+05	2.61E+05	13.79	5.36	3.64	5.69E+08	2.05E+08	1.06E+08

Anexo 4. Informes de laboratorio
Repetición 1



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 05240513

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI		
Dirección	JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16		
Persona de contacto	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI	Correo electrónico	ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	06.05.24	Hora de Muestreo	9:15 a 10:15
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	03		
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos- Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la muestra	CAJABAMBA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-420	Cadena de Custodia	CC - 0513 - 24
Fecha y Hora de Recepción	06.05.24 14:30	Inicio de Ensayo	06.05.24 15:00
Reporte Resultado	13.05.24 15:50		



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 13 de mayo de 2024

Página: 1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERU
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 05240513

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	
Código Laboratorio	05240513-01	05240513-02	05240513-03	-	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	70.21	19.37	12.07	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	380.23	150.32	101.12	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.31	5.34	6.87	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.7 x 10 ⁶	6.59 x 10 ⁵	3.5 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 13 de mayo de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240513

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 13 de mayo de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 2



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240629

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI		
Dirección	JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16		
Persona de contacto	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI	Correo electrónico	ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	13.05.24	Hora de Muestreo	9:00 a 10:15
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	03		
Ensayos solicitados	Fisicoquímicos- Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la muestra	CAJABAMBA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-420	Cadena de Custodia	CC - 0629 - 24
Fecha y Hora de Recepción	13.05.24 14:00	Inicio de Ensayo	06.05.24 15:10
Reporte Resultado	20.05.24 15:00		



Edder Neyra Jáico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 20 de mayo de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@lagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240629

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01		PM-02	PM-03	-	-	-	
Código Laboratorio	05240629-01		05240629-02	05240629-03	-	-	-	
Matriz	Residual		Residual	Residual	-	-	-	
Descripción	Municipal		Municipal	Municipal	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba		PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	75.98	24.31	14.37	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	369.12	132.11	96.39	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.46	5.98	7.12	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.75 x 10 ⁶	6.35 x 10 ⁵	3.45 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 20 de mayo de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240629

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 20 de mayo de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240987

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI**

Dirección **JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16**

Persona de contacto **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI** Correo electrónico ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **20.05.24** Hora de Muestreo **9:15 a 10:45**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**

Procedimiento de Muestreo **-**

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **03**

Ensayos solicitados **Fisicoquimicos- Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la muestra **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-420** Cadena de Custodia **CC - 0987 - 24**

Fecha y Hora de Recepción **20.05.24 15:00** Inicio de Ensayo **20.05.24 15:30**

Reporte Resultado **27.05.24 15:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 27 de mayo de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240987

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra			PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-
Código Laboratorio			05240987-01	05240987-02	05240987-03	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	69.03	20.36	9.34	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	354.45	128.94	90.32	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	3.18	6.04	7.89	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.69 x 10 ⁶	6.42 x 10 ⁵	3.47 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 27 de mayo de 2024

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05240987

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 27 de mayo de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 4



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05241432

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI**

Dirección **JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16**

Persona de contacto **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI** Correo electrónico **ymagaliquirozatalaya21@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **27.05.24** Hora de Muestreo **9:00 a 10:50**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**

Procedimiento de Muestreo **-**

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **03**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

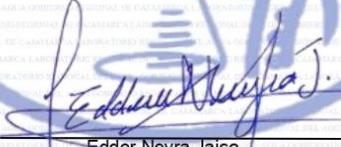
Referencia de la muestra **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-420** Cadena de Custodia **CC - 1432 - 24**

Fecha y Hora de Recepción **27.05.24 15:10** Inicio de Ensayo **27.05.24 15:45**

Reporte Resultado **04.06.24 16:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL

DEL AGUA

Cajamarca, 04 de junio de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 05241432

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	
Código Laboratorio	05241432-01	05241432-02	05241432-03	-	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	63.37	15.94	10.97	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	366.71	148.36	96.12	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.06	4.03	5.98	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.58 x 10 ⁶	6.38 x 10 ⁵	3.19 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 04 de junio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 05241432

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 04 de junio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 5



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 06240234

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI		
Dirección	JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16		
Persona de contacto	QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI	Correo electrónico	ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	04.06.24	Hora de Muestreo	9:10 a 11:30
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	03		
Ensayos solicitados	Fisicoquimicos- Microbiológicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la muestra	CAJABAMBA		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-420	Cadena de Custodia	CC - 0234 – 24
Fecha y Hora de Recepción	04.06.24 15:00	Inicio de Ensayo	04.06.24 15:45
Reporte Resultado	10.06.24 16:30		



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 10 de junio de 2024

Página: 1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe ☎ 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240234

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01		PM-02	PM-03	-	-	-	
Código Laboratorio	06240234-01		06240234-02	06240234-03	-	-	-	
Matriz	Residual		Residual	Residual	-	-	-	
Descripción	Municipal		Municipal	Municipal	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba		PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	72.69	21.21	12.34	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	323.03	139.87	89.36	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.93	5.38	6.31	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.45 x 10 ⁶	5.8 x 10 ⁵	2.45 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 10 de junio de 2024

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240234

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 10 de junio de 2024





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 6



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240632

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI**

Dirección **JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16**

Persona de contacto **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI** Correo electrónico ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **10.06.24** Hora de Muestreo **9:00 a 10:50**

Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° **-**

Procedimiento de Muestreo **-**

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **03**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la muestra **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-420** Cadena de Custodia **CC - 0632 - 24**

Fecha y Hora de Recepción **10.06.24 15:10** Inicio de Ensayo **10.06.24 15:45**

Reporte Resultado **17.06.24 16:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 17 de junio de 2024

Página: 1 de 3

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 06240632

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	
Código Laboratorio	06240632-01	06240632-02	06240632-03	-	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	60.08	20.73	12.98	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	332.91	146.31	60.31	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	3.98	6.71	6.89	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.213 x 10 ⁶	4.41 x 10 ⁵	2.29 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 17 de junio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240632

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

(*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.

(*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 17 de junio de 2024





LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Página: 3 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA - GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N, URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140

Repetición 7



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240998

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI

Dirección JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16

Persona de contacto QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI Correo electrónico ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo 17.06.24 **Hora de Muestreo** 9:10 a 11:30

Responsable de la toma de muestra Cliente **Plan de muestreo N°** -

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo Puntual

Número de puntos de muestreo 03

Ensayos solicitados Físicoquímicos- Microbiológicos

Breve descripción del estado de la muestra Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación

Referencia de la muestra CAJABAMBA

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato SC-420 **Cadena de Custodia** CC - 0998 – 24

Fecha y Hora de Recepción 17.06.24 15:10 **Inicio de Ensayo** 17.06.24 16:20

Reporte Resultado 25.06.24 15:00



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 25 de junio de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PENSADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
e-mail: laboratoriodelagua@regioncajamarca.gob.pe ☎ 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240998

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra			PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-
Código Laboratorio			06240998-01	06240998-02	06240998-03	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	70.21	20.27	14.31	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	356.37	134.03	89.78	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	3.54	5.97	7.37	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.35 x 10 ⁶	4.58 x 10 ⁵	2.35 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 25 de junio de 2024

Página: 2 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@regionalcajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06240998

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev:N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 25 de junio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 8



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06241456

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI

Dirección JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16

Persona de contacto QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI Correo electrónico ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo 25.06.24 **Hora de Muestreo** 9:00 a 11:45

Responsable de la toma de muestra Cliente **Plan de muestreo N°** -

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo Puntual

Número de puntos de muestreo 03

Ensayos solicitados Físicoquímicos- Microbiológicos

Breve descripción del estado de la muestra Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación

Referencia de la muestra CAJABAMBA

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato SC-420 **Cadena de Custodia** CC - 1456 – 24

Fecha y Hora de Recepción 25.06.24 15:30 **Inicio de Ensayo** 25.06.24 16:10

Reporte Resultado 01.07.24 15:00



Edder Neyra Jairo
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 01 de julio de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@delagua@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140

INFORME DE ENSAYO N° IE 06241456

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	
Código Laboratorio	06241456-01	06241456-02	06241456-03	-	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	65.31	21.09	11.82	-	-	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	318.64	115.35	81.97	-	-	
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	2.07	4.39	6.31	-	-	

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.19 x 10 ⁶	3.78 x 10 ⁵	1.95 x 10 ⁵	-	-	

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 01 de julio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 06241456

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 01 de julio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 9



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240026

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre: **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI**

Dirección: **JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16**

Persona de contacto: **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI** Correo electrónico: ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo: **01.07.24** Hora de Muestreo: **8:30 a 11:00**

Responsable de la toma de muestra: **Cliente** Plan de muestreo N°: **-**

Procedimiento de Muestreo: **-**

Tipo de Muestreo: **Puntual**

Número de puntos de muestreo: **03**

Ensayos solicitados: **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC-420** Cadena de Custodia: **CC - 0026 - 24**

Fecha y Hora de Recepción: **01.07.24 15:30** Inicio de Ensayo: **01.07.24 16:00**

Reporte Resultado: **08.07.24 16:00**



Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 08 de julio de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"
 JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
 e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 07240026

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	
Código Laboratorio	07240026-01	07240026-02	07240026-03	-	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	71.98	20.39	13.33	-	-	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	301.98	110.39	79.33	-	-	
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.38	4.01	6.79	-	-	

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos			
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.091 x 10 ⁶	3.29 x 10 ⁵	1.65 x 10 ⁵	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 08 de julio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240026

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 08 de julio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Repetición 10



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado

Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240498

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre: **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI**

Dirección: **JR. GUILLERMO URRELO CUADRA 16**

Persona de contacto: **QUIROZ ATALAYA YOLA MAGALI** Correo electrónico: ymagaliquirozatalaya21@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo: **08.07.24** Hora de Muestreo: **8:40 a 11:10**

Responsable de la toma de muestra: **Cliente** Plan de muestreo N°: **-**

Procedimiento de Muestreo: **-**

Tipo de Muestreo: **Puntual**

Número de puntos de muestreo: **03**

Ensayos solicitados: **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**

Referencia de la muestra: **CAJABAMBA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC-420** Cadena de Custodia: **CC - 0498 – 24**

Fecha y Hora de Recepción: **08.07.24 15:10** Inicio de Ensayo: **08.07.24 15:30**

Reporte Resultado: **16.07.24 15:00**



Edder Neyra
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 16 de julio de 2024

Página: 1 de 3

"LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA – GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA ASEGURA LA CONFIABILIDAD DE LOS RESULTADOS PESENTADOS EN ESTE INFORME DE ENSAYO"

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA-PERÚ
e-mail: laboratorio@regioncajamarca.gob.pe 599000 anexo 1140



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 034

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240498

ENSAYOS			Fisicoquímicos - Microbiológicos					
Código de la Muestra	PM-01	PM-02	PM-03	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	07240498-01	07240498-02	07240498-03	-	-	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	PTAR - Cajabamba	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Fisicoquímicos					
Sólidos sedimentables	mL/L/h	1.3000	58.01	18.03	11.39	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	292.91	115.39	82.37	-	-	-
Oxígeno Disuelto	mg O ₂ /L	0.5	1.05	4.34	7.01	-	-	-

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)

Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	1.01 x 10 ⁶	2.89 x 10 ⁵	1.49 x 10 ⁵	-	-	-

Nota: Los Resultados <1.0, <1.8, <1.1 y <1. significa que el resultado es equivalente a cero no se aprecian estructuras biológicas en la muestra VE valor estimado



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Cajamarca, 16 de julio de 2024

Página: 2 de 3



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACION INACAL-DA CON REGISTRO N° LE-084



INACAL
DA - Perú
Laboratorio de Ensayo
Acreditado
Registro N° LE - 084

INFORME DE ENSAYO N° IE 07240498

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Sólidos Sedimentables	ml/L/h	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, F, 24 th Ed. 2023: Solids. Settleable Solids
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500- O C, 24 th Ed. 2023: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, 24 th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure

NOTAS FINALES

- (*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.
- (*) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.
- ✓ Los resultados indicados en este informe conciernen única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservarán en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.
- ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°02 Fecha : 03/07/2020

Cajamarca, 16 de julio de 2024



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

Anexo 5. Certificado de calibración del multiparámetro



Página 1 de 3

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NTFQ-00120-2024

1. EXPEDIENTE : 153-06-2024
2. SOLICITANTE : UNIDAD EJECUTORA RED DE SALUD CAJABAMBA
3. DIRECCIÓN : JR. LA TORRE NRO. 277 CAJAMARCA - CAJABAMBA - CAJABAMBA
4. EQUIPO/ INSTRUMENTO : MULTIPARAMETRO
- MARCA : TERMOSCIENTIFIC
- MODELO : STAR A 329
- NÚMERO DE SERIE : NO INDICA
- TIPO DE INDICACIÓN : DIGITAL
- RANGO : 0.001 μ S/cm - 3000 mS/cm
-2.000 - 20.000 pH
- RESOLUCIÓN : 0.001 μ S/cm
0.1/0.01/0.001 pH
- PRECISIÓN : $\pm 0.01 \mu$ S $\leq 3 \mu$ S
 ± 0.002 pH
- PROCEDENCIA : ALEMANIA
- CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN : NO INDICA
- UBICACIÓN : RED DE SALUD CAJABAMBA
5. FECHA DE CALIBRACIÓN : 2024-06-07
6. FECHA DE EMISIÓN : 2024-06-10
7. LUGAR DE CALIBRACIÓN : INSTALACIONES DE NOVATEST PERU S.A.C.

8. MÉTODO DE CALIBRACIÓN UTILIZADO

La calibración fue realizada por comparación y ajuste con patrones utilizados de acuerdo a lo establecido en el manual del fabricante.

9. PATRONES DE REFERENCIA

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad metrológica a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Análisis
Soluciones estándar HANNA Instruments	1413 μ S/cm @ 25°C	7409

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de Análisis
Soluciones estándar HANNA Instruments	pH 4,01 a 25 °C	8442
Soluciones estándar HANNA Instruments	pH 7,01 a 25 °C	7737
Soluciones estándar HANNA Instruments	pH 10,01 a 25 °C	7761

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NTFQ-00120-2024

10. CONDICIONES AMBIENTALES

	Inicial	Final
Temperatura	23,3 °C	22,3 °C
Humedad Relativa	61,0 %HR	56,0 %HR

11. OBSERVACIONES

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva, indicando el código de servicio N° 00120 y la fecha de calibración.
- El equipo fue ajustado en los valores estándar utilizados correspondientes a la temperatura medida en el momento del ajuste.
- (*) Dato tomado del manual del equipo.

12. RESULTADOS OBTENIDOS

Medición de Conductividad

ANTES DEL AJUSTE					
Temperatura de referencia	Valor certificado	Indicación del Instrumento	Incertidumbre	Error	Unidad
25,1	1413	1488	7	75	µS/cm

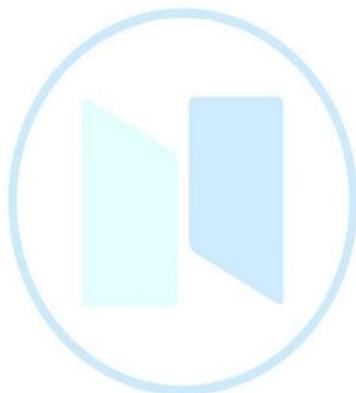
DESPUÉS DEL AJUSTE					
Temperatura de referencia	Valor certificado	Indicación del Instrumento	Incertidumbre	Error	Unidad
25,1	1413	1425	3	12	µS/cm

Medición de pH

ANTES DEL AJUSTE				
Temperatura de referencia (°C)	Valor certificado (pH)	Indicación del Instrumento (pH)	Incertidumbre (pH)	Error (pH)
25,00	4,01	3,94	0,18	-0,05
25,00	7,01	7,04	0,11	-0,07
25,00	10,01	10,01	0,20	0,00

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN NTFQ-00120-2024

DESPUÉS DEL AJUSTE				
Temperatura de referencia (°C)	Valor certificado (pH)	Indicación del Instrumento (pH)	Incertidumbre (pH)	Error (pH)
25,00	4,01	3,99	0,14	-0,02
25,00	7,01	6,95	0,01	-0,06
25,00	10,01	10,02	0,08	0,01



NOVATEST



José C. Galiano Bendezú
GERENTE GENERAL
NOVATEST PERU S.A.C.
RUC: 20610626115

Anexo 6. Panel fotográfico
Construcción del sistema



Puesta en marcha del sistema



Muestreo y envío a laboratorio



