

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA
AMBIENTAL



**“CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR DE
BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL PARA MEJORAR LA CALIDAD
DEL AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN - 2023”**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

ELVER CHACÓN DÍAZ

ASESOR:

ING. M. Cs. GIOVANA E. CHÁVEZ HORNA

CAJAMARCA – PERÚ

2024

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:

ELVER CHACÓN DÍAZ

DNI: 77683650

Escuela Profesional/Unidad UNC:

De Ingeniería Ambiental

2. Asesor:

ING. M. Cs. GIOVANA E. CHÁVEZ HORNA

Facultad/Unidad UNC:

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 de Trabajo de Investigación:

"CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL
PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN - 2023"

6. Fecha de evaluación: 13/03/2024

7. Software antiplagio: TURNITIN

URKUND (OURIGINAL) (*)


8. Porcentaje de Informe de Similitud: 7 %

9. Código Documento: 0000-3117:339580836

10. Resultado de la Evaluación de Similitud: 7 %

APROBADO PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: 02/12/2024

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 _____ ING. M. Cs. GIOVANA E. 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 veintidós días del mes de noviembre del año dos mil veinticuatro, 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° 296-2024-FCA-UNC, de fecha 17 de julio del 2024**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: "**CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN - 2023**", realizada por el Bachiller **ELVER CHACÓN DÍAZ** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **dieciséis** horas con **treinta y cinco** 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, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **diecisiete** horas y **treinta** minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ph. D. Manuel Roberto Roncal Rabanal
PRESIDENTE

Ing. M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo Lopez Aylas
VOCAL

Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna
ASESORA

COPYRIGHT © 2024 by
ELVER CHACÓN DÍAZ
Todos los derechos reservados

DEDICATORIA

A mis padres, Herminio R. Chacón Paredes y Bacilia Díaz Salazar, a quienes les debo su apoyo incondicional durante toda mi formación tanto ética, moral y profesional, lo cual está logrando sus frutos.

A mi hermana, quien también estuvo apoyándome durante mi preparación profesional e incentivando a cumplir con mis objetivos. De la misma manera a mis demás familiares y amistades quienes también contribuyeron con sus palabras de ánimo a la consecución de este logro.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y la salud quien me ayudó en todo este camino para mi formación,
a mi familia y mis amigos por brindarme su apoyo incondicional.

A mi novia, quien estuvo allí apoyándome para poder realizar este trabajo

A mi asesor de este proyecto, Ing. M. Sc. Giovana E. Chávez Horna,

Así mismo agradezco, a todos los docentes quienes contribuyeron con valores y conocimientos para poder lograr mis sueños anhelados, a todos ellos dedico este trabajo porque han fomentado el deseo de superación y lograr que este sueño se haga realidad.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	xi
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Marco teórico.....	7
2.2.1. Aguas residuales	7
2.2.2. Componentes y características de un agua residual doméstica	8
2.2.3. Tratamiento de aguas residuales domésticas.....	10
2.2.4. Reactores de biopelícula	11
2.2.5. Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR).....	14
2.2.6. Sistemas de crecimiento de biopelículas (biocarriers).....	17
2.2.7. Condiciones de operación para el reactor de biopelícula de lecho móvil.....	18

2.2.8.	<i>Parámetros fisicoquímicos analizados</i>	22
2.2.9.	<i>Ventajas de la tecnología MBBR</i>	24
2.2.10.	<i>Desventajas de la tecnología MBBR</i>	24
2.3.	Definición de términos	25
CAPÍTULO III		26
MATERIALES Y MÉTODOS		26
3.1.	Localización de la investigación	26
3.2.	Características meteorológicas	26
3.3.	Vía de acceso	28
3.4.	Materiales y equipos	28
3.4.1.	<i>Material experimental</i>	28
3.4.2.	<i>Materiales y equipos de laboratorio</i>	28
3.4.3.	<i>Otros materiales</i>	29
3.5.	Descripción del sistema MBBR a escala de laboratorio	29
3.5.1.	<i>Tanque alimentador de aguas residuales</i>	29
3.5.2.	<i>Reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	31
3.5.3.	<i>Cálculos de diseño del reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	31
3.5.4.	<i>Clarificador</i>	34
3.6.	Arranque y operación del reactor MBBR	34
3.6.1.	<i>Arranque del reactor MBBR</i>	34
3.6.2.	<i>Descripción de la operación del sistema MBBR</i>	35
3.6.3.	<i>Evaluaciones a realizar</i>	36

3.6.4.	<i>Evaluación de la eficiencia del MBBR</i>	38
3.7.	Tratamiento de análisis de datos	38
CAPÍTULO IV		39
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		39
4.1.	Condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR) ..	39
4.2.	Control de las condiciones del reactor de biopelícula de lecho móvil para la mejora de la calidad del agua residual	41
4.2.1.	<i>Carga orgánica</i>	41
4.2.2.	<i>Área de superficie requerida (SALR)</i>	41
4.2.3.	<i>Volumen del tanque reactor (VTR)</i>	42
4.2.4.	<i>Tiempo de retención hídrica (TRH)</i>	42
4.2.5.	<i>Cantidad de aire suministrado (CAS)</i>	42
4.3.	Evaluación de los parámetros fisicoquímicos	43
4.3.1.	<i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)</i>	45
4.3.2.	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i>	47
4.3.3.	<i>Sólidos suspendidos totales (SST)</i>	49
4.3.4.	<i>Aceites y grasas (A y G)</i>	51
4.3.5.	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	53
CAPÍTULO V		55
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		55
5.1.	Conclusiones	55
5.2.	Recomendaciones	56

CAPÍTULO VI.....	57
REFERENCIAS.....	57
ANEXOS.....	63
Anexo 1. Matriz de consistencia	64
Anexo 2. Ficha técnica del carrier	66
Anexo 3. Cálculos realizados para la evaluación de la eficiencia del reactor.....	67
Anexo 4. Informes de resultados de análisis emitidos por el Laboratorio Regional del Agua.....	70
Anexo 5. Panel fotográfico	86
Anexo 6. Permiso para realizar investigación en la PTAR Celendín.....	93
Anexo 7. Planos del experimento.....	96

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Tipos de reactores de biopelícula: (A) filtros percoladores; (B) y (C) reactores de biopelícula sumergida o flujo ascendente; (D) reactores biológicos de contacto; (E) Reactores de biopelícula suspendida; (F) reactores de lecho fluidizado; (G) reactores de lecho móvil y (H) reactores de biopelícula adherida a una membrana.</i>	12
Figura 2 <i>Sistema sin recirculación de lodos y sistema con recirculación de lodos</i>	15
Figura 3 <i>Proceso de mezclado del material de soporte</i>	15
Figura 4 <i>Tratamientos alternativos MBBR para aguas residuales.</i>	16
Figura 5 <i>Procesos de formación de biopelículas y clasificación de capas según el gradiente de oxígeno disuelto.</i>	17
Figura 6 <i>Ubicación del sistema MBBR en relación con la ciudad de Celendín</i>	27
Figura 7 <i>Vista en elevación del sistema MBBR a escala piloto</i>	30
Figura 8 <i>Esquema del sistema MBBR</i>	30
Figura 9 <i>Crecimiento de la biopelícula en los biocarriers</i>	35
Figura 10 <i>Concentración promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno, entrada y salida del sistema MBBR</i>	46
Figura 11 <i>Concentración promedio de Demanda Química de Oxígeno, en la entrada y salida del sistema MBBR</i>	48
Figura 12 <i>Concentración promedio de Sólidos Suspendidos Totales en la entrada y salida del sistema MBBR</i>	50
Figura 13 <i>Concentración promedio de Aceites y Grasas, en la entrada y salida del sistema MBBR y comparación con los LMPs</i>	52

Figura 14 <i>Concentración promedio de pH, en la entrada y salida del sistema MBBR y comparación con los LMPs</i>	54
Figura 15 <i>Construcción del reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	86
Figura 16 <i>Construcción y prueba hidráulica del sistema</i>	87
Figura 17 <i>Vista de crecimiento de la biopelícula en el biocarrier</i>	88
Figura 18 <i>Evaluación del crecimiento de la biopelícula laboratorio ambiental UNC</i>	88
Figura 19 <i>Rotulado de las muestras de agua residual</i>	89
Figura 20 <i>Toma de muestras antes del tratamiento con el MBBR</i>	90
Figura 21 <i>Toma de muestras después del reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	91
Figura 22 <i>Transporte de muestras al Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca</i>	92

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Características de las aguas residuales domésticas</i>	9
Tabla 2 <i>Área superficial específica para diferentes tipos de soportes y reactores de biopelícula</i>	13
Tabla 3 <i>Valores típicos de diseño SALR (Surface Area Loading Rate o Tasa de carga de superficie) para la remoción de materia orgánica.</i>	18
Tabla 4 <i>Datos meteorológicos de la ciudad de Celendín</i>	26
Tabla 5 <i>Parámetros de diseño del sistema MBBR</i>	33
Tabla 6 <i>Parámetros analizados con su respectivo método de análisis</i>	37
Tabla 7 <i>Condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	40
Tabla 8 <i>Eficiencia total del reactor de biopelícula de lecho móvil</i>	44
Tabla 9 <i>Prueba t para medias de dos muestras relacionadas en la Demanda Bioquímica de Oxígeno</i>	46
Tabla 10 <i>Prueba t para medias de dos muestras relacionadas en la Demanda Química de Oxígeno</i>	48
Tabla 11 <i>Prueba t para medias de dos muestras relacionadas en Sólidos Suspendedos Totales</i>	50
Tabla 12 <i>Prueba t en medias de dos muestras relacionadas para Aceites y Grasas</i>	53
Tabla 13 <i>Prueba t para medias de dos muestras relacionadas para el pH</i>	54

LISTA DE ABREVIACIONES

DBO ₅	: Demanda bioquímica de oxígeno a 5 días de incubación
CAS	: Cantidad de aire suministrado al tanque reactor
CO	: Carga orgánica
INACAL	: Instituto nacional de calidad del Perú
MBBR	: Reactor de biopelícula de lecho móvil
MINAM	: Ministerio del ambiente del Perú
SALR	: Área de superficie de soporte requerida
SENAMHI	: Servicio nacional de meteorología e hidrología del Perú
PCBs	: Policlorobifenilos
pH	: Potencial de hidrógeno
PM1	: Punto de monitoreo antes del tratamiento con MBBR
PM2	: Punto de monitoreo después del tratamiento con MBBR
TRH	: Tiempo de retención hídrica
VTR	: Volumen del tanque reactor

RESUMEN

Las aguas residuales no tratadas contaminan el medio ambiente, causan epidemias y dañan los ecosistemas. Además, el mal funcionamiento de las plantas de tratamiento ha generado problemas ambientales persistentes en nuestro país. La presente investigación tuvo como objetivo evaluar las condiciones de operación de un reactor de biopelícula de lecho móvil para mejorar la calidad del agua residual de Celendín. Se construyó un reactor MBBR a escala piloto, compuesto por un tanque alimentador, un reactor de vidrio con un sistema de aireación para los biocarriers y un clarificador. Se monitorearon parámetros clave como la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), la demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos totales (SST), aceites, grasas y pH en cinco mediciones durante tres meses. Los resultados mostraron una reducción significativa en los contaminantes: la DBO_5 pasó de 230.44 mg/L a 63.26 mg/L, la DQO de 436.38 mg/L a 173.26 mg/L, los SST de 411.20 mg/L a 31.90 mg/L, los aceites y grasas de 41.22 mg/L a 6.30 mg/L, y el pH varió de 7.04 a 7.64 esto debido a que los microorganismos pueden consumir compuestos ácidos presentes en el agua residual, lo que disminuye la concentración de protones (H^+) y eleva el pH. En conclusión, la evaluación de las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil demostró mejoras en la calidad del agua residual, alcanzando una eficiencia total de remoción de contaminantes del 77.45 %, cumpliendo con los límites máximos permisibles establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM.

Palabras clave: PTAR Celendín, reactor de biopelícula de lecho móvil, biocarriers, biopelícula.

ABSTRACT

Untreated wastewater pollutes the environment, causes epidemics and damages ecosystems. Furthermore, the poor functioning of treatment plants has generated persistent environmental problems in our country. The objective of this research was to evaluate the operating conditions of a moving bed biofilm reactor to improve the quality of Celendín wastewater. A pilot-scale MBBR reactor was built, consisting of a feeder tank, a glass reactor with an aeration system for the biocarriers and a clarifier. Key parameters such as biochemical oxygen demand (BOD₅), chemical oxygen demand (COD), total suspended solids (TSS), oils, fats and pH were monitored in five measurements over three months. The results showed a significant reduction in contaminants: BOD₅ went from 230.44 mg/L to 63.26 mg/L, COD from 436.38 mg/L to 173.26 mg/L, TSS from 411.20 mg/L to 31.90 mg/L, oils and fats from 41.22 mg/L to 6.30 mg/L, and the pH It varied from 7.04 to 7.64, this is because microorganisms can consume acidic compounds present in the wastewater, which decreases the concentration of protons (H⁺) and raises the pH. In conclusion, the evaluation of the operating conditions of the moving bed biofilm reactor demonstrated improvements in the quality of the wastewater, reaching a total contaminant removal efficiency of 77.45%, complying with the maximum permissible limits established in the S.D. No. 003-2010-MINAM.

Keywords: Celendín WWTP, moving bed biofilm reactor, biocarriers, biofilm.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

Las aguas residuales no tratadas contaminan el medio ambiente, provocan epidemias y dañan los ecosistemas. En última instancia, la contaminación del agua limita las oportunidades de uso y reutilización de manera segura y productiva de las fuentes hídricas para aumentar el suministro de agua dulce, especialmente en las regiones donde hay escasez de agua (OMS, 2018, p. 11).

En un estudio por parte de la Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento denominado: “Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras 2022” se detalla:

Que, a partir de los reportes remitidos por las empresas prestadoras hasta octubre del año 2021, resaltan que de las 171 PTAR en funcionamiento, 65 (38 %) vierten sus efluentes en drenes de riego cercanos a la planta, 39 (23 %) en ríos, 19 (11 %) vierten en el mar, 2 (1 %) en pequeñas quebradas y 1 (1 %) al lago. Asimismo, 45 (26 %) PTAR no cuentan con punto de vertimiento por lo cual el efluente es infiltrado o evaporado, pues sus efluentes son vertidos a terrenos contiguos a la PTAR o simplemente no salen del último estanque, de esta manera generando una brecha por solucionar (SUNASS, 2022, pp. 88-95–128).

Según el estudio de Briones García (2019), la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín logró una eficiencia del 78.76% para coliformes totales, 53.23% para coliformes fecales y 84.7% para E. coli. Sin embargo, no cumplió con las bases de diseño establecidas.

Por otro lado, Quispe Cotrina (2019) encontró que la planta era eficiente en la reducción de la DBO₅ (83.32%), pero ineficiente en la reducción de la DQO (69.78%). Esto también la hace incumplir con las bases de diseño del proyecto.

Dada toda la problemática anterior, se planteó la siguiente incógnita: ¿Como influye las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil en la mejora de la calidad del agua residual de Celendín - 2023?

Ante ello, el desarrollo de esta investigación se justifica en la necesidad de implementar una propuesta tecnológica dada la problemática que atraviesa la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, la cual de acuerdo a los estudios realizados por Briones García (2019) y Quispe Cotrina (2019), muestran que es ineficiente para remover DQO, DBO₅, CTT y otros parámetros al no cumplir con las bases de su diseño.

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar las condiciones de operación de un reactor de biopelícula de lecho móvil para mejorar la calidad del agua residual de Celendín – 2023; como objetivos específicos se tuvo: Controlar las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil: carga orgánica (CO), área de superficie de soporte requerida (SALR), volumen del tanque reactor (VTR), tiempo de retención hidráulica (TRH) y cantidad de aire suministrado (CAS); evaluar los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, SST, pH y AG) de las aguas residuales antes y después del tratamiento, luego comparar con los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM para validar la eficiencia del reactor de biopelícula de lecho móvil.

Teniendo como hipótesis, que las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil tienen una efectividad mayor al 70 % en la mejora de la calidad del agua residual de Celendín.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Según Estévez Villarroel (2016), en su proyecto de investigación “Construcción de un equipo para la aplicación de la tecnología MBBR para el tratamiento de efluentes en la industria del aceite de palma” menciona que construyó el equipo MBBR (reactor de biopelícula de lecho móvil) a escala de laboratorio, tipo batch, utilizando un tanque de vidrio (40 cm x 30 cm x 30 cm), con oxigenadores de pecera y utilizando como biosoportos (carriers) al tipo K2 Kaldens. Para ello aplicó el tratamiento con diferentes tiempos de retención y monitoreó parámetros como: DQO, DBO₅, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas, nitrógeno amoniacal, nitrógenos totales kjeldahl y detergentes. concluyendo que el método MBBR si funciona y es efectivo en el tratamiento de algunos parámetros como: DQO, aceites y grasas, sólidos suspendidos totales y nitrógenos kjeldahl, pero tiene una baja eficiencia en DBO₅, nitrógeno amoniacal y detergentes.

Gutiérrez Murillo y García Guzman (2018), diseñaron un reactor de lecho móvil aerobio para el tratamiento de agua residual doméstica sintética, resaltando los parámetros de diseño y dimensionamiento, del mismo modo también tuvieron un control semanal de medición de diferentes parámetros físico-químicos que les permitieron evaluar la calidad del agua antes, durante y después del tratamiento, encontrando resultados promedios alejados de los porcentajes de remoción de DBO₅ soluble y DQO total. El bajo rendimiento del reactor se atribuyó a diversos factores durante su operación; entre estos, se destacan el arrastre de

biomasa generado al inicio debido al diseño del sistema de circulación, la insuficiente disponibilidad inicial de oxígeno necesario para la actividad microbiana en la oxidación de la materia orgánica, y la limitada capacidad del flujo de entrada para sustentar la biomasa presente en el sistema. Por ello recomiendan una buena aireación y que el porcentaje de ocupación de los carriers dentro del volumen útil del reactor esté debajo del 50 %, de este modo permite una buena circulación y mejora el crecimiento de la biomasa.

Así mismo, Cantarero Domene (2019) utilizó la tecnología MBBR (reactor de biopelícula de lecho móvil) a escala piloto para tratar el agua residual de la industria textil, que tuvo por objetivo construir sus propios carriers mediante impresión 3D. Recomendando la utilización de los mismos, por la eficacia de este método al estar ampliamente por encima del proceso de lodos activados, logrando una reducción del 85.68 % en la demanda química de oxígeno (DQO), del 89.61 % en materia en suspensión (MES) y del 59.72 % en color. Estos resultados sobrepasaron los obtenidos en investigaciones previas que utilizaron el mismo efluente de agua textil con la planta piloto operando sin carriers.

De otra manera, Dueñas Israel (2019) también utilizó la tecnología MBBR para su proyecto de investigación sobre la remoción de policlorobifenilos (PCBs) en aguas residuales de la ciudad de Santiago, los cuales al ser un compuesto orgánico persistente altamente tóxico y difícil de degradar, se tiene que buscar formas de tratamiento que permitan removerlo de forma definitiva. Para ello se conoce que la técnica más adecuada para remover los PCBs de las aguas residuales es mediante biopelículas de *Burkholderia Xenovorans*. En su investigación, el autor evaluó tanto el crecimiento de la biopelícula en carbón activo, biochar de pino y carriers de PLA (ácido poliláctico). De acuerdo a sus resultados obtenidos concluye que se logran remover un 99.99 % de bifenilo con biopelícula creciendo tanto en carriers de PLA como en biochar de pino y un 99.90 % creciendo en carbón activo. Así mismo enfatiza que la remoción de bifenilo mediante biopelículas de *Burkholderia Xenovorans* es posible

para todos los soportes probados, sin embargo, se requieren pruebas adicionales para comprobar su factibilidad a escala industrial.

Quinteros Sanclemente (2019), desarrolló un prototipo para tratamiento de aguas residuales basado en la tecnología MBBR, en la cual menciona todos los parámetros de diseño y los materiales utilizados para su construcción. Dicho tanque reactor fue construido en material acrílico de 9 mm de espesor, el cual permite resistencia para un tiempo prolongado de funcionamiento y la fácil instalación de los difusores de burbuja fina. A un caudal de 40 l/min, el dimensionamiento del tanque llegó a ser de 0.57 m³, en el cual se ingresó 0.20 m³ de material de relleno (carriers). De esta manera generando resultados en remoción de turbidez donde alcanzó un porcentaje de 98.6 %, la DBO₅ un porcentaje de remoción de 69.8 %, la DQO con 68.7 % y en la remoción de sólidos tuvieron un promedio de 83.9 %, la cual indica que el tratamiento tuvo resultados positivos en la remoción de contaminantes presentes en las aguas residuales.

Ochoa Foliaco (2021), en su estudio “Evaluación de la tratabilidad de nutrientes del agua residual doméstica de la Universidad EIA por medio de un biorreactor de lecho fluido MBBR”. Se empleó un biorreactor de lecho móvil (MBBR) con dos tipos de bio-soportes y se variaron parámetros de diseño como el tiempo de retención hidráulica y la concentración de oxígeno disuelto. Para monitorear los niveles de DQO y DBO₅, se propuso calcular las tasas de remoción de materia orgánica carbonácea y nitrogenada, con el fin de determinar los parámetros óptimos de tratamiento. Se llegó a la conclusión de que la eficiencia de remoción podría mejorarse aumentando el área de superficie específica de los biocarriers o incrementando su cantidad en el volumen del reactor, siempre y cuando no se sobrepasara el 70 % de llenado del mismo.

En la investigación de Balarezo Sánchez (2018) denominada: “Evaluación del sistema biológico MBBR en la ampliación de capacidad de tratamiento en PTARI existente para

aguas residuales de la industria de alimentos”, detalla que la tecnología MBBR fue aplicada en la industria de golosinas, resaltando su alta efectividad obteniendo resultados en la PTARI, antes de la ampliación de 95.6 % en DQO, 94.79 % en DBO₅, 92.53 % en SST y 97.83 % en aceites y grasas. Mientras que, para la PTARI en ampliación se obtuvo, 96.79 % en DQO, 97.03 %, 97.61 % en SST y 96.35 % en Aceites y Grasas. El autor también resalta los costos de por m³ de agua tratada anualmente el cual es de US\$ 1.76 con la ampliación de la PTARI y aplicación de la tecnología MBBR, pero si se mantendría el proceso de sistema de lodos activados ascendería a US\$ 1.88, donde podemos evaluar que el coste beneficio es mejor.

Del mismo modo Luna Fuentes (2019), también evaluó la eficiencia del reactor teniendo en cuenta el porcentaje del llenado con los carriers en el biorreactor de lecho móvil con Biopelícula (MBBR) utilizando *Saccharomyces Cerevisiae* como microorganismo formador de biopelícula para la biodepuración de colorante para efluentes textiles. El autor nos menciona que utilizó tres biorreactores con diferente proporción de llenado de carriers los cuales estuvieron dados por 20, 40 y 60 % respectivamente. En sus resultados obtenidos para la remoción del colorante obtuvo mayor eficiencia el reactor que estaba llenado al 40 % con los carriers, generando un porcentaje de remoción del 20.3 %; seguido por el biorreactor con un llenado del 60 %, con una remoción del 5.85 %; por último, el biorreactor con llenado del 20 % presentó la menor eficiencia, con una remoción del 3.02 %. Adicionalmente, también evaluó la DQO en el efluente, donde el biorreactor con un llenado del 40 % de carriers mostró una reducción del 72.21 %, seguido por el biorreactor con un llenado del 60 % de carriers con una reducción del 68.21 %. Por último, el biorreactor con un llenado del 20 % obtuvo una disminución del 59.73 %.

Reyes Araujo (2020) desarrolló una investigación que tuvo por objetivo la optimización del funcionamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales de origen domésticas, propiedad de Aquafil que contaba con una planta de tratamiento por lodos

activados, la cual ya había sobrepasado su capacidad de tratamiento de dichas aguas, en esta investigación optó por el adicionamiento de biocarriers a los dos tanques reactores biológicos existentes de la anterior tecnología. En donde obtuvo resultados efectivos del tratamiento aplicado. Actualmente la planta es capaz de tratar un caudal promedio de 280 m³/d, que cubre los requerimientos de una población aproximada de 3200 habitantes asentada en la ciudad de Caylloma. Así mismo el autor rescata que el sistema MBBR es una excelente opción si hay necesidad de incrementar el volumen de tratamiento de agua, ya que genera costos mínimos en su implementación porque solo requirió la adquisición e instalación de los biocarriers. Así mismo, los costos de operación y mantenimiento se incrementan mínimamente por la cantidad de insumos químicos necesarios.

El desarrollo de la tecnología MBBR (reactor de biopelícula de lecho móvil), ha ido evolucionando a lo largo del tiempo, siendo utilizada y probada en las aguas residuales domésticas e industriales. A partir de los resultados obtenidos en estudios realizados anteriormente, se evidencia el excelente desempeño que tiene en la mejora de la calidad de las aguas residuales. Para la presente investigación, se tomará en cuenta el diseño de la tecnología a escala piloto, el porcentaje de llenado de los biocarriers, la cantidad de aire suministrada para garantizar la adecuada oxigenación de los microorganismos aerobios, entre otras recomendaciones e instrucciones encontradas en los antecedentes.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Aguas residuales

Se define el agua residual como aquella que ha sido utilizada en cualquier uso benéfico. “El conocimiento de la naturaleza del agua residual es fundamental para el diseño, operación y control de los sistemas de aguas residuales (recolección y tratamiento)” (Sierra Ramírez, 2011, p. 50).

Para López del Pino y Martín Calderón (2017), las aguas residuales son líquidos procedentes de las actividades desarrolladas por el ser humano, caracterizadas por presentar una fracción de agua y un elevado porcentaje de residuos contaminantes (p. 15).

Las aguas residuales son producidas por la actividad diaria del hombre, que son recolectadas por el sistema de alcantarillado que lo conduce a una planta de tratamiento de aguas residuales (Rojas, 2002, p. 5). Del mismo modo Quiroz et al. (2019) menciona que las aguas residuales, son el resultado de la manipulación del “agua limpia” que ha perdido sus características originales y ha dejado de tener valor después de un proceso particular, la cual genera un agua de desecho a la que se ha incorporado diferentes sustancias que la vuelven inutilizable.

Por otro lado Quispe et al. (2020), menciona que: “las aguas residuales como producto del consumo, son aquellas que aparecen formando parte de los líquidos cloacales en cuales se incorporan los restos del lavado doméstico, de la alimentación y baños.” Además, estas mismas se pueden presentar disueltas, suspendidas o mezcladas en estado intermedio denominado coloidal. También, estas sustancias, provengan o no de los hogares, pueden ser de naturaleza mineral u orgánica (p. 36).

2.2.2. Componentes y características de un agua residual doméstica

Las aguas residuales están compuestas aproximadamente por un 99.9 % de agua y el 0.01 %, está constituido por materia sólida. De los cuales, los sólidos se subdividen en material orgánico (proteínas, carbohidratos y grasas) con un 70 % e inorgánico (Arenas, sales y metales) con un 30 % respectivamente. Además, la composición de las aguas residuales varía mucho en torno a diversos factores que la afectan entre ellos incluye los hábitos y usos que se le dan (López del Pino y Martín Calderón, 2017, p. 19).

Las aguas residuales domésticas presentan las siguientes características:

Tabla 1*Características de las aguas residuales domésticas*

Parámetros (mg/L)	Contaminación	Contaminación	Contaminación
	alta	media	baja
Sólidos totales	1000	500	200
Sólidos volátiles	700	350	120
Sólidos fijos	300	150	80
Sólidos en suspensión totales	500	300	100
Sólidos en suspensión volátiles	400	250	70
Sólidos en suspensión fijos	100	50	30
Sólidos disueltos totales	500	200	100
Sólidos en disueltos volátiles	300	100	50
Sólidos en disueltos fijos	200	100	50
DBO ₅ a 20 °C	300	200	100
Oxígeno consumido	150	75	30
Oxígeno disuelto	0	50	0
Nitrógeno total	86	50	25
Nitrógeno orgánico	35	20	10
Amoníaco libre	50	30	15
Nitritos	0.1	0.05	0
Nitratos	0.4	0.2	0.1
Cloruros	175	100	15
Alcalinidad	200	100	50
Grasas	40	20	0
pH	6-9	6-9	6-9

Tomado de: López del Pino y Martín Calderón (2017)

2.2.3. Tratamiento de aguas residuales domésticas

El desarrollo de sistemas tratamiento de aguas residuales remolca hacia el siglo XX, ante la necesidad de velar por la salud pública y evitar las condiciones adversas provocadas por la descarga del agua residual al medio ambiente, ya que años antes, eran vertidas directamente en tierras de agricultura y eran utilizadas como fertilizante (Metcalf y Eddy, 1991, p. 138). Posteriormente, las grandes plantas de tratamiento llegaron a ser un problema, puesto que muchas de ellas fueron construidas en las afueras de áreas urbanas, hoy en día se encuentran dentro de áreas residenciales. Por lo que se busca opciones más compactas para el tratamiento ya que están valoradas como un riesgo potencial para la salud en las zonas urbanas (López et al., 2017, p. 5).

Dado la temática relacionada, actualmente se aplican tratamientos que están compuestos por muchas combinaciones de operaciones y procedimientos unitarios diseñados para reducir ciertos contaminantes del agua residual y llevarlos a un nivel aceptable por las normativas establecidas en cada país. Aunque casi todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales son únicos. De alguna manera a lo largo de los años las conjugaciones de tratamientos y procesos unitarios han evolucionado de acuerdo con los contaminantes a tratar. Para ello, los sistemas de tratamiento de agua residual se dividen frecuentemente en: primario, secundario y terciario (Valdez Alba y Vázquez González, 2003, p. 82).

- **Tratamiento secundario**

El tratamiento secundario de las aguas residuales está principalmente encaminado a la eliminación de los sólidos en suspensión y de los compuestos orgánicos biodegradables, aunque a menudo se incluye la desinfección como parte del tratamiento secundario (Metcalf y Eddy, 1991, p. 145).

El tratamiento secundario consiste generalmente en la conversión biológica de compuestos orgánicos disueltos y coloidales en biomasa, misma que puede ser removida a

continuación por sedimentación. El contacto entre microorganismos y compuestos orgánicos se logra suspendiendo la biomasa en el agua residual (Valdez Alba y Vázquez González, 2003, p. 84).

En este proceso se reduce el contenido de materia orgánica y al mismo tiempo se forma un lodo floculento, el mismo que es aprovechado por los microorganismos presentes que son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De ellas, las bacterias son posiblemente las más importantes, encontrándose en todo tipo de procesos de tratamiento biológico (Ramalho, 1977, p. 159).

Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finalmente disuelta, en sólidos sedimentables floculentos que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los tratamientos biológicos tienen eficiencia de remoción en la DBO entre el 85 % al 95 % (Rojas, 2002, p. 13).

MINAM (2009), señala como la inclusión de procesos biológicos en los que predominan las reacciones bioquímicas, generadas por microorganismos que logran eficientes resultados en la remoción de la DBO llegando a alcanzar entre el 50 % y el 95 %.

Para ello, detalla los sistemas de tratamiento secundario más empleados:

- Biofiltros o filtración biológica, filtros percoladores, filtros rotatorios o biodiscos.
- Lodos activados, entre los que se encuentran los convencionales y los de aireación extendida (p. 20).

2.2.4. Reactores de biopelícula

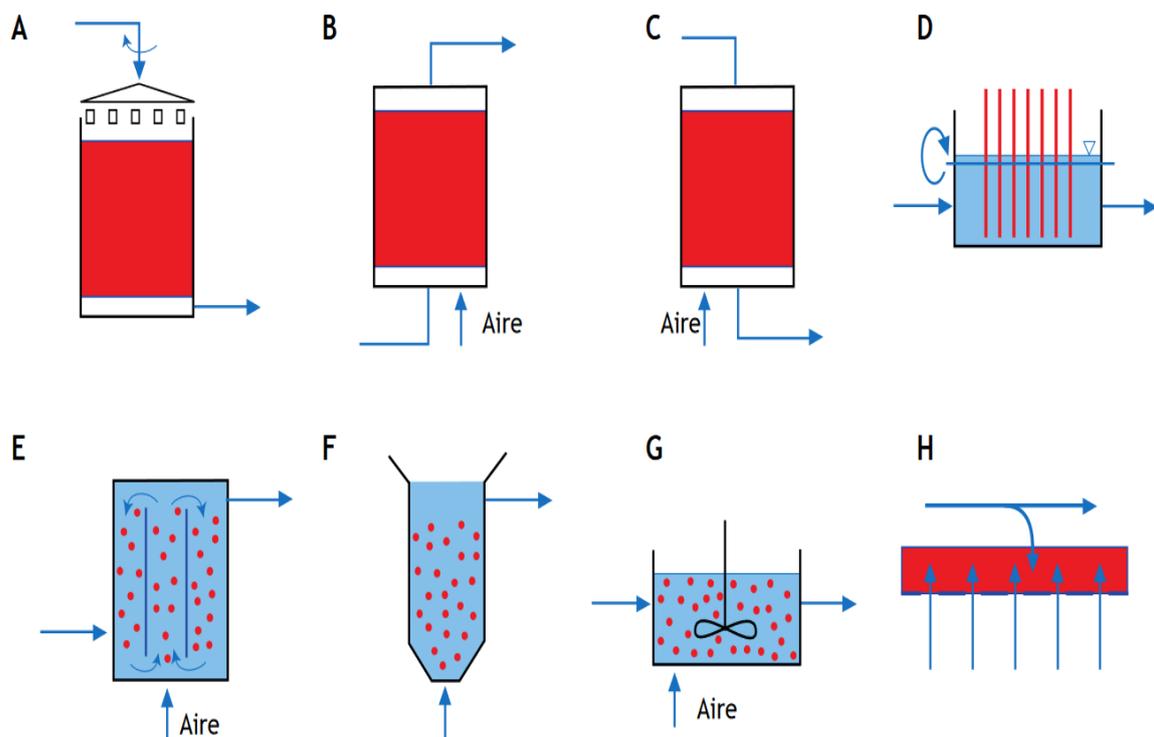
López et al. (2017), menciona que los reactores de biopelícula tienen resultados similares a los procesos de lodos activados, como es la remoción de materia orgánica, nitrificación, desnitrificación y remoción de fósforo. Esto se debe a que las bacterias que se encuentran en la capa superficial de la biopelícula están en contacto con el agua y eliminan el sustrato.

Para ello clasifica los biorreactores en tres grandes grupos:

- Los sistemas no sumergidos
 - Los filtros percoladores
 - Reactores biológicos rotativos
- Reactores de biopelícula sumergida de lecho fijo de flujo ascendente o flujo descendente
- Reactores de lecho fluidizado móvil. (p. 556)

Figura 1

Tipos de reactores de biopelícula: (A) filtros percoladores; (B) y (C) reactores de biopelícula sumergida o flujo ascendente; (D) reactores biológicos de contacto; (E) Reactores de biopelícula suspendida; (F) reactores de lecho fluidizado; (G) reactores de lecho móvil y (H) reactores de biopelícula adherida a una membrana.



Tomado de: (López et al., 2017, p. 556).

Tabla 2

Área superficial específica para diferentes tipos de soportes y reactores de biopelícula

Tipo de reactor	Material de soporte	Tamaño del material, mm	Área superficial específica del soporte (aF), m²/m³	Referencia
Filtro percolador	Roca	40-80	50 - 100	ATV-DVWK, 2001
	Plástico	-	100 - 200	ATV-DVWK, 2001
Filtro rotatorio (RBC)	Plástico	-	100 - 200	ATV-DVWK, 2001
	Plástico (K1) (60 % del volumen de llenado)	7-9	300	Rusten et al., 2006
Reactores de lecho móvil (MBBR)	Plástico (K3) (60 % del volumen de llenado)	19-25	300	Rusten et al., 2006
Biofiltro sumergido	Arcilla porosa	1.3-8	1000 - 1400	ATV, 1997
	Cal	2-8	1200 - 1400	ATV, 1997
	Poliestireno	3-6	1100	ATV, 1997
	Antracita	2.5-3.5	1900	ATV, 1997
	Arena de cuarzo	0.7- 2.2	3000	ATV, 1997
	Basalto	1.4-2.2	3600	ATV, 1997
Lodo granular	-	-	2000 - 3000	
Lecho fluidizado	Arena o basalto	0.2-0.8	3000 - 4000	Nicolella et al., 2000

Tomado de: (López et al., 2017, p. 556)

2.2.5. Reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR)

El proceso MBBR es una tecnología originalmente en Noruega que combina los procesos con crecimiento de biomasa suspendida y biomasa adherida (biofilm) (Vieira et al., 2011).

Para Wang et al., (2020), el reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR) es una tecnología avanzada de tratamiento de aguas residuales, que emplea los beneficios de los procesos de biopelícula y lodo activado para un tratamiento de aguas residuales altamente eficiente, dicha tecnología fue desarrollado en la década de 1980 y con el pasar de los años MBBR se ha establecido en todo el mundo como una tecnología de aguas residuales simple, robusta, flexible y compacta para el tratamiento de aguas residuales tanto municipales como industriales (p. 3).

Según Odegaard, (2006), el MBBR utiliza medios de soportes plásticos con una densidad cercana a la del agua, de modo que la biomasa se puede mantener en suspensión suministrando una mínima cantidad de energía en el mezclado, ya sea por aireación o mezclado mecánico.

Los MBBRs se pueden operar con o sin recirculación de lodo. Sin recirculación, el tiempo de retención de la biomasa en el MBBR se encuentra limitado por la cantidad de biopelícula retenida en el medio de soporte. Un sistema con recirculación de biomasa, permite la retención tanto de la biopelícula como de la biomasa suspendida (López et al., 2017, p. 562).

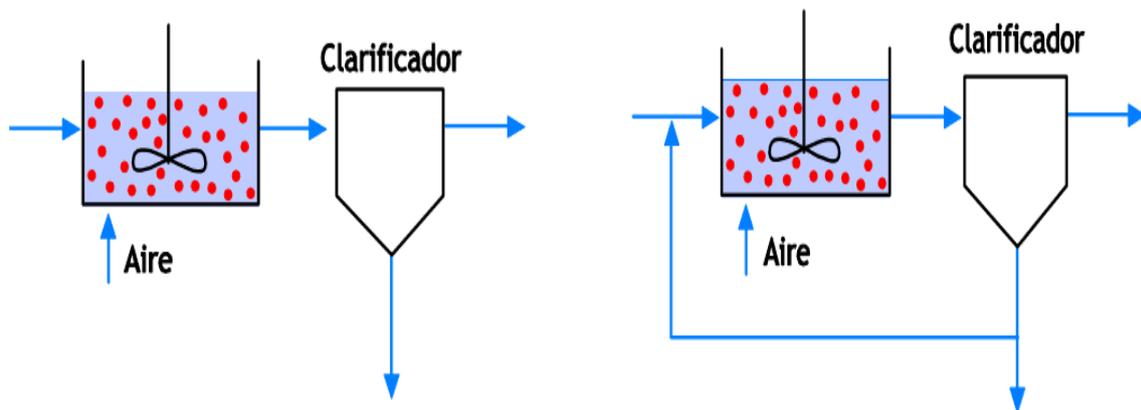
López et al. (2017), también menciona que, los reactores de biopelícula pueden alcanzar otros objetivos tales como, la eliminación de materia orgánica, nitrificación, desnitrificación y eliminación química o biológica de fósforo (p.555).

Bengtson (2017), menciona que los procesos de tratamiento MBBR normalmente se llevan a cabo en un tanque similar a un tanque de aireación de lodos activados, donde los

medios portadores se mantienen suspendidos por un sistema de aireación de aire difuso para un proceso aeróbico o por un sistema de mezclado mecánico para un proceso anóxico o anaeróbico, como se ilustra en las figuras a continuación:

Figura 2

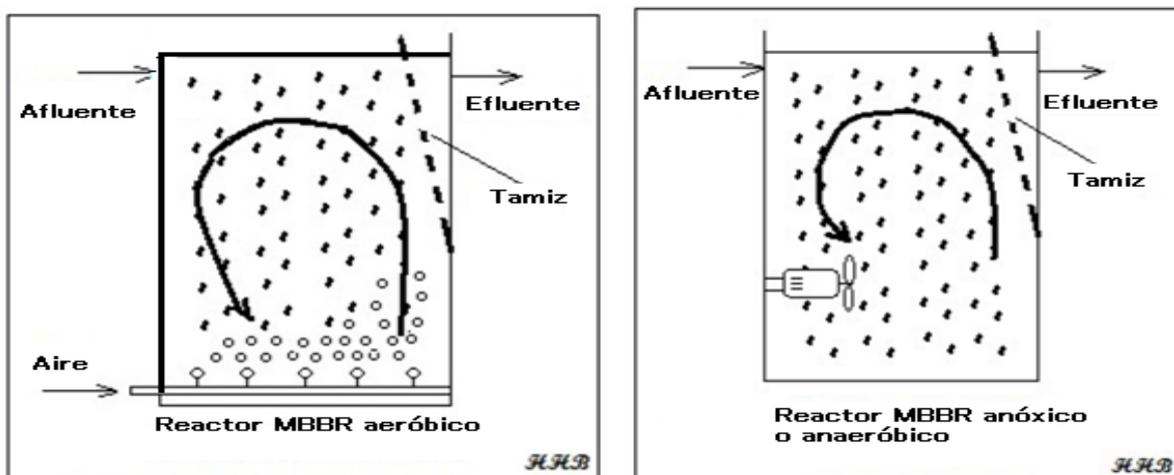
Sistema sin recirculación de lodos y sistema con recirculación de lodos



Tomado de: (López et al., 2017, p. 564)

Figura 3

Proceso de mezclado del material de soporte

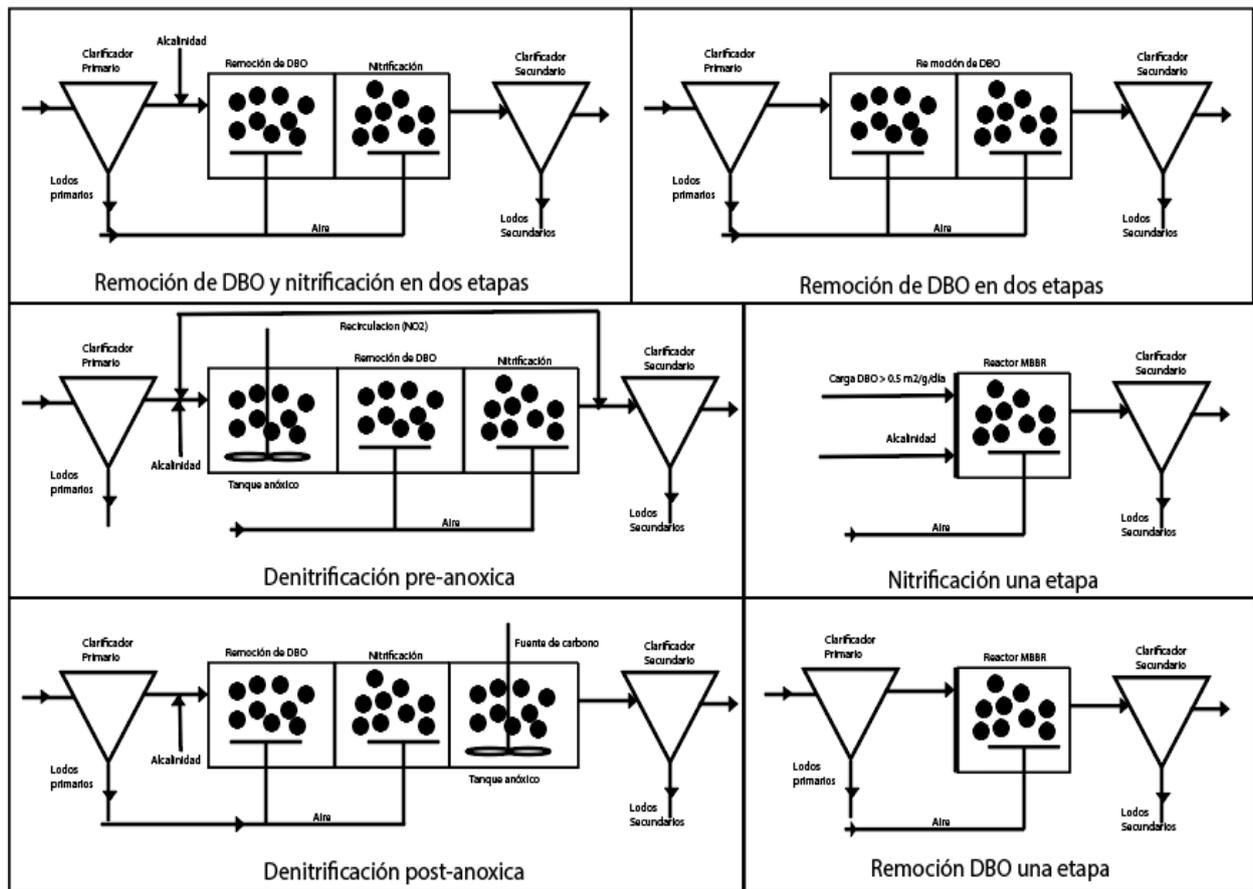


Tomado de: (Bengtson 2017: 17)

Bengtson, (2017), también menciona que existen diferentes alternativas para el proceso de tratamiento de aguas residuales de MBBR, como se muestra en el siguiente diagrama:

Figura 4

Tratamientos alternativos MBBR para aguas residuales.



Tomado de: (Bengtson, 2017, p. 19)

El sistema MBBR es una tecnología de comportamiento amigable con el medio ambiente que está avanzado a grandes pasos en las últimas décadas, además es una tecnología robusta, compacta y autónoma en el área del tratamiento avanzado de aguas residuales. También resaltamos que MBBR se implementa con éxito en el tratamiento de aguas residuales en la industria de la pulpa, el papel, mataderos, procesamiento de aves, fenol, lácteos, farmacéutica, refinería de petróleo, acuicultura y agua potable. Teniendo una eficiencia máxima en remoción del 97 % en DBO, 96 % en DQO, 99 % en fósforo total y 99 % en nitrógeno total, que se pueden lograr en tiempos de retención hídrica (TRH) de 2 a 6 horas (Madan et al., 2022, p. 13).

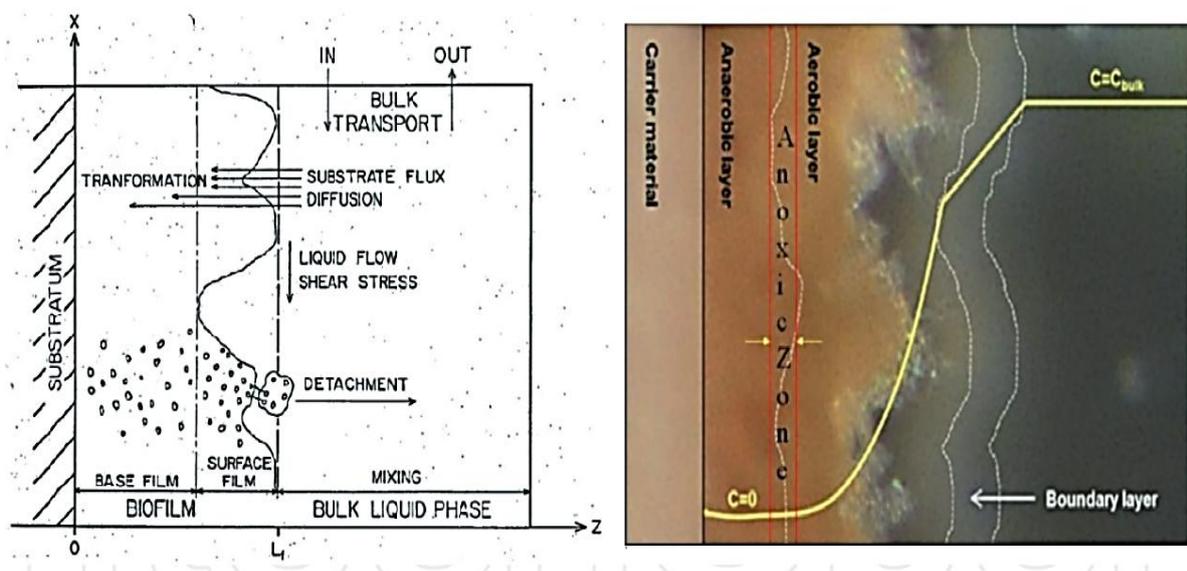
2.2.6. Sistemas de crecimiento de biopelículas (biocarriers)

Se han desarrollado y aplicado soportes de plástico de diferentes formas y áreas de superficie en los sistemas MBBR como sustrato de biopelícula. Los portadores pueden estar hechos de diferentes formas, como cuadrados, redondos y esféricos. La forma puede afectar la resistencia, el corte y las condiciones de colisión del transportador. La densidad del portador es normalmente más baja que el agua alrededor de 98 kg/L, por lo que puede suspenderse en aguas residuales con fijación de biopelícula sin introducir mezclas fuertes (Wang et al., 2020, p. 6).

En un reactor de biopelícula, los microorganismos se inmovilizan para formar una capa densa y crecen adheridos a una superficie sólida. Para mantener la biomasa activa en el reactor de biopelícula, no se requiere ningún proceso de sedimentación. Las biopelículas consisten en bacterias atrapadas en una matriz de sustancias poliméricas extracelulares (SPE) que contiene polisacáridos, proteínas, ácidos nucleicos de cadena libre y agua (López et al., 2017, p. 512).

Figura 5

Procesos de formación de biopelículas y clasificación de capas según el gradiente de oxígeno disuelto.



Tomado de: (Wang et al., 2020, p. 2)

2.2.7. Condiciones de operación para el reactor de biopelícula de lecho móvil

Madan et al. (2022), menciona que “para el proceso de eliminación de DBO de una sola etapa MBBR se puede usar como un proceso de tratamiento secundario independiente o como un tratamiento de desbaste antes de otro proceso de tratamiento secundario, en algunos casos para aliviar la sobrecarga de un proceso de tratamiento secundario existente (p.14)”.

Bengtson (2017), destaca que el principal factor de diseño para determinar las dimensiones del tanque MBBR es la tasa de carga superficial (SALR, $\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$) detallado en la tabla 3, que representa los gramos de DBO que ingresan al tanque por metro cuadrado de portador al día. A partir de la tasa de flujo de aguas residuales y la DBO entrante, se calcula la tasa de carga en $\text{g}/\text{DBO}/\text{día}$; dividiendo esta tasa de carga de DBO entre el SALR, se obtiene el área superficial necesaria. El porcentaje de llenado y espacio vacío del portador permiten calcular el volumen requerido del portador, tanque y líquido (p.7).

Tabla 3

Valores típicos de diseño SALR (Surface Area Loading Rate o Tasa de carga de superficie) para la remoción de materia orgánica.

Valores típicos de diseño de reactores MBBR a 15 °C		
Objetivo	Remoción de DBO	SALR
	%	$\text{g}/\text{m}^2\text{-d}$
Alta carga	75 - 80 (DBO ₅)	25 (DBO ₅)
Mediana carga	85 - 90 (DBO ₅)	15 (DBO ₅)
Baja carga	90 - 95 (DBO ₅)	7.5 (DBO ₅)

Tomado de: (Bengtson, 2017, p. 8)

A continuación, se muestran las fórmulas respectivas para diseñar el sistema MBBR de una sola etapa para la eliminación de contaminantes.

- **Cálculo de la carga orgánica (CO):**

La carga orgánica es la cantidad de comida por unidad de biomasa que reciben diariamente los microorganismos, en términos de kg DBO₅/día, en términos coloquiales es la comida diaria que recibe el reactor, por unidad de biomasa, y es útil para dimensionar el tamaño del reactor. Normalmente está entre 0,05 y 1,5 de kg DBO₅/día y se utiliza principalmente en reactores aerobios en medio suspendido (Orozco, 2014, p. 338).

Para calcularla, se utiliza la siguiente fórmula:

$$CO = Q * DBO_i$$

Donde:

CO = Carga orgánica en (g DBO/día)

Q = Caudal de entrada en (L/día)

DBO_i = Concentración de DBO de entrada en (mg/L)

- **Área superficial del Carrier:**

El área superficial del carrier es la cantidad de área en (m²/m³) que aporta el carrier.

Para calcularla expresamos la siguiente fórmula:

$$ASC = \frac{CO}{SALR}$$

Donde:

A_{SC} = Área superficial del carrier en m²

CO = Carga orgánica en (g DBO/día)

SALR = Área de superficie de soporte requerida

- **Volumen del Carrier:**

El volumen del carrier es la cantidad de volumen que ocupa en el reactor. Para calcularla expresamos la siguiente fórmula:

$$VC = \frac{ASC}{AC}$$

Donde:

V_C = Volumen del carrier en m^3

A_{SC} = Área superficial del carrier en m^2

A_C = Área del carrier

- **Volumen del tanque reactor**

El volumen del tanque reactor, es el volumen real que tendrá el tanque reactor y se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$V_T = \frac{VC}{\% \text{ llenado}}$$

Donde:

V_{TR} = Volumen del tanque en m^3

V_C = Volumen del carrier en m^3

$\% \text{ llenado}$ = Porcentaje de llenado del carrier

- **Volumen líquido en el tanque**

Se refiere al volumen líquido (agua) que estará en el tanque reactor y para calcularla se aplica la siguiente fórmula:

$$VL = VT - (VC * (1 - \% \text{ vacío}))$$

Dónde:

V_L = Volumen líquido en el tanque en m^3

V_T = Volumen del tanque en m^3

V_C = Volumen del carrier en m^3

$\% V_{\text{vacío}} = \text{Porcentaje de vacío del carrier}$

- **Tiempo de retención hídrica**

El tiempo de retención hidráulico, es el tiempo promedio que un volumen elemental de agua residual permanece en un tanque, desde la entrada hasta la salida (Orozco Jaramillo, 2014, p. 333). Para calcularlo, se utiliza la siguiente fórmula:

$$\text{TRH} = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

TRH = Tiempo de retención hidráulica (días ó horas)

V = Volumen del reactor (m^3)

Q = Caudal de entrada ($\text{m}^3/\text{día}$)

- **Cantidad de aire suministrado (CAS):**

Para el cálculo de aire necesario dentro del reactor, se tomó en cuenta la metodología utilizada para el sistema de lodos activados, de esta manera se muestra las siguiente ecuación que lo establece (Moeller et al., 2009, p. 191).

$$C_{ox} = Q * CO \dots\dots\dots(\text{Ec.1})$$

Donde:

C_{ox} = Consumo de oxígeno en kg/d

Q = Caudal de entrada ($\text{m}^3/\text{día}$)

CO = Carga orgánica en (g DBO/día)

$$S_{\text{aire}} = \frac{C_{ox}}{T_{ox} * C_{mas} * \rho_{\text{aire}}} \dots\dots\dots(\text{Ec. 2})$$

Donde:

S_{aire} = Suministro de aire requerido en m^3/d

C_{ox} = Consumo de oxígeno en kg/d

T_{ox} = Transferencia de oxígeno del equipo en % (2 %, incluye el factor de seguridad)

C_{mas} = Concentración másica de oxígeno en % (21%)

ρ_{aire} = Densidad de aire en kg/m³ a 20 °C (1.2 kg/m³)

2.2.8. Parámetros fisicoquímicos analizados

- **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)**

La demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias (Orozco Jaramillo, 2014, p. 40).

Según la Norma OS.090 (2009), también lo define como la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para la estabilización de la materia orgánica bajo condiciones de tiempo y temperatura específicos (generalmente 5 días y a 20 °C).

- **Demanda química de oxígeno (DQO)**

La DQO es una prueba ampliamente utilizada para determinar el contenido de materia orgánica de una muestra de agua. A diferencia de la DBO, en esta prueba la materia orgánica es oxidada utilizando una sustancia química y no microorganismos; el dicromato de potasio constituye actualmente el mejor agente oxidante para la determinación de la DQO (Sierra Ramírez, 2011, p. 78).

López et al. (2017), también menciona que, si la concentración de oxígeno en el agua es de 30 mg/l, es probable que las bacterias heterótrofas en la biopelícula se vean limitadas por el oxígeno, lo cual afectaría el desarrollo de la biopelícula en los carriers, ya que las bacterias heterótrofas crecen más rápido, favoreciendo el crecimiento de bacterias autótrofas de lento crecimiento. Esto tiene dos implicaciones: (i) el crecimiento heterótrofo y la eliminación de DQO se ven poco afectados por el crecimiento autótrofo, (ii) el crecimiento

autótrofo y la oxidación de amonio se ven afectados por la cantidad de oxígeno utilizado por la biomasa heterótrofa (p.543).

- **Sólidos suspendidos totales (SST)**

Metcalf y Eddy (1991), menciona que los sólidos suspendidos totales, es la cantidad de materia suspendida en el agua, expresada en términos de peso por volumen de agua. Estos sólidos incluyen partículas orgánicas e inorgánicas que están en suspensión en el agua y que pueden afectar su calidad y claridad. La medición de este parámetro es importante para evaluar la calidad del agua y para determinar la eficacia de los procesos de tratamiento de aguas residuales (p.82).

- **Aceites y grasas (A y G)**

Los aceites y grasas, en aguas superficiales ocasionan películas que interfieren en la transferencia de oxígeno atmosférico. En grandes cantidades, pueden reducir la eficacia de los procesos de tratamiento biológico. Además, pueden obstruir las redes de alcantarillado al adherirse a las paredes internas de los conductos. Estos efectos contribuyen significativamente a deteriorar la calidad visual del cuerpo de agua. Generalmente están asociadas a la presencia de hidrocarburos por su insolubilidad en el agua (Sierra Ramírez, 2011, p. 84).

Estos líquidos se describen como sustancias que pueden ser extraídas del agua utilizando hexano, tetracloruro de carbono, cloroformo o freón. Además de estos líquidos, los contaminantes comunes en estas mezclas incluyen sólidos, sedimentos, partículas metálicas, agentes emulsificadores, productos de limpieza, jabones, solventes y otros residuos. Pueden ser aceites grasos, lubricantes, fluidos de corte, hidrocarburos pesados como alquitrán, grasa, petróleo y aceites diésel, así como hidrocarburos ligeros como gasolina, queroseno y combustible de aviación (Kemmer y Maccallion, 1998, p. 243).

- **Potencial de hidrógeno (pH)**

Según López et al. (2017) menciona que, la alteración del pH en un entorno afecta las biomoléculas y en consecuencia, la actividad microbiana. Para el proceso de lodos activados, el rango óptimo de pH se sitúa entre 7.0 y 8.5. Cuando el pH se encuentra fuera de este intervalo, la actividad biológica disminuye de manera similar a como sucede con las variaciones de temperatura (p.314).

2.2.9. Ventajas de la tecnología MBBR

Bidatek (2021) menciona las ventajas que presenta el sistema MBBR a continuación:

- Menor volumen del reactor biológico.
- No requiere recirculación de biomasa, lo que elimina la dependencia de la separación final del fango y evita problemas de sedimentación típicos en procesos convencionales de fangos activos.
- La operación y control de estos procesos son simples, ya que no es necesario conocer la biología del proceso, solo mantener los equipos funcionando mecánicamente, ya que el sistema retiene la biomasa en el reactor hasta que se desprende del soporte.

2.2.10. Desventajas de la tecnología MBBR

Genesis, (2019) menciona también las desventajas que presenta el sistema MBBR a continuación:

- **Se requiere monitoreo bacteriano manual**

Los operadores necesitan recolectar muestras periódicas de los medios y realizar análisis manualmente en un laboratorio para verificar la viabilidad y salud de las bacterias.

- **Operador experto necesario**

Los operadores deben tener experiencia en tratamiento biológico de agua. Aunque el funcionamiento físico no es complicado, los procesos biológicos son complejos y requieren personal capacitado para su correcta operación.

2.3. Definición de términos

- **Biocarriers o Carrier:** soportes en donde se adhieren los microorganismos formadores de biopelícula. Los soportes mayormente son plásticos, especialmente diseñados para que se encuentren en suspensión y en continuo movimiento en un determinado volumen del reactor (Wang et al., 2020, p. 6).
- **Biopelícula:** son comunidades microbianas, generalmente compuestas por bacterias, hongos y otros microorganismos, que se forman en un medio portante (López et al., 2017, p. 511).
- **Carga orgánica:** la carga orgánica expresa la comida diaria que recibe el reactor, por unidad de biomasa, y es útil para dimensionar el tamaño del reactor (Orozco Jaramillo, 2014, p. 338).
- **Reactor:** se refiere al depósito o estructura de contención, junto con todos sus accesorios, en el que tiene lugar la operación unitaria o proceso unitario. Aunque las operaciones y procesos unitarios son inherentemente naturales, su inicio, intensidad y control pueden ser modificados mediante la alteración del entorno dentro del reactor (Valdez Alba y Vázquez González, 2003, p. 82).
- **SALR:** se refiere al g/d del parámetro que se elimina y el m², en las unidades SALR se refiere a la superficie del portador. Por lo tanto, para la eliminación de DBO, la SALR sería de g DBO/día que entran al tanque de MBBR por m² del área de la superficie del portador (Bengtson, 2017, p. 31).
- **Tiempo de detención hidráulica (TRH):** tiempo en que permanece el sustrato en el reactor para ser metabolizado. Influye en los porcentajes de remoción del tratamiento (Orozco Jaramillo, 2014, p. 333).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización de la investigación

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, ubicado en el barrio Pallac, distrito Celendín, provincia de Celendín y departamento de Cajamarca con coordenadas UTM: Este: 815435.18 m; Norte: 9241971.30 m; Altitud: 2605 m.

3.2. Características meteorológicas

Los datos meteorológicos promedio del año 2023 se muestran en la tabla 4.

Tabla 4

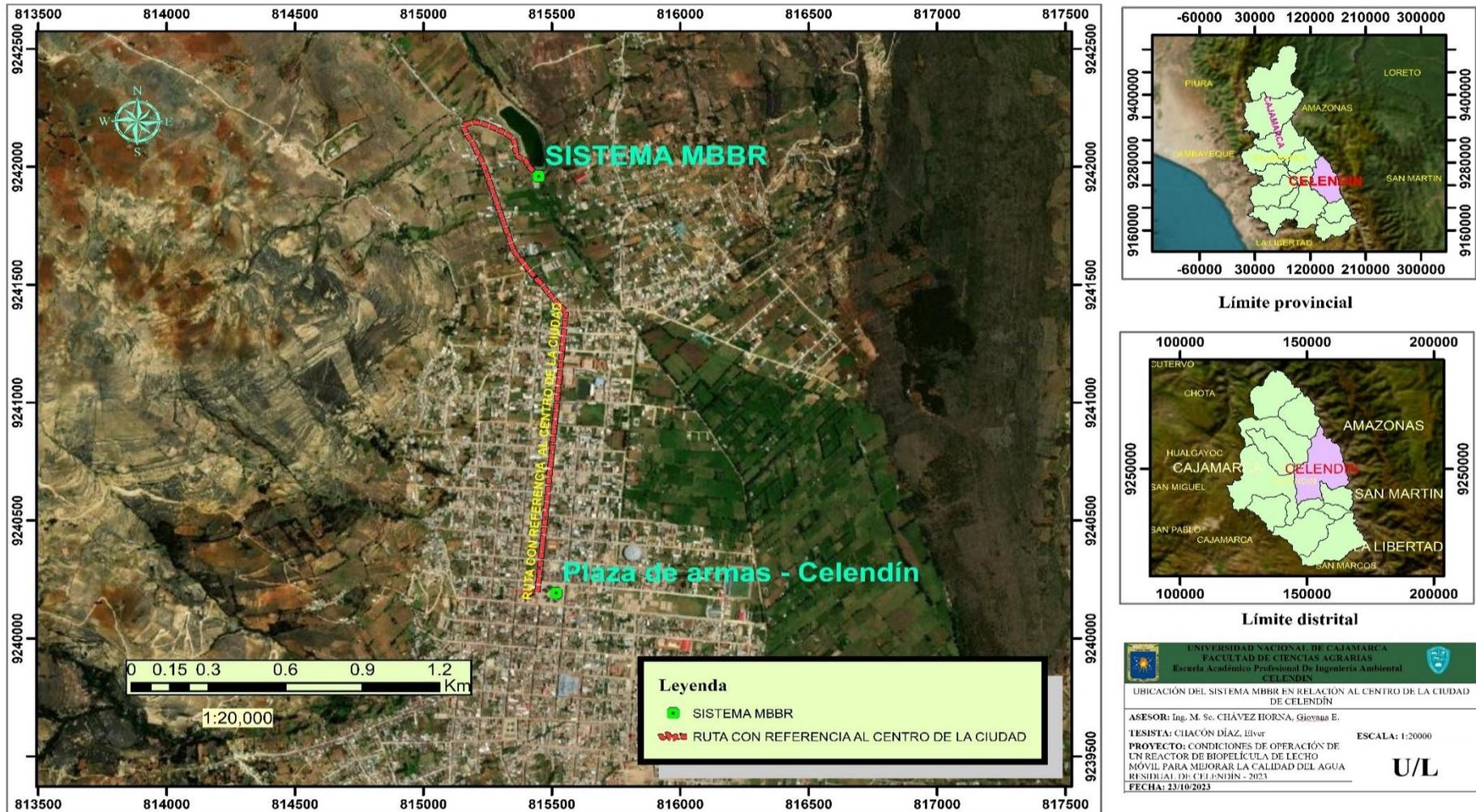
Datos meteorológicos de la ciudad de Celendín

FACTORES	VALOR
Temperatura máxima promedio (anual)	20.9° C
Temperatura media promedio (anual)	14.8° C
Temperatura mínima promedio (anual)	6.9° C
Humedad relativa promedio (anual)	77 %
Precipitación promedio (anual)	920 mm/año
Dirección de vientos promedio (anual)	NW - SE
Cambio térmico promedio (anual)	Moderado
Origen de Humedad y Lluvias	Trans amazónicas

Tomado de: SENAMHI (2023)

Figura 6

Ubicación del sistema MBBR en relación con la ciudad de Celendín



3.3. Vía de acceso

La vía de acceso es la carretera Celendín – Llanguat a 2,4 km. desde el centro de la ciudad de Celendín, en el Km. 102 PE 109, se accede por la calle que rodea al parque recreacional Pachacútec, la misma que conduce hacia la PTAR Celendín.

3.4. Materiales y equipos

3.4.1. *Material experimental*

- Muestra de agua residual obtenida de la PTAR Celendín.
- Sistema MBBR

En la construcción de dicho sistema se utilizó:

- Un tanque de polietileno de 230 L
- Un tanque de vidrio
- Un sedimentador secundario de vidrio
- Manguera transparente de 1/4" o 6 mm
- Biocarriers Flowen K6 de 25 mm x 5 mm
- Cuatro difusores artesanales de aire de microburbuja de PVC
- 2 bombas de aire con una salida de 3.5 L/min, modelo: B-248A
- Válvula de agua por 1/2"
- Electrobomba - Pedrollo 1.5 HP CPM 650 150 L/min

3.4.2. *Materiales y equipos de laboratorio*

- Kit de toma de muestras (botellas o frascos estériles de un solo uso)
- Cámara de celular Samsung S 21 FE
- Probeta de 250 ml
- Mascarillas
- Guantes
- Alcohol

3.4.3. Otros materiales

- Laptop marca TOSHIBA versión 10.0
- Papel Bond A4
- Útiles de escritorio
- Cuaderno de campo

3.5. Descripción del sistema MBBR a escala de laboratorio

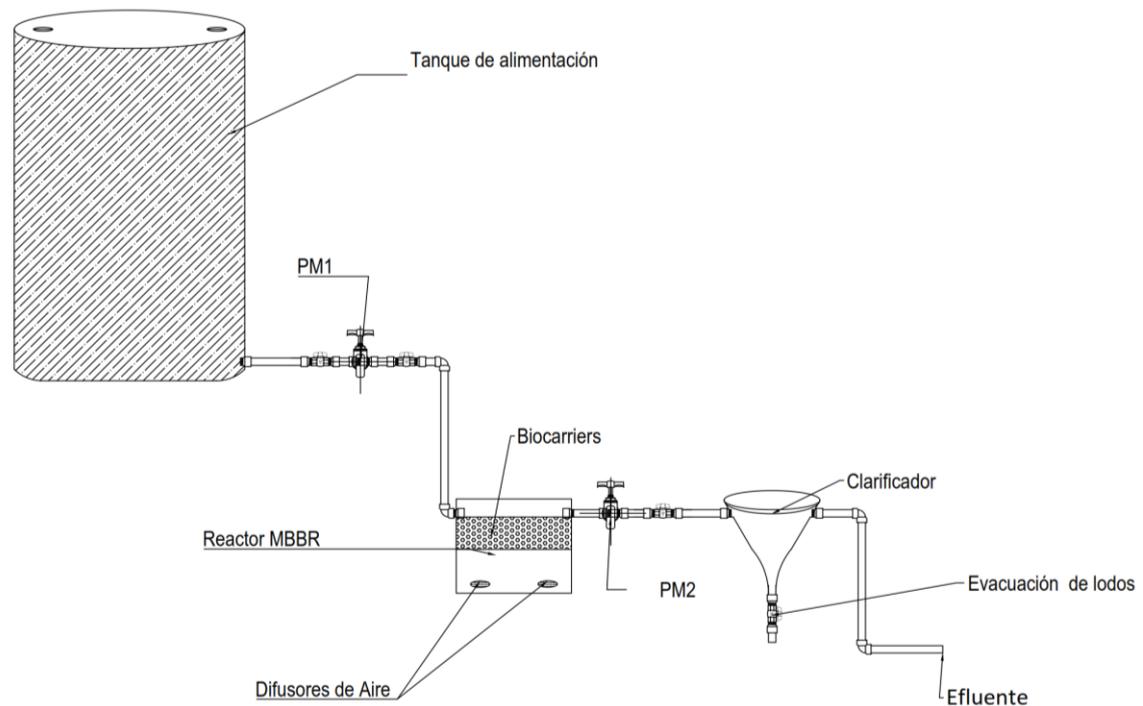
El sistema MBBR fue construido y operado en la planta de tratamiento de aguas residuales municipales de la ciudad de Celendín, para tratar las aguas residuales provenientes de las unidades del pretratamiento de la misma PTAR. Dicho sistema contó con un tanque alimentador, un tanque reactor de vidrio con su respectivo sistema de aireación y biocarriers, finalmente un clarificador tal como se muestra en la figura 7 y 8, cuyos componentes se detallan a continuación:

3.5.1. Tanque alimentador de aguas residuales

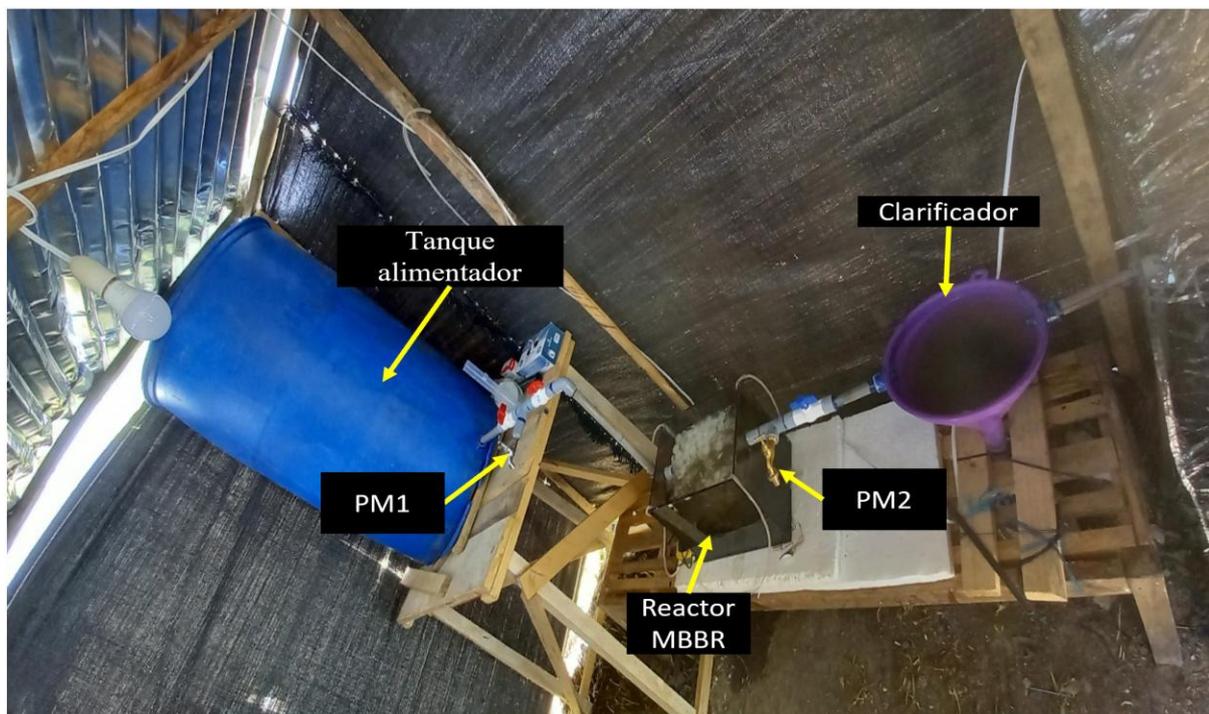
El tanque alimentador empleado en el proceso, fue específicamente un contenedor de polietileno con una capacidad de 230 litros. Este tanque cumplió la función de almacenar un volumen diario de 200 litros de agua residual, dicho almacenamiento permite garantizar un proceso fluido durante el tratamiento del agua residual con el reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR).

Figura 7

Vista en elevación del sistema MBBR a escala piloto

**Figura 8**

Esquema del sistema MBBR



3.5.2. Reactor de biopelícula de lecho móvil

El reactor MBBR a escala de laboratorio, consistió en un tanque de vidrio de 12 mm de espesor para evitar rupturas con la instalación de los accesorios, el mismo que tuvo dimensiones de 30 cm de largo por 25 cm de ancho y 25 cm de alto, haciendo un volumen de 18 litros, además contó con los siguientes componentes:

- **Sistema de aireación**

El sistema de difusión de aire suministra aire atmosférico al tanque reactor para propiciar el tratamiento biológico aerobio y una mezcla completa; está compuesto por:

- **Compresores o bombas de aire:** se contó con 2 compresores de 3 watts de potencia y con salida de 3.5 L/min; este motor comprime el aire captado de la atmósfera para la inyección de aire al sistema.
- **Red de tuberías:** son mangueras de 6 mm de espesor, uniones y codos de material flexible y resistente, conectados a presión para la distribución de aire hacia el reactor de biopelícula de lecho móvil por medio de los difusores de aire.
- **Difusores de aire:** en el reactor se tuvo instalados difusores artesanales, elaborados de tubo PVC agujereado, el detalle se observa en la figura 7.

- **Biocarriers**

El reactor MBBR contó con biocarriers de plástico de HDPE virgen de 25 mm x 5 mm con un área de superficie de $1200 \text{ m}^2/\text{m}^3$, donde se formó la biopelícula necesaria para tratar el agua residual.

3.5.3. Cálculos de diseño del reactor de biopelícula de lecho móvil

Los cálculos de diseño del del reactor de biopelícula de lecho móvil, tuvo una serie de pasos los mismos que se muestran a continuación:

- **Datos de entrada**

- **Caudal:** el caudal utilizado para el diseño del sistema MBBR, fue de 200 litros diarios.
- **DBO₅:** Para el diseño, se tomó en cuenta los antecedentes de evaluación de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, realizado por Quispe Cotrina (2019), el cual obtuvo un promedio de DBO₅ de entrada de 245.95 mg/L.

- **SALR (Surface Area Loading Rate o Tasa de carga de superficie)**

El diseño experimental del sistema MBBR a escala de laboratorio se llevó a cabo utilizando como referencia la tabla de valores típicos de diseño propuesta por Bengtson (2017), con el objetivo de optimizar la eficiencia del sistema (ver tabla 3).

El SALR tomado para el experimento fue de baja carga lo que es igual a: 7.5 (DBO₅) g/m²*d (ver tabla 3).

- **Porcentaje de llenado de los carriers (% llenado)**

En el experimento se consideró el 40 % de llenado del tanque reactor. Esto por recomendaciones de los autores: Luna Fuentes (2019), Gutiérrez Murillo y García Guzman (2018), Quinteros Sanclemente (2019) y Reyes Araujo (2020).

- **Porcentaje de vacío de los carriers (% vacío)**

En el experimento se consideró el 60 % de vacío del tanque reactor.

- **Área superficial del carrier (ASC)**

Para este caso se optó por la compra de los carrier de área 1200 m²/m³

- **Diseño del tanque**

Para el diseño del tanque se tomó las siguientes consideraciones:

- Altura del espejo de agua (*Ea*): 0.20 m
- Proporción largo por ancho (P): 1.3

- Ancho del tanque:

$$A = \sqrt{\frac{Vt}{P * Ea}} = 0.23m$$

- Largo del tanque

$$L = \frac{Vt}{A * Ea} = 0.30m$$

Con el propósito de mantener las condiciones operativas óptimas del reactor, se ha empleado un enfoque técnico fundamentado en el análisis matemático a través de diversas fórmulas encontradas en las bases teóricas, las mismas que se resumen en la tabla 5.

Tabla 5

Parámetros de diseño del sistema MBBR

PARÁMETRO DE DISEÑO	FÓRMULA
Carga orgánica (CO)	$CO = Q * DBO_i$
Área superficial del carrier (ASC)	$ASC = \frac{CO}{SALR}$
Volumen del carrier (VC)	$VC = \frac{ASC}{AC}$
Volumen del tanque reactor (V _T)	$V_T = \frac{VC}{\% \text{ llenado}}$
Volumen líquido en el tanque reactor (VL)	$VL = VT - (VC * (1 - \% \text{ vacío}))$
Tiempo de retención hídrica (TRH)	$TRH = \frac{V}{Q}$
Cantidad de oxígeno (Cox)	$Cox = Q * CO \dots (Ec.1)$
Cantidad de aire suministrado (S _{aire})	$S_{aire} = \frac{Cox}{Tox * Cmas * paire} \dots (Ec.2)$

3.5.4. Clarificador

El clarificador está constituido por un tanque de polietileno de forma cónica, con un volumen total de 5.3 L. Cuyas dimensiones de la parte circular son: 25 cm de diámetro y 20 cm de altura. En la parte circular del tanque se conectó una tubería de 1/2" para el paso del efluente tratado y en la parte inferior de la parte cónica se colocó una llave de paso para la evacuación de lodos producidos tal como se muestra en la figura 7 y anexo 6.

3.6. Arranque y operación del reactor MBBR

3.6.1. Arranque del reactor MBBR

Se inició el arranque del reactor MBBR con la muestra (200 litros) de agua residual de la PTAR – Celendín donde se realizó el monitoreo constante de los parámetros: caudal de entrada al reactor, el funcionamiento del sistema de aireación y el crecimiento de la biopelícula en los carriers y se detallan a continuación:

Medición del caudal de entrada al reactor: Se realizó la medición con una probeta graduada (100 ml), 2 veces por semana durante un mes hasta obtener un caudal constante.

Funcionamiento del sistema de aireación: Se observó el sistema de aireación durante un mes, evaluando el caudal constante de oxígeno y el desempeño de los difusores de aire.

Crecimiento de la biopelícula: Se realizó una evaluación perceptiva después de 8 días de poner en arranque el reactor y tras 15 días se llevó a cabo una evaluación microscópica en las instalaciones del laboratorio ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca.

En la Figura 9 se muestra un óptimo crecimiento de la biopelícula en los biocarriers

Figura 9

Crecimiento de la biopelícula en los biocarriers



3.6.2. Descripción de la operación del sistema MBBR

Las condiciones de operación del sistema MBBR fueron:

- Durante los 3 meses de experimento se tuvo que obtener valores constantes de los parámetros de operación (Caudal, VTR, TRH, CO, SALR y CAS).
- Proceso netamente aerobio, con mezcla completa, sin recirculación de lodos.
- El caudal alimentador constante para el sistema de tratamiento con MBBR, proviene del tratamiento preliminar de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín que fue de 138.33 ml/min.
- El tiempo de retención hidráulica en el reactor de biopelícula de lecho móvil es de 1.38 horas.
- El tanque alimentador fue llenado diariamente de manera manual con una electrobomba.
- Aireación continua y prolongada (24 horas del día).
- Mezcla homogénea y uniforme lograda mediante el sistema de difusión de aire, con la prevención de la estratificación del aire y la formación de áreas de baja circulación.

- Extracción de lodos que sedimentaron en la parte inferior del clarificador, proceso realizado cada 5 días.
- Las microburbujas de aire inducen la agitación del agua dentro del reactor de biopelícula de lecho móvil, promoviendo una homogeneización total de los biocarriers y la biomasa presente.
- La toma y recolección de muestras se ejecutó siguiendo el protocolo establecido por el laboratorio de análisis de muestras (Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca), utilizando el equipo de muestreo (kit) proporcionado por dicha institución. Tras su recolección, las muestras fueron entregadas al laboratorio dentro de las horas establecidas en el protocolo de toma de muestras.
- Se realizaron mediciones constantes (2 veces por mes) en los respectivos puntos de monitoreo (PM1 y PM2) de los parámetros: demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, sólidos suspendidos totales, aceites y grasas y pH; así como el caudal de ingreso.

3.6.3. Evaluaciones a realizar

En las evaluaciones llevadas a cabo en la presente investigación, se realizaron análisis de varios parámetros como se muestran en la tabla 6, los cuales fueron analizados en el Laboratorio Regional del Agua certificado por INACAL ubicado en la ciudad de Cajamarca, para luego ser interpretados y ver si garantizan el cumplimiento de los límites máximos permisibles, establecidos por el DS 03 – 2010 - MINAM.

A continuación, se detallan los parámetros evaluados:

Tabla 6*Parámetros analizados con su respectivo método de análisis*

Parámetro	Unidad de medida	Método	Frecuencia	Punto de monitoreo	
				PM1	PM2
Caudal de entrada	L/min	Volumétrico	3/semana	Afluente del MBBR	
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test.	2/mes	X	X
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.	2/mes	X	X
Sólidos suspendidos totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C.	2/mes	X	X
Aceites y grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.	2/mes	X	X
Potencial de hidrógeno (pH) a 25°C	Und. pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method.	2/mes	X	X

3.6.4. Evaluación de la eficiencia del MBBR

La eficiencia obtenida fue comparada con las bases de diseño y bibliografía respectiva para determinar si el reactor de biopelícula de lecho móvil cumple en forma eficiente con la remoción de los diversos contaminantes analizados.

Para calcular la eficiencia respectiva se utilizó la siguiente fórmula:

$$E = \frac{\Sigma X_i - \Sigma X_f}{\Sigma X_i} * 100$$

Donde:

E = eficiencia total del reactor MBBR

ΣX_i = Sumatoria de las cargas en los diversos parámetros que ingresan al reactor MBBR.

ΣX_f = Sumatoria de las cargas en los diversos parámetros que salen del reactor MBBR.

3.7. Tratamiento de análisis de datos

Los resultados emitidos por el Laboratorio Regional del Agua para los parámetros solicitados y de acuerdo al método de ensayo que determina dicha entidad, se procesaron con los programas de excel e IBM SPSS, para obtener una información confiable.

El estadístico t se calcula como la diferencia entre las medias muestrales divididas por una medida de la variabilidad de los datos, ajustada por el tamaño de la muestra (Gutiérrez y Vladimirovna, 2016, p. 70).

$$t = \frac{x - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}}$$

Donde:

x = media de la población

μ = Promedio de las diferencias

S = Desviación estándar de las muestras

n = Número de diferencias

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR)

Para diseñar de manera adecuada el reactor de biopelícula de lecho móvil (MBBR), se siguieron las recomendaciones de Bengtson (2017), Quinteros Sanclemente (2019) y Estévez Villarroel (2016) quienes en sus investigaciones mencionan que se debe mantener constantes los parámetros clave (condiciones de operación) a lo largo de la evaluación del MBBR.

Desde el inicio del experimento y durante un periodo de tres meses, se mantuvieron de manera constante los parámetros detallados en la tabla 7; la CO se mantuvo cerca del punto de inicio, esto lo demuestra los análisis de laboratorio detallados en el anexo 4, donde se muestra una DBO₅ promedio de entrada al reactor de 230.44 mg O₂/L, respecto a la CO tomada para el diseño (245.95 mg O₂/L), por otro lado, el área superficial del carrier fue de 6.56 m², lo que sugiere una capacidad moderada para la adhesión de microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica tal como lo establece (Bengtson, 2017, p. 6).

Además, el volumen del carrier (5.47 L equivalente a 1764 unidades de carriers), el volumen del tanque reactor (13.66 L) y el volumen líquido en el tanque (11.48 L) son fundamentales para determinar el tiempo de retención hídrica permite que los microorganismos realicen eficientemente su trabajo de descomposición como lo menciona Medan et al. (2022).

El suministro de aire también desempeña un papel vital en los procesos biológicos del tratamiento de aguas residuales, ya que los microorganismos aeróbicos requieren oxígeno para su actividad metabólica, la cantidad de aire suministrado fue de 406.66 L/h, lo que indica una buena provisión de oxígeno para favorecer la actividad bacteriana aeróbica.

Con esta orientación, el sistema pudo funcionar de manera óptima reduciendo al mínimo las variaciones que podrían afectar su desempeño y confiabilidad con el tiempo.

Tabla 7

Condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil

PARÁMETRO DE DISEÑO	FÓRMULA	VALOR OBTENIDO
Carga orgánica (CO)	$CO = Q * DBO_i$	49.19 mg/L
Área superficial del carrier (ASC)	$ASC = \frac{CO}{SALR}$	6.56 m ²
Volumen del carrier (VC)	$VC = \frac{ASC}{AC}$	5.47 L
Volumen del tanque reactor (V _T)	$V_T = \frac{VC}{\% \text{ llenado}}$	13.66 L
Volumen líquido en el tanque reactor (VL)	$VL = V_T - (VC * (1 - \% \text{ vacío}))$	11.48 L
Tiempo de retención hídrica (TRH)	$TRH = \frac{V}{Q}$	1.38 h
Cantidad de oxígeno (Cox)	$Cox = Q * CO \dots (Ec.1)$	406.66 L/h
Cantidad de aire suministrado (S _{aire})	$S_{aire} = \frac{Cox}{Tox * Cmas * \rho_{aire}} \dots (Ec.2)$	

4.2. Control de las condiciones del reactor de biopelícula de lecho móvil para la mejora de la calidad del agua residual

4.2.1. Carga orgánica

Uno de los indicadores fundamentales para evaluar la eficacia de un sistema de tratamiento de aguas residuales es la carga orgánica, al ser el alimento para los microorganismos como lo menciona Orozco Jaramillo (2014). Así mismo, las investigaciones de Estévez Villarroel (2016) y Balarezo Sánchez (2018) han demostrado que una carga orgánica elevada (22500 mg/L y 1020 a 3150 mg/L) respectivamente, puede desafiar la capacidad del sistema para descomponer eficientemente los contaminantes.

En concordancia con Orozco Jaramillo (2014), quien menciona que la carga orgánica normalmente está entre 0.05 y 1.5 de kg.DBO₅/día y se utiliza principalmente en reactores aerobios en medio suspendido, la carga orgánica para el reactor de biopelícula de lecho móvil fue de 0.05 kg.DBO₅/día o en términos de diseño se expresa con 49.19 g DBO₅/día, lo que indica una concentración básica de materia orgánica en el agua residual que se está tratando y por ende tuvo efecto significativo en la reducción de los diversos parámetros analizados (DBO₅, DQO, SST y A y G).

4.2.2. Área de superficie requerida (SALR)

La cantidad de área de superficie requerida por unidad de volumen de reactor se ha mantenido en 7.5 g/m²-d. Como lo menciona Bengtson (2017), este parámetro ayuda en la eficiencia de la eliminación de contaminantes. El SALR con el que fue diseñado el reactor MBBR, garantiza una alta eliminación de los contaminantes existentes en el agua residual, entre ellos los principales son la DBO₅ y DQO al ser parámetros que representan la carga orgánica en el agua residual.

4.2.3. Volumen del tanque reactor (VTR)

El volumen del tanque reactor permaneció constante en 13.66 L. Esto asegura que el sistema tenga la capacidad adecuada para tratar el flujo de agua residual, evitando problemas aerodinámicos con el movimiento de los carriers.

4.2.4. Tiempo de retención hídrica (TRH)

Un tiempo de retención hídrica adecuado asegura que los microorganismos tengan suficiente tiempo para metabolizar los contaminantes, concordando con (Madan et al., 2022, p. 13) quien menciona que con el sistema MBBR se pueden lograr tiempos de retención hídrica (TRH) de 2 a 6, para el caso del experimento se tuvo un tiempo de retención de 1.38 horas, esto se debe a que el tipo de carrier favorece el rápido crecimiento de la biopelícula en donde se concentran los microorganismos encargados de descomponer la materia orgánica.

4.2.5. Cantidad de aire suministrado (CAS)

La cantidad de aire suministrado para la aireación del reactor se mantuvo en 406.66 L/h, lo que es fundamental ya que los microorganismos aeróbicos al ser los responsables de la degradación de la materia orgánica requieren oxígeno para su actividad metabólica. Los malos sistemas de aireación tienen problemas hidrodinámicos tal como lo establece Quinteros Sanclemente (2019), ya que tubo problema con su sistema de aireación al ser utilizado de manera empírica, concordando de esta manera con Moeller et al. (2009) quien recomienda tener como base el diseño para lodos activados.

En resumen, controlar las condiciones de operación del reactor MBBR en la PTAR Celendín han demostrado una mejora en la calidad del agua residual, evidenciada por la reducción de los diversos contaminantes (DBO_5 , DQO, SST, A y G) logrando una eficiencia promedio del 77.45 %, lo que permitió cumplir con los límites máximos permisibles requeridos para un agua de categoría 3 según el DS N° 03-2010-MINAM.

4.3. Evaluación de los parámetros fisicoquímicos

En la tabla 8 se presentan los resultados obtenidos de las características físicas y químicas de las muestras analizadas, donde se puede evidenciar, que durante el primer monitoreo se encontró una fuerte carga en los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (465.80 mg O₂/L), demanda química de oxígeno (933.40 mg O₂/L) y aceites y grasas (83.90 mg/L), este aumento en los niveles de contaminación se atribuye principalmente a la recepción ocasional de aguas residuales procedentes del camal y de la industria láctea, ubicados en la parte baja de la ciudad de Celendín. Estas fuentes industriales y de sacrificio animal pueden introducir una carga considerable de materia orgánica y compuestos químicos, desafiando su capacidad del sistema MBBR para eliminar los contaminantes del agua residual.

Aunque al principio hubo algunas limitaciones y sobrecargas en ciertos parámetros del experimento, el reactor de biopelícula de lecho móvil ha demostrado ser bastante eficiente para reducir los contaminantes. Este resultado muestra que el sistema es capaz de disminuir considerablemente la contaminación en el agua residual, lo que ayuda a mejorar la calidad del agua tratada.

Tabla 8*Eficiencia total del reactor de biopelícula de lecho móvil*

Parámetro	Und. Medida	MONITOREO 1		MONITOREO 2		MONITOREO 3		MONITOREO 4		MONITOREO 5		PROMEDIOS		EFIC. TOTAL
		PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	PM1	PM2	
		Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	465.8	144.7	183.4	33.6	180	63	187	33	136	42	
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	933.4	384.1	423.6	107.1	407.1	153.6	210.7	103.6	207.1	117.9	436.380	173.260	60.30 %
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	440	72	308	11	168	26	900	22.5	240	28	411.200	31.900	92.24 %
Aceites y Grasas	mg/L	83.9	12.5	24.6	1.3	32.9	5.7	33.1	6.9	31.6	5.1	41.220	6.300	84.72 %
pH a 25 °C	pH	6.93	7.55	7.27	7.79	6.96	7.87	6.96	7.45	7.08	7.52	7.040	7.636	
EFICIENCIA TOTAL PROMEDIO													77.45 %	

4.3.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

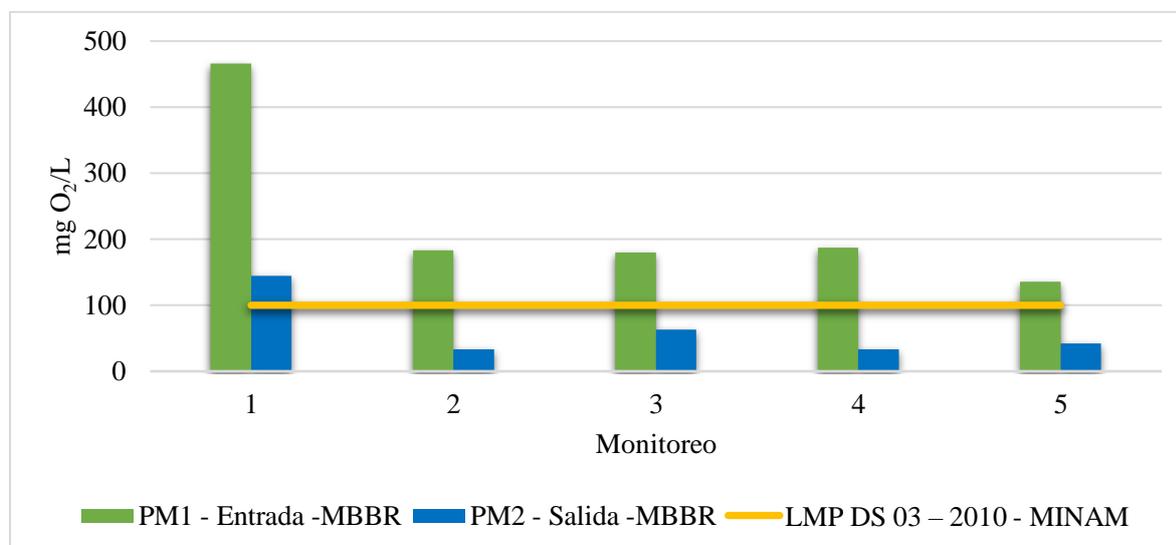
La demanda bioquímica de oxígeno a 5 días, se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica presente en el agua residual mediante la acción de bacterias en condiciones aerobias (Orozco Jaramillo, 2014, p. 40). En el sistema de tratamiento con MBBR, se presenta una marcada remoción de DBO₅ en el PM1 y PM2 (figura 10); se puede ver que el tratamiento tuvo una remoción de DBO₅ de un promedio inicial de 230.44 mg O₂/L se redujo a un promedio final de 63.23 mg O₂/L, logrando alcanzar una eficiencia del 72.55 % en la remoción del parámetro; como menciona Bengtson (2017) esto se debe a que los carriers proporcionan una gran superficie para el crecimiento de la biomasa, la misma que aumenta la eficiencia de la degradación de la materia orgánica, además al estar en constante movimiento por el sistema de aireación mejora la transferencia de oxígeno. De esta manera, se puede concordar con Quinteros Sanclemente (2019), que en su investigación logró una eficiencia de 69.6 % con un resultado de 36 mg O₂/L.

Comparando con los límites máximos permisibles establecidos en DS 03-2010-MINAM, se concuerda con Reyes Araujo (2020) quien también logró reducir el parámetro por debajo de los LMPs se puede decir que la tecnología reactor de biopelícula de lecho móvil es eficiente en la disminución del parámetro de demanda bioquímica de oxígeno; como se observa en los resultados obtenidos, la mayoría están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos que es 100 mg/L para efluentes de plantas de tratamiento de agua residual doméstica.

Figura 10

Concentración promedio de Demanda Bioquímica de Oxígeno, entrada y salida del sistema

MBBR



En la tabla 9 se observa que, con un nivel de confianza del 95 % y mediante el método estadístico de t-Student aplicado a los resultados de la DBO₅, el valor tabulado (0.01) es menor que el nivel de significancia (0.05) definido para este estudio. Esta comparación estadística confirma que el reactor de biopelícula de lecho móvil tiene un impacto positivo en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Tabla 9

Prueba t para medias de dos muestras relacionadas en la Demanda Bioquímica de Oxígeno

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilat)
	Media	Desv. típico	Error típ. de la media	95 % Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inf.	Sup.			
DBO ₅ de ENTRADA al MBBR - DBO ₅ de SALIDA del MBBR	167.18	89.50	40.03	56.05	278.31	4.18	4	0.01

4.3.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

Como lo menciona Sierra Ramírez (2011), la DQO es comúnmente empleada para medir la cantidad de materia orgánica presente en una muestra de agua. A diferencia de la DBO, en la DQO se utiliza una sustancia química (dicromato de potasio) en lugar de microorganismos para oxidar la materia orgánica.

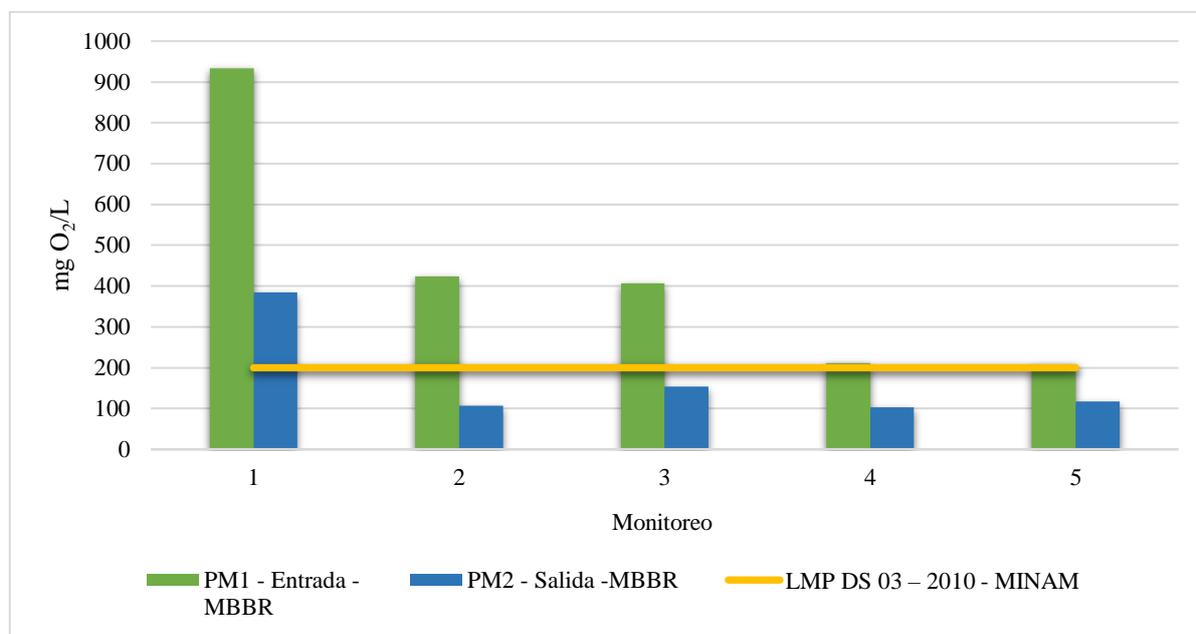
En la figura 11, se observa que el proceso de tratamiento aplicado ha resultado en una reducción significativa del parámetro de demanda química de oxígeno (DQO). Inicialmente, el valor del parámetro mencionado se situaba en un valor promedio de 436.38 mg O₂/L, mientras que, al aplicar el tratamiento se logró disminuir este valor a 173.26 mg O₂/L. Lo que implica que el MBBR logró una eficiencia del 60.30 % en la eliminación de la DQO; como menciona Wang et al. (2020), esto se debe a que el sistema MBBR favorece la degradación de la materia orgánica por la biomasa que se adhiere en los carriers, teniendo una buena transferencia de oxígeno, por ende se destaca la efectividad del tratamiento implementado para mitigar dicho parámetro.

Concordando con Estévez Villarroel (2016), quien obtuvo una eficiencia del 53.93 % en la reducción del parámetro y también Gutiérrez y García (2018) quienes lograron la reducción de DQO de 500 mg/l a 356 mg/l.

Además también se puede concordar con Reyes Araujo (2020) quien en su investigación logró la remoción del parámetro por debajo de los límites máximos permisibles, de esta manera se puede afirmar que el reactor de biopelícula de lecho móvil, es eficiente ya que las evaluaciones realizadas están por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por el decreto supremo 03-2010-MINAM.

Figura 11

Concentración promedio de Demanda Química de Oxígeno, en la entrada y salida del sistema MBBR



Al realizar el análisis con el método estadístico t-student aplicado a resultados obtenidos para la DQO, con un nivel de confianza del 95 %, se obtuvo un valor de $p = 0.03$, el cual es menor al valor de significancia 0.05, tal como se muestra en la tabla 10. De esta manera, se demuestra estadísticamente que el reactor de biopelícula de lecho móvil tiene un impacto positivo en la reducción de la demanda química de oxígeno (DQO).

Tabla 10

Prueba t para medias de dos muestras relacionadas en la Demanda Química de Oxígeno

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilat)
	Media	Desv. típico	Error típ. de la media	95 % Intervalo de confianza para la diferencia				
				Inf.	Sup.			
DQO de ENTRADA al MBBR – DQO de SALIDA del MBBR	263.12	186.70	83.49	31.30	494.94	3.15	4	0.03

4.3.3. Sólidos suspendidos totales (SST)

El parámetro de sólidos suspendidos totales según Metcalf y Eddy (1991), menciona que la medición de este parámetro es importante para evaluar la calidad del agua y para determinar la eficacia de los procesos de tratamiento de aguas residuales.

Como se evidencia en la figura 12, la concentración más alta de SST, se registra antes del reactor de biopelícula de lecho móvil con un valor promedio de 411.20 mg/L, una vez aplicado el tratamiento con el reactor MBBR, se observa una reducción significativa en la concentración de SST que presenta un valor promedio de 31.90 mg/L, lo que indica una eficiencia del 92.24 % en la eliminación de los SST, destacando así la efectividad del tratamiento implementado para mitigar dicho parámetro, esto se debe a que los carriers actúan como un filtro que retienen las partículas sólidas que se desprenden de la biomasa o que ingresan con el agua residual. Además el sistema MBBR facilita la sedimentación porque ayuda a formar pequeños flóculos y por ende se decantan en el clarificador tal como lo establece (Wang et al., 2020, p. 12).

En concordancia con Estévez Villarroel (2016) y Quinteros Sanclemente (2019), quienes lograron eficiencias de 38,8 % y 81.12 % respectivamente en la remoción de sólidos suspendidos totales, se complementa la conclusión de que la tecnología puede lograr mejores resultados, si se considera a detalle los cálculos de diseño.

Comparando con los límites máximos permisibles establecidos por el decreto supremo 03-2010-MINAM, el promedio obtenido (31.90 mg/L) de los SST después del tratamiento aplicado con el sistema MBBR se sitúan por debajo de lo establecido en dicho decreto, lo que indica claramente que el sistema de tratamiento aplicado es fundamental para el tratamiento de las aguas residuales.

4.3.4. Aceites y grasas (A y G)

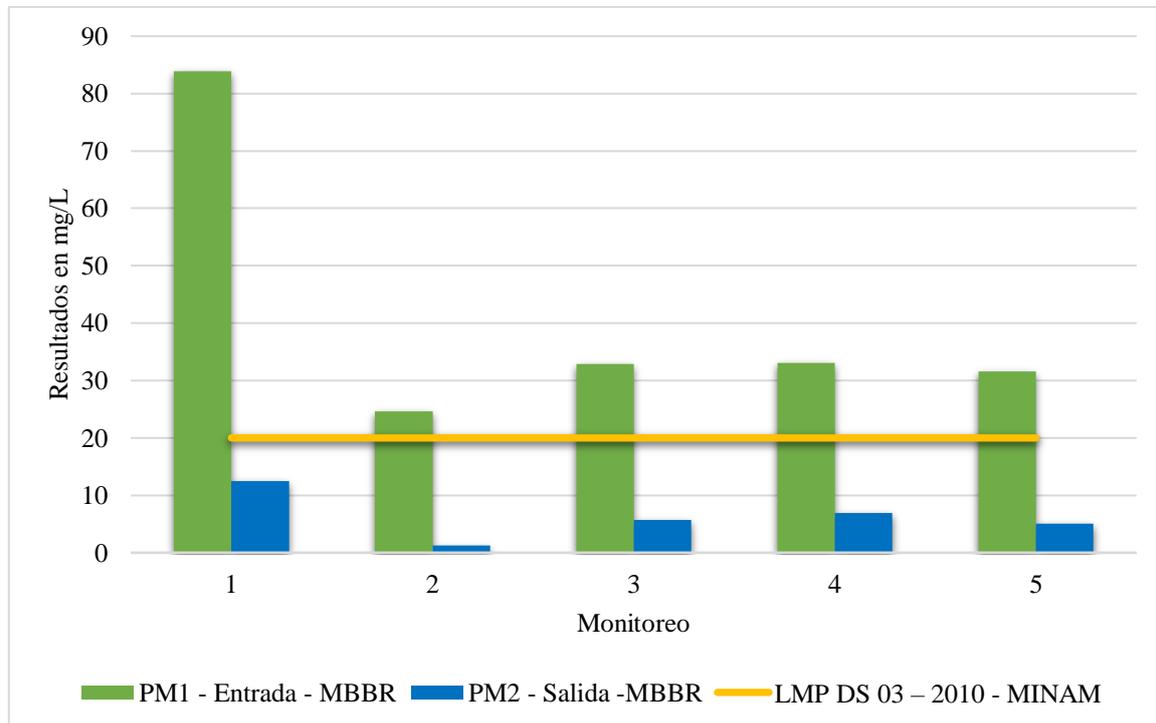
Sierra Ramírez (2011) menciona que los aceites y grasas presentes en aguas superficiales pueden crear películas que obstaculizan la absorción de oxígeno atmosférico. Cuando se encuentran en cantidades elevadas, pueden reducir la eficacia de los procesos de tratamiento biológico.

En la figura 13, se presenta un conjunto de datos que detalla la concentración de aceites y grasas (A y G) expresadas en miligramos por litro (mg/L) en los dos puntos de monitoreo (PM1 y PM2). Inicialmente, el valor del parámetro mencionado tuvo un valor promedio de 41.22 mg/L, mientras que, al aplicar el tratamiento se logró disminuir este valor a 6.30 mg/L. Este rendimiento representa una eficiencia del 84.72 % en la eliminación de aceites y grasas. Estando en concordancia con Balarezo Sánchez (2018), quien logró una eficiencia de 88.66 %, mientras que Estévez Villarroel (2016), solo logró un 35.62 % en la remoción del parámetro, esto se complementa con la conclusión que la tecnología puede lograr mejores resultados, si se considera a detalle los cálculos de diseño.

Comparando con los límites máximos permisibles establecidos por el decreto supremo 03-2010-MINAM, se puede afirmar que el resultado final obtenido (6.30 mg/L) de los A y G después del tratamiento aplicado con el sistema MBBR se sitúan por debajo de lo establecido en dicho decreto, lo que indica claramente que el sistema de tratamiento aplicado es fundamental para el tratamiento de las aguas residuales.

Figura 13

Concentración promedio de Aceites y Grasas, en la entrada y salida del sistema MBBR y comparación con los LMPs



Después de llevar a cabo el análisis estadístico a la información recopilada de los resultados obtenidos para los aceites y grasas utilizando el método t-student, a nivel de confianza del 95 %, se obtuvo un valor “p” de 0.019 siendo menor que el valor de significancia establecido en 0.05.

El estadístico calculado apunta de manera concluyente a la existencia de significancia en la aplicación del tratamiento con dicho reactor, la recomendación de esta tecnología para el tratamiento de aguas residuales se fundamenta en la contundencia de los resultados obtenidos. El hecho de que la diferencia observada sea estadísticamente significativa sugiere que el reactor de biopelícula de lecho móvil puede mejorar la calidad del agua tratada, en términos de la reducción de los niveles de aceites y grasas.

Tabla 12

Prueba t en medias de dos muestras relacionadas para Aceites y Grasas

	Diferencias relacionadas					t	gl	Sig. (bilat)
	Media	Desv. típico	Error típ. de la media	95 %				
				Intervalo de confianza para la diferencia				
			Inf.	Sup.				
ACEITES Y GRASAS de ENTRADA al MBBR	34.92	20.45	9.14	9.53	60.31	3.82	4	.019
ACEITES Y GRASAS de SALIDA del MBBR								

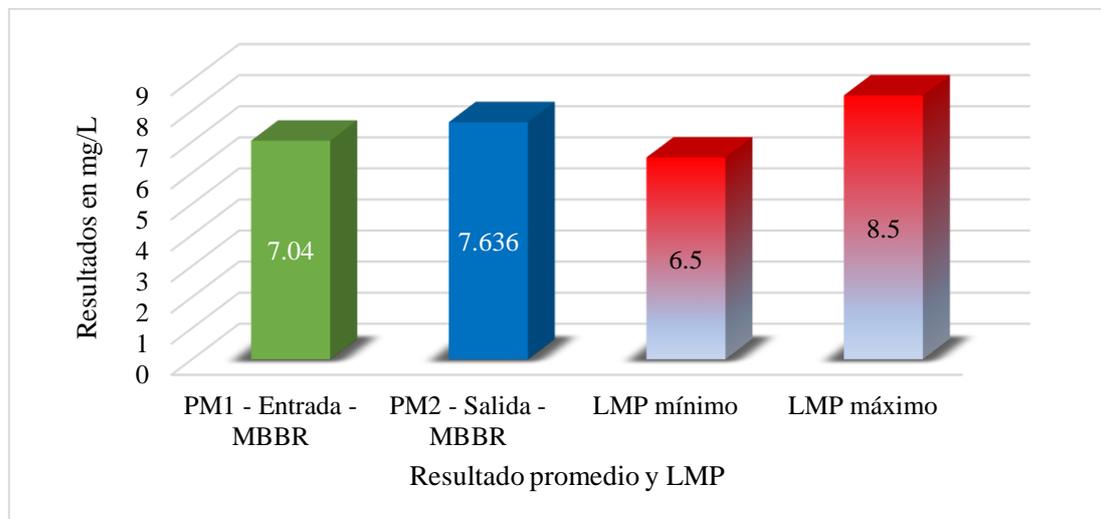
4.3.5. Potencial de hidrógeno (pH)

Como se evidencia en la figura 14, en la salida del tanque de homogenización el cual fue denominado PM1 (entrada) se obtuvo un promedio de 7.04 unidades de pH, mientras que en el punto de muestreo como PM2 (salida), se obtuvo un promedio de 7.64 este ligero cambio se debió a que los microorganismos pueden consumir compuestos ácidos presentes en el agua residual, lo que disminuye la concentración de protones (H⁺) y eleva el pH según Metcalf y Eddy (1991). López et al. (2017), menciona que la acidez de un medio altera las biomoléculas, y por lo tanto la actividad de los microorganismos. Para el proceso de lodos activados, el rango óptimo de pH se sitúa entre 7.0 y 8.5. Cuando el pH se encuentra fuera de este intervalo, la actividad biológica disminuye de manera similar a como sucede con las variaciones de temperatura (p.314).

Finalmente, se puede concluir que el agua se mantuvo con pH ligeramente neutro y las mediciones se sitúan por debajo de los límites máximos permisibles del decreto supremo 03-2010-MINAM, de esta manera se puede concordar con Reyes Araujo (2020), que indica que el sistema de tratamiento aplicado ha logrado mantener los niveles de los parámetros evaluados dentro de los límites permitidos por la normativa ambiental vigente.

Figura 14

Concentración promedio de pH, en la entrada y salida del sistema MBBR y comparación con los LMPs



Al llevar a cabo el análisis con el método estadístico t-student aplicado a los resultados obtenidos para el pH y utilizar un nivel de confianza del 95 %, se obtuvo un valor $p = 0.002$. Este valor, al ser comparado con el valor de significancia establecido en 0.05, reveló una diferencia estadísticamente significativa. El estadístico indica que, si hay significancia al aplicar el tratamiento con el reactor de biopelícula de lecho móvil y es eficiente en la neutralización del pH por lo que se recomienda esta tecnología para el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 13

Prueba t para medias de dos muestras relacionadas para el pH

	Diferencias relacionadas						t	gl	Sig. (bilat)
	Media	Desv. típico	Error típ. de la media	95 % Intervalo de confianza para la diferencia					
				Inf.	Sup.				
pH de ENTRADA al MBBR – pH de SALIDA del MBBR	-.60	.19	.08	-.82	-.36	-7.11	4	.002	

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- La evaluación de las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil ha demostrado una mejora en la calidad del agua residual alcanzando una eficiencia total 77.45 % en la remoción de los contaminantes evaluados (DBO₅, DQO, SST, A y G) y también manteniendo el pH dentro de los límites máximos permisibles.
- Se ha logrado controlar y mantener de manera constante las condiciones de operación del reactor MBBR. Esto incluye la carga orgánica (CO)= 49.19 mg/L, área de superficie de soporte requerida (SALR)= 7.5 g/m²-d, volumen del tanque reactor (VTR)= 13.66 litros, tiempo de retención hidráulica (TRH)= 1.38 horas y con una cantidad de aire suministrado (CAS)= 406.66 L/h.
- Se ha obtenido la evaluación de los parámetros físicoquímicos (DBO₅, DQO, SST, pH y A y G), donde se observa la disminución en la concentración de contaminantes, como la DBO₅ que disminuye de 230.44 mg/L a 63.26 mg/L, la DQO de 436.38 mg/L a 173.26 mg/L, los SST de 411.20 mg/L a 31.90 mg/L, los aceites y grasas de 41.22 mg/L a 6.30 mg/L y el pH de 7.04 a 7.64, respectivamente.
- Comparando los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles establecidos por el DS N° 003-2010-MINAM, la investigación demostró que el reactor de biopelícula de lecho móvil alcanzó que todos los parámetros analizados estén por debajo de lo establecido en dicho decreto, pero aún no se considera un agua de

categoría 3 por que no cumple con el estándar de calidad ambiental para los parámetros fisicoquímicos (DBO₅, DQO, SST y A y G); solo estría cumpliendo para par el pH ya que se encuentra dentro del rango establecido esto según el DS 004-2017-MINAM.

5.2. Recomendaciones

- Llevar a cabo una evaluación regular y sistemática del crecimiento de la biopelícula en los biocarriers como una medida previa al inicio de los monitoreos. Este paso inicial es importante para obtener información sobre la salud y el rendimiento del sistema de tratamiento biológico.
- Utilizar un sistema de aireación con una transferencia de oxígeno, mayor a los 3 L/min en reactores de escala piloto para evitar la existencia de las zonas muertas dentro del tanque reactor, por ende, se disminuye el movimiento de los biocarriers generando menor eficiencia de la tecnología.
- El llenado de los carriers, no debe superar el 50 % del volumen en el tanque reactor para evitar problemas aerodinámicos.
- Continuar con las investigaciones sobre el reactor de biopelícula de lecho móvil, aprovechando su éxito en experimentos a escala de laboratorio y probando con efluentes industriales.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS

- Balarezo Sánchez, K. Á. (2018). *Evaluación del sistema biológico MBBR en la ampliación de capacidad de tratamiento en Ptari existente para aguas residuales de la industria de alimentos* [Universidad Nacional Agraria La Molina].
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/3200>
- Bengtson, H. (2017). *MBBR Wastewater treatment processes*. 2017, 45.
<https://www.engineeringexcelspreadsheets.com/>
- Bidatek. (2021). Tratamiento contenerizado de agua residual con tecnología MBBR. Bidatek.
<https://www.bidatek.com/es/plantas-contenerizadas-mbbr/>
- Briones García, L. N. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes fecales y Escherichia coli, en Celendín – Cajamarca*. [Universidad Nacional de Cajamarca].
<https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3459/TESIS%20LENIN%20BRIONES%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Cantarero Domene, A. (2019). *Estudio de un sistema Moving Bed Bioreactor (MBBR) con Carriers fabricados en impresión 3D para la optimización del tratamiento de aguas residuales textiles*. [Master thesis, Universitat Politècnica de Catalunya].
<https://upcommons.upc.edu/handle/2117/171247>

- Dueñas Israel, D. B. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento asistido de biopelículas para la remoción de PCBs en aguas residuales*. [Universidad de Chile].
<https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/173457>
- 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 palma*. [Universidad Internacional SEK].
<https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/2549>
- Genesis, T. W. (2019, junio 7). Pros y contras de un biorreactor de lecho móvil. Genesis Water Technologies. <https://es.genesiswatertech.com/entrada-en-el-blog/Pros-y-contras-de-un-biorreactor-de-lecho-m%C3%B3vil/>
- Gutiérrez, E., & Vladimirovna, O. (2016). *Estadística inferencial I para ingeniería y ciencias* (Primera edición, Vol. 1). Patria, S.A. de C.V.
<http://biblioteca.univalle.edu.ni/files/original/4bee2ce5589a0b8ae82ed363b2bac6206dd28ab1.pdf>
- Gutiérrez Murillo, D., & García Guzman, F. N. (2018). *Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aerobio para tratamiento de agua residual doméstica*. [Universidad Militar Nueva Granada]. <http://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/18000>
- Kemmer, F. N., & Maccallion, J. (1998). *Manual del agua: Su naturaleza, tratamiento y aplicaciones, Tomo I* (Primera, Vol. 1–I). https://ingenio.upm.es/primo-explore/fulldisplay/34UPM_ALMA21165448860004212/34UPM_VU1
- López, C., Buitrón, G., García, H. A., & Cervantes, F. J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño* (1a ed., Vol. 16). IWA Publishing.
<https://iwaponline.com/ebooks/book/707/>

- López del Pino, S. J., & Martín Calderón, S. (2017). UF 1666—*Depuración de aguas residuales* (5.1). Editorial Elearning, S.L.
<https://books.google.es/books?id=9cJWDwAAQBAJ>
- Luna Fuentes, F. I. (2019). *Evaluación de la influencia de la proporción de llenado en un biorreactor de lecho móvil con Biopelícula (MBBR) utilizando Saccharomyces Cerevisiae para la Biodepuración de colorante en efluentes textiles*. [Universidad Católica de Santa María]. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/9698>
- Madan, S., Madan, R., & Hussain, A. (2022). Avance en el tratamiento biológico de aguas residuales utilizando un reactor híbrido de biopelícula de lecho móvil (MBBR): Una revisión. *Applied Water Science*, 12(6), 141. <https://doi.org/10.1007/s13201-022-01662-y>
- Metcalf, & Eddy, I. (1991). *Ingeniería de las aguas residuales: Tratamiento, vertido y reutilización* (3rd ed). McGraw-Hill.
- MINAM. (2009). Tratamiento y reúso de aguas residuales. *En Manual para Municipios Ecoeficientes* (Primera, Vol. 1, p. 179).
<https://sinia.minam.gob.pe/documentos/manual-municipios-ecoeeficientes>
- Moeller, G., Sandoval, L., Ramírez, E., Cardoso, L., Escalante, V. E., & Tomasini, A. C. (2009). *Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de lodos activados* (Séptima edición, Vol. 1). <http://repositorio.imta.mx/handle/20.500.12013/1657>
- Norma OS.090, 022-2009 VIVIENDA DS 21 (2009).
[https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con4_uibd.nsf/\\$\\$ViewTemplate%20for%20Documentos?OpenForm&Db=1F31C6872B6FC0B205257DC7005E49B5&View=yyy](https://www2.congreso.gob.pe/Sicr/CenDocBib/con4_uibd.nsf/$$ViewTemplate%20for%20Documentos?OpenForm&Db=1F31C6872B6FC0B205257DC7005E49B5&View=yyy)

- Ochoa Foliaco, M. C. (2021). *Evaluación de la tratabilidad de nutrientes del agua residual doméstica de la Universidad EIA por medio de un biorreactor de lecho fluido MBBR* [Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/3301>
- Odegaard, H. (2006). Innovations in wastewater treatment: The moving bed biofilm process. *Water science and technology : a journal of the International Association on Water Pollution Research*, 53, 17–33. <https://doi.org/10.2166/wst.2006.284>
- OMS. (2018). *Progresos en el tratamiento y el uso de las aguas residuales de manera adecuada: Prueba piloto de la metodología de monitoreo y primeras constataciones sobre el indicador 6.3.1 de los ODS*. Organización Mundial de la Salud. <https://apps.who.int/iris/handle/10665/275972>
- Orozco Jaramillo, A. (2014). *Bioingeniería de aguas residuales: Vol. II* (Primera edición). Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Am. http://www.sancristoballibros.com/libro/bioingenieria-de-aguas-residuales-_71564
- Quinteros Sanclemente, S., Jorge. (2019). *Diseño de un sistema de tratamiento para efluentes domésticos basado en metodología MBBR (Moving Bed Biofilm Reactor) a escala piloto*. [bachelorThesis, Universidad de las Américas]. <https://dspace.udla.edu.ec/handle/33000/13457>
- Quiroz, S., Menéndez, C., & Izquierdo, E. (2019). *Tratamiento de agua y aguas residuales: Vol. I* (UTM-Universidad Técnica de Manabí). https://www.utm.edu.ec/ediciones_utm/component/content/article/24-libros/729-tratamiento-de-aguas-residuales?Itemid=101
- Quispe Cotrina, F. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín—Cajamarca* [Universidad Nacional de Cajamarca]. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3461>

- Quispe, M. L., Piñas, L. C., Del Valle, J. R., & Aguirre, F. (2020). *Aplicaciones tecnológicas de tratamiento de aguas residuales* (Primera edición). Voces de la Educación. www.flacsoandes.edu.ec
- Ramalho, R. S. (1977). *Introduction to wastewater treatment processes* (Primera edición, Vol. 1). Academic Press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780125765503/introduction-to-wastewater-treatment-processes>
- Reyes Araujo, W. (2020). *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma—AQUAFIL* [Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/15532>
- Rojas, R. (2002). *Gestión integral de tratamiento de aguas residuales*. 19. <https://www.academia.edu/37172484>
- SENAMHI. (2023, diciembre). *Registro de datos meteorológicos de la estación meteorológica Celendín*. [Meteorológica]. SENAMHI. <https://www.senamhi.gob.pe/site/descarga-datos/>
- Sierra Ramírez, C. A. (2011). *Calidad del agua. Evaluación y diagnóstico* (1a ed.). Sello Editorial de la Universidad de Medellín. <https://repository.udem.edu.co/handle/11407/2568>
- SUNASS. (2022). *Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) en el ámbito de las empresas prestadoras 2022*. SUNASS. https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2022/06/Informe-de-diagnostico-de-las-Plantas-de-Tratamiento-de-Aguas-Residuales-PTAR_VdigitalConcomentario.pdf

- Valdez Alba, E. C., & Vázquez González, A. B. (2003). *Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales* (I, Vol. 1). Fundación ICA.
www.fundacion-ica.org.mx
- Vieira, D., Volschan, J. I., & Pacheco, J. E. (2011). Comportamento e desempenho do processo reator biológico com leito móvel (mbbr) para a remoção da matéria orgânica e compostos nitrogenados. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, desarrollo y práctica*, 12–26.
<https://revistas.unam.mx/index.php/aidis/article/view/26008>
- Wang, S., Parajuli, S., Sivalingam, V., & Bakke, R. (2020). Biofilm in Moving Bed Biofilm Process for Wastewater Treatment. En S. Dincer, M. Sümengen Özdenefe, & A. Arkut (Eds.), *Bacterial Biofilms*. IntechOpen.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.88520>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	METODOLOGÍA
¿Cómo influyen las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil en la mejora de la calidad del agua residual de Celendín - 2023?	<p>- Objetivo general</p> <p>- Evaluar las condiciones de operación de un reactor de biopelícula de lecho móvil para mejorar la calidad del agua residual de Celendín - 2023.</p> <p>- Objetivos específicos</p> <p>- Controlar las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil: Carga orgánica (CO), área de superficie de soporte requerida (SALR), volumen del tanque reactor (VTR), tiempo de retención hidráulica (TRH) y cantidad de aireación (CAR).</p> <p>- Evaluar los parámetros fisicoquímicos (DBO5, DQO, SST, pH y AG) de las aguas residuales después del tratamiento y comparar con los límites máximos permisibles establecidos por el D.S. N° 003-2010-MINAM para validar la eficiencia del reactor de biopelícula de lecho móvil.</p>	Las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil tienen una efectividad mayor al 70 % en la mejora de la calidad del agua residual de Celendín.	<p>Variable independiente:</p> <p>Las condiciones de operación del reactor de biopelícula de lecho móvil.</p> <p>Variable dependiente:</p> <p>La calidad del agua residual.</p>	<p>- Tipo de investigación</p> <p>Según la fuente: La presente investigación es de campo</p> <p>Por su finalidad: La presente investigación es aplicada</p> <p>Por su medida: Es cuantitativa por los resultados obtenidos</p> <p>Por su definición de alcance: La investigación es explicativa</p> <p>- Diseño de la investigación</p> <p>El diseño de investigación del presente proyecto es de tipo experimental el cual se trata de un diseño de preprueba/posprueba con un solo grupo.</p> <p style="text-align: center;">$G \quad 0_1 \quad X \quad 0_2$</p> <p style="text-align: center;">Donde:</p>

G: Grupo de sujetos (agua residual de la PTAR Celendín)

X: Tratamiento, estímulo o condición experimental (reactor de biopelícula de lecho móvil)

0₁,0₂: Medición de variables pre prueba y post prueba (monitoreos).

Población: La población está representada por el agua residual del afluente de la PTAR Celendín con un caudal diario de 1674 m³.

Muestra: La muestra está dada por la representación de 200 L de agua residual diario, la que es captada directamente del pretratamiento de la PTAR en funcionamiento.

Anexo 2. Ficha técnica del carrier

FLOWEN

FICHA TÉCNICA

CATEGORIA
BIOMEDIA O CARRIER
MARCA
FLOWEN
MODELO
FLOWEN



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

Los medios filtrantes se pueden utilizar en proyectos de tratamiento de aguas residuales del proceso MBBR y BAF, Tratamiento bioquímico de agua recuperada, Nitrógeno del río, eliminación de fósforo, Acuicultura en la eliminación de nitrógeno amoniacal, agua purificación, relleno biológico torre de desodorización biológica, municipios, energía, farmacéutica, química, galvanoplastia, metalurgia, maquinaria, fabricación de papel, impresión y teñido, medicina, procesamiento de alimentos, acuicultura.

- Son materiales estrictamente seleccionados y modificación especial: HDPE virgen como materia prima con un aditivo de fórmula especial que incluye genes UV e hidrófilos, grado alimenticio de la FDA.
- Diseño especial de superficie, mayor capacidad de crecimiento de biopelículas;
- Excelente resistencia al impacto

ÁREA SUPERFICIAL ACTIVA	>1200 m ² /m ³
COLOR	Blanco
DIÁMETRO	25mm
ESPESOR	5mm
SOLUBILIDAD EN AGUA	Nula
DENSIDAD	0.94 – 0.98 g/cm ³ aprox.
ESPERANZA DE VIDA	>25 años
MATERIAL	HDPE Virgen
IMAGEN REFERENCIAL	

Imagen referencial

Anexo 3. Cálculos realizados para la evaluación de la eficiencia del reactor

DATOS

$Q_m = 200$ l/día **8.3** l/h
 $DBO_5 = 245.95$ mg/l
 $SALR = 7.5$ g/m²/día

138 ml/min

Área del carrier = 1200 m²/m³
 % llenado carrier = 40% %
 % vacío carrier = 60% %
 Proporción = 1.3
 Profundidad de agua residual en el tanque = 0.2 m

*- Determinamos la carga orgánica

$Q_{DBO_5} = 49.1900$ g/día

*- Determinamos el área superficial del carrier

$A_{sc} = 6.5587$ m²

*- Determinamos el volumen del carrier

$V_c = 5.4656$ L 5465.6 Cm³

*- Determinamos el volumen del tanque

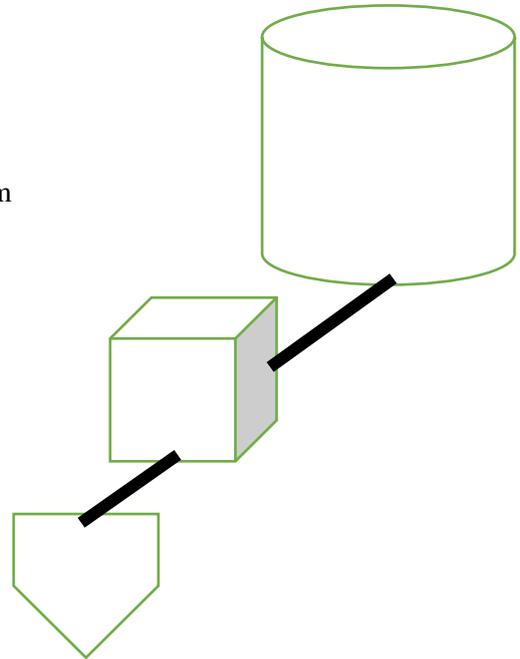
$V_t = 13.66388889$ L 13663.9 Cm³

*- Determinamos el volumen líquido del tanque

$V_L = 11.48$ L 11477.7 Cm³

*- Determinamos el tiempo de retención hídrica

$TRH = 0.057$ día 1.38 hora 83 MINUTOS



*- Diseño del tanque

W=	23	cm
L=	30	cm
H=	20	cm
R=	1.3	

Ancho del tanque.

$$W = \sqrt{\frac{Va}{R.H}}$$

*- Agua en el tanque

W=	21	cm
L=	27	cm
H=	20	cm
r=	1.3	

Largo del tanque.

$$L = \frac{Va}{W.H}$$

DATOS

Qm=	200	l/dia
DBO5=	245.95	mg/l
SALR=	7.5	g/m2/dia
Área del carrier=	1200	m2/m3
% llenado carrier=	40%	%
% vacío carrier=	60%	%
Proporción =	1.3	
Transferencia de oxígeno del equipo =	2%	
Concentración másica de oxígeno =	21%	

*- Volumen del tanque

VT=	13.66
-----	-------

*- Determinamos el consumo de oxígeno

Co=	0.049 Kg/d
-----	------------

*- Determinamos el Suministro de aire requerido

Caire=	9.76 m3/d
Caire=	406.663 l/h

- Demanda bioquímica de oxígeno DBO₅

$$e = \frac{DBO5i - DBO5f}{DBO5i} * 100$$

- Demanda química de oxígeno DQO

$$e = \frac{DQOi - DQOf}{DQOi} * 100$$

- Sólidos Suspendidos Totales

$$e = \frac{SSTi - SSTf}{SSTi} * 100$$

- pH

$$e = \frac{pHi - pHf}{pHi} * 100$$

- Aceites y Grasas

$$e = \frac{AGi - AGf}{AGi} * 100$$

Anexo 4. Informes de resultados de análisis emitidos por el Laboratorio Regional del Agua



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231298

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	ELVER CHACON DÍAZ		
Dirección	-		
Persona de contacto	ELVER CHACON DÍAZ	Correo electrónico	echacond15@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	16.10.23	Hora de Muestreo	10:10 a 10:12
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	02		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Físicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	Celendín- Cajamarca		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-1129	Cadena de Custodia	CC - 1298 - 23	
Fecha y Hora de Recepción	16.10.23	16:50	Inicio de Ensayo	16.10.23 16:57
Reporte Resultado	25.10.23	16:50		

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO
Edder Miguel FAU 20453744168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 25/10/2023 05:19 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 25 de octubre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231298

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			PM1- Entrada- MBBR	PM2- Salida- MBBR	-	-	-	-
Código Laboratorio			10231298-01	10231298-02	-	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	-	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	6.93	7.55	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	440.0	72.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	465.8	144.7	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	933.4	384.1	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	83.9	12.5	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744108 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 25/10/2023 05:10 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 25 de octubre de 2023



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231298

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
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
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.

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 conservaran 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 acreditacion 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 octubre de 2023



Firmado digitalmente por
 NEYRA JAICO Edder Miguel
 FAU 20453744188 soft
 Motivo: Visto en señal de conformidad
 Fecha: 25/10/2023 05:18 p.m.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231332

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre	ELVER CHACON DIAZ		
Dirección	-		
Persona de contacto	ELVER CHACON DIAZ	Correo electrónico	echacond15@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo	20.10.23	Hora de Muestreo	9:00 a 9:10
Responsable de la toma de muestra	Cliente	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	Puntual		
Número de puntos de muestreo	02		
Ensayos solicitados	Químicos Instrumentales- Físicoquímicos		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación		
Referencia de la Muestra:	-		

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato	SC-1419	Cadena de Custodia	CC - 1332 - 23
Fecha y Hora de Recepción	20.10.23	15:40	Inicio de Ensayo 20.10.23 15:46
Reporte Resultado	31.10.23	16:50	

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO
Edder Miguel FAU 20453744168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 31/10/2023 05:25 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 31 de Octubre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231332

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra	PM1- Entrada- MBBR	PM2- Salida- MBBR	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	10231332-01	10231332-02	-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	-	-	-	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	7.27	7.79	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	308.0	11.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2.6	183.4	33.6	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	423.6	107.1	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	24.6	<LCM	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edder Miguel
FAU 20453744188 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 31/10/2023 05:25 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 31 de Octubre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231332

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
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
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.

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 conservaran 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, 31 de Octubre de 2023



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edder Miguel
FAU 20463744168 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 31/10/2023 05:25 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231343

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ELVER CHACON DIAZ**

Dirección -

Persona de contacto **ELVER CHACON DIAZ** Correo electrónico echacond15@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **23.10.23** Hora de Muestreo **9:00 a 9:10**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **02**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos**

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

Referencia de la Muestra: **Celendin- Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1452** Cadena de Custodia **CC - 1343 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **23.10.23 17:07** Inicio de Ensayo **23.10.23 17:15**

Reporte Resultado **02.11.23 16:35**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO
Edder Miguel FAU.20453744168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02/11/2023 04:57 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 02 de Noviembre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231343

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			PM1- Entrada-MBBR	PM2- Salida-MBBR	-	-	-	-
Código Laboratorio			10231343-01	10231343-02	-	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	-	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	6.96	7.87	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	168.0	26.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	180.0	63.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	407.1	153.6	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	32.9	5.7	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft
Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 02/11/2023 04:51 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 02 de Noviembre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231343

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
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
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.

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 conservaran 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 acreditación 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, 02 de Noviembre de 2023



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744108 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 02/11/2023 04:50 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 10231373

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ELVER CHACON DIAZ**

Dirección -

Persona de contacto **ELVER CHACON DIAZ** Correo electrónico echacond15@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **30.10.23** Hora de Muestreo **10:39 a 10:57**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **02**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Físicoquímicos**

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

Referencia de la Muestra: **Celendin- Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1462** Cadena de Custodia **CC - 1373 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **31.10.23 10:00** Inicio de Ensayo **31.10.23 10:06**

Reporte Resultado **10.11.23 16:10**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS
Juan Jose FAU 20453744168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 10/11/2023 05:19 p. m.

Juan Colina Venegas
Especialista de Gestión de Calidad
CBP: 10220

Cajamarca, 10 de Noviembre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231373

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra	PM1- Entrada- MBBR	PM2- Salida- MBBR	-	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	10231373-01	10231373-02	-	-	-	-	-	-
Matriz	Residual	Residual	-	-	-	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	-	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	6.96	7.45	-	-	-	-
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	2.5	900.0	22.5	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	187.0	33.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	210.7	103.6	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	33.1	6.9	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON, Freddy Humberto
FAU 20453744188 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 10/11/2023 05:14 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 10231373

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendedos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
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
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.

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 conservaran 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 Noviembre de 2023



Firmado digitalmente por
COLINA VENEZAS Juan Jose
FAU/20453744188 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 10/11/2023 05:19 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11231386

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **ELVER CHACON DIAZ**

Dirección **-**

Persona de contacto **ELVER CHACON DIAZ** Correo electrónico echacond15@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **03.11.23** Hora de Muestreo **9:20 a 9:25**

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

Procedimiento de Muestreo **-**

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **02**

Ensayos solicitados **Químicos Instrumentales- Físicoquímicos**

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

Referencia de la Muestra: **Celendin- Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1480** Cadena de Custodia **CC - 1386 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **03.11.23 14:50** Inicio de Ensayo **03.11.23 15:00**

Reporte Resultado **15.11.23 11:05**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO
Edder Miguel FAU 20453744108 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 15/11/2023 02:46 p. m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 15 de Noviembre de 2023

INFORME DE ENSAYO N° IE 11231386

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			PM1- Entrada- MBBR	PM2- Salida- MBBR	-	-	-	-
Código Laboratorio			11231386-01	11231386-02	-	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	-	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	-	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	7.08	7.52	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	240.0	28.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	136.0	42.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	207.1	117.9	-	-	-	-
Aceites y Grasas	mg/L	1.7	31.6	5.1	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 15/11/2023 11:40 a. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 15 de Noviembre de 2023



LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 11231386

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24 th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspensos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
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
Aceites y Grasas	mg/L	EPA Method 1664 Rev. B. 2010: n-Hexane Extractable Material by Extraction and Gravimetry.

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 conservaran 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 acreditacion 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, 15 de Noviembre de 2023



Firmado digitalmente por
 COLINA VENEGAS Juan Jose
 FAU 20453744168 soft
 Motivo: Visto en señal de
 conformidad
 Fecha: 15/11/2023 01:00 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
 DEL AGUA**



PERÚ

Ministerio
de la ProducciónInstituto Nacional de Calidad
INACAL

Dirección de Acreditación

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para mujeres y hombres"
"Año de la Lucha contra la Corrupción y la Impunidad"

San Isidro, 26 de diciembre de 2019

CÉDULA DE NOTIFICACIÓN N° 1000 -2019-INACAL/DA

Señor

Alex Martín Gonzales Anampa

Gerente General

Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional Cajamarca

Jr. Santa Teresa Jornet N° 351 – Urb. La Alameda

Cajamarca -

Asunto : Mantenimiento de la Acreditación – Primer Seguimiento

Referencia : Expediente N° 0151-2017-DA

Cumplo con notificar lo siguiente: **VISTO** los resultados de,

- Laboratorio de ensayo: Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional Cajamarca
- Ubicado en: Jr. Santa Teresa Jornet N° 351 – Urb. La Alameda
- En su proceso de: Primer seguimiento



Y **CONSIDERANDO** que cumple con los criterios de acreditación de la NTP-ISO/IEC 17025:2006 y los documentos normativos de la Dirección de Acreditación del Instituto Nacional de Calidad¹; **MANTENGASE** la **ACREDITACIÓN** a **Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional Cajamarca**, como Laboratorio de ensayo, conforme a la aprobación del Comité Permanente de Acreditación que consta en el acta² de fecha 20 de diciembre de 2019, según lo establecido en el numeral 6.1 del Procedimiento General de Acreditación.



Lo que notifico a usted conforme a Ley.

Atentamente.

ESTELA CONTRERAS JUGO

Directora

Dirección de Acreditación

DWC/FCY/JVJ

Adj. Informe Ejecutivo N° 0567-2019-DA

¹ INACAL-DA² Acuerdo N°19-CPA-29-2019

Anexo 5. Panel fotográfico**Figura 15**

Construcción del reactor de biopelícula de lecho móvil



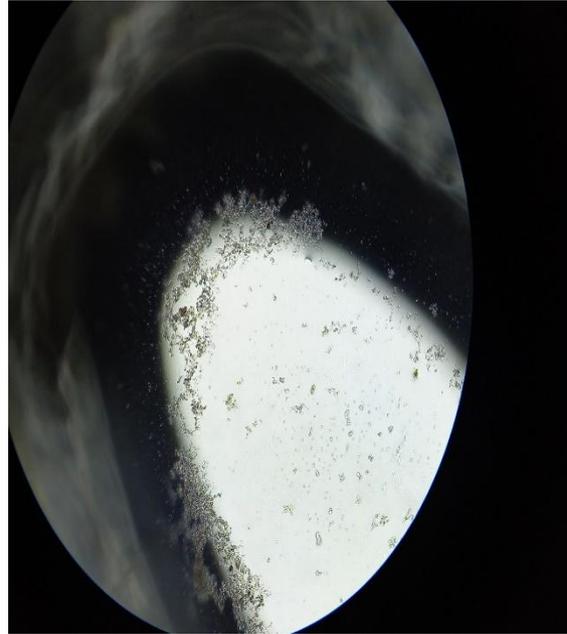
Figura 16

Construcción y prueba hidráulica del sistema



Figura 17

Vista de crecimiento de la biopelícula en el biocarrier

**Figura 18**

Evaluación del crecimiento de la biopelícula laboratorio ambiental UNC

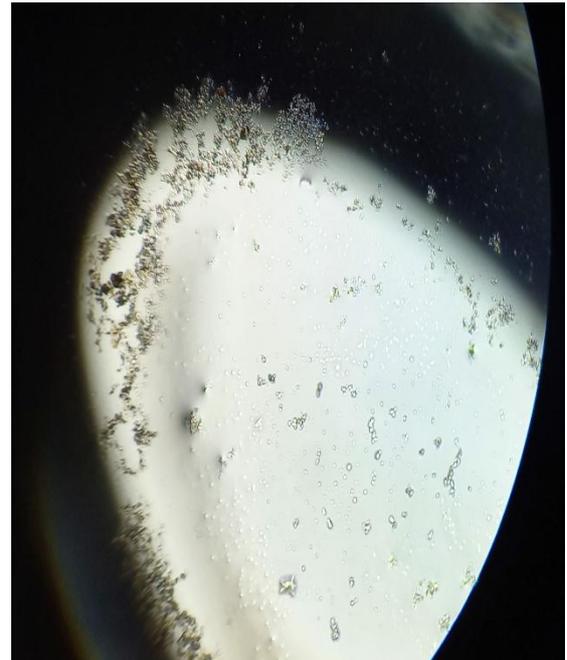


Figura 19

Rotulado de las muestras de agua residual

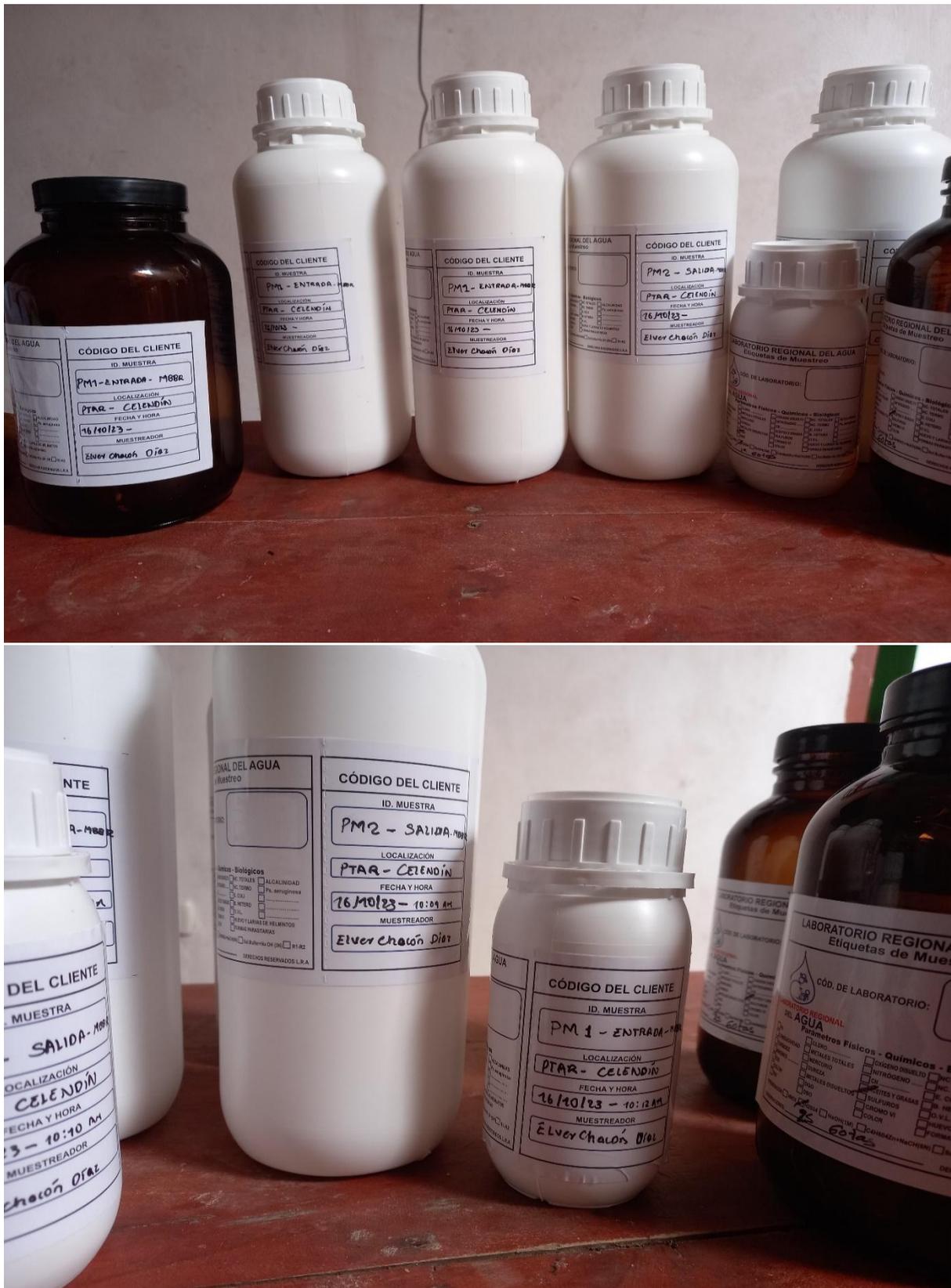


Figura 20

Toma de muestras antes del tratamiento con el MBBR



Figura 21

Toma de muestras después del reactor de biopelícula de lecho móvil

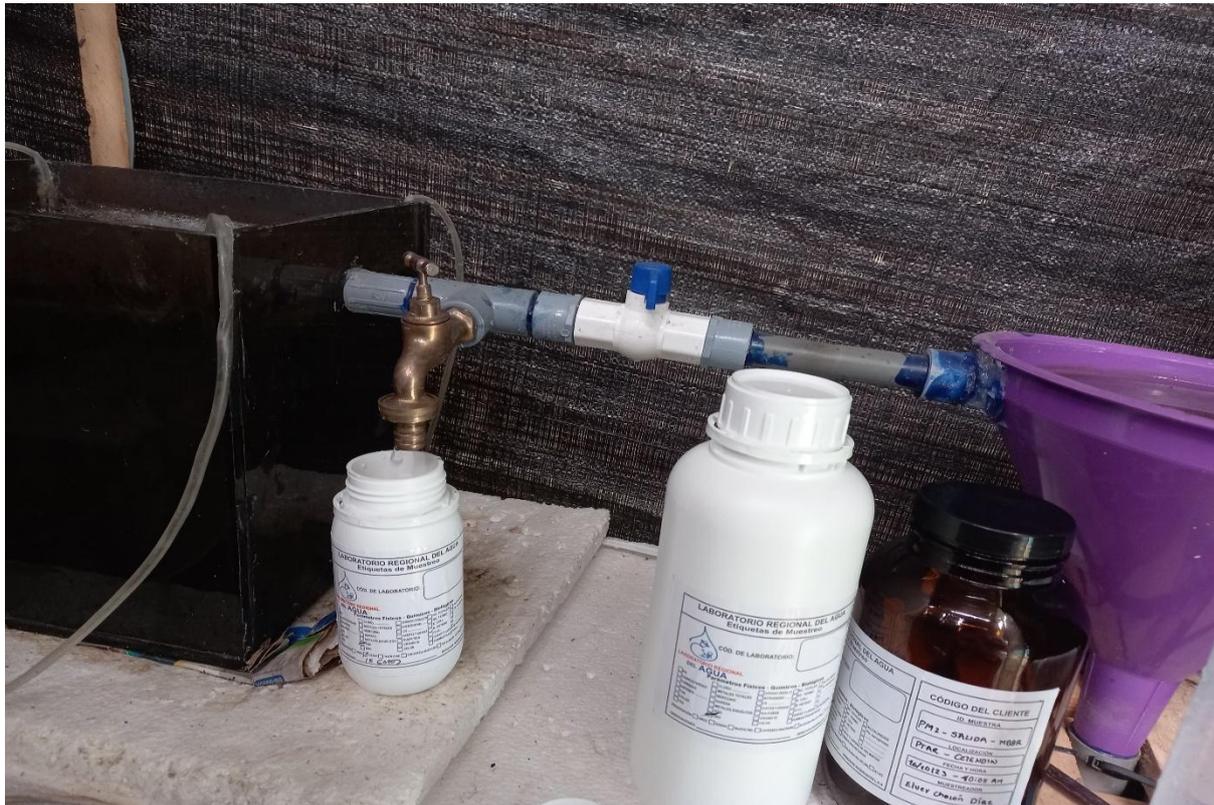


Figura 22

Transporte de muestras al Laboratorio Regional del Agua - Cajamarca



Anexo 6. Permiso para realizar investigación en la PTAR Celendín



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
UNIDAD EJECUTORA DE PROGRAMAS REGIONALES-PROREGIÓN
DIRECCIÓN EJECUTIVA



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

Cajamarca, 31 de agosto de 2023

CARTA N° 62 -2023-GR-CAJ/PROREGIÓN/DE

Señor
Bach. Elver Chacón Díaz
Bach. Ingeniería Ambiental

echcond15_2@unc.edu.pe

Celendín



Asunto : Se Autoriza realizar Estudios en PTAR Celendín

Ref. : a) Informe N° 342-2023-GR.CAJ/PROREGION/UI
b) Carta N° 059-2023-GR.CAJ-PROREGION/UI/VTV
c) Solicitud de fecha 18 de agosto de 2023

Es grato dirigirme a usted para saludarlo cordialmente, así mismo en virtud a la **Solicitud de fecha 18 de agosto de 2023**; referente al PIP "Mejoramiento y Ampliación de los Sistemas de Agua Potable, Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín", hago de su conocimiento de la **ACEPTACIÓN** del acceso a la planta en mención; cabe precisar que se le brindará las facilidades respectivas e inherentes a la realización de sus estudios de tesis, para realizar coordinaciones comunicarse con el Ing. Vítor Tafur Villate, al cel. 948465662.

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente,



Ing. Cesar Augusto Plasencia Fernández
Director Ejecutivo
PROREGIÓN
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA

C.c.
UI
Archivo
CAPF/zmba



GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
UNIDAD EJECUTORA DE PROGRAMAS REGIONALES-PROREGION
UNIDAD DE INGENIERIA



"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"

INFORME N° 342 - 2023 - GR.CAJ/PROREGION/UI



A: ING. CÉSAR AUGUSTO PLASENCIA FERNANDEZ
DIRECTOR EJECUTIVO - PROREGION.

DE: ING. JAIME TAPIA BASAURI
JEFE DE LA UNIDAD DE INGENIERÍA.

ASUNTO: REMITO AUTORIZACION PARA REALIZAR ESTUDIOS EN PTAR CELENDIN.

REF.: a) CARTA N° 059-2023-GR.CAJ-PROREGION/UI/VTV (31.08.2023)
b) SOLICITUD S/N (18.08.2023)
c) "MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDIN".

FECHA: CAJAMARCA, 31 DE AGOSTO DE 2023.

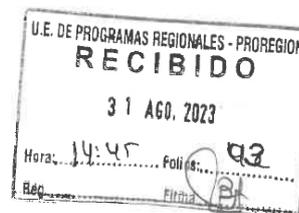
Mediante el presente me dirijo a Usted para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo, según carta de la referencia a), emitido por el Ing. Víctor Alejandro Tafur Villate, Coordinador de Obras de esta Unidad, donde emite pronunciamiento respecto a lo solicitado mediante documento de la referencia b), se **AUTORIZA**, el acceso para realizar **Estudio en la PTAR – CELENDIN**, asimismo, esta Jefatura, sugiere se **notifique al Bach. Ing. Elver Chacón Díaz**, con la finalidad informar dicha **AUTORIZACION** para realizar Estudio en PTAR – CELENDIN.

Es todo cuanto informo a Usted para su conocimiento y fines pertinentes.

Atentamente;

C.c.
Archivo
ITB/ijvb


 ING. JAIME TAPIA BASAURI
 JEFE DE LA UNIDAD DE INGENIERIA
 PROREGION
 GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA



ING. VICTOR ALEJANDRO TAFUR VILLATE

INGENIERO CIVIL - CIP. 260802

*"Año de la unidad, la paz y el desarrollo"***CARTA N°059 - 2023-GR.CAJ-PROREGION/UI/VTV**

A : ING. JAIME TAPIA BASAURI
JEFE DE LA UNIDAD DE INGENIERÍA

DE : Ing. VICTOR ALEJANDRO TAFUR VILLATE
Coordinador de Obra UI - PROREGION

ASUNTO : **AUTORIZACIÓN REALIZAR ESTUDIOS EN PTAR CELENDÍN**

REFERENCIA : a) DOCUMENTO S/N (18.08.2023)
b) "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN".

FECHA : Cajamarca, 31 de agosto de 2023.



Por medio del presente me dirijo a usted, para saludarlo cordialmente y al mismo tiempo en atención al proveído en el documento de la referencia a), donde se me solicita dar las facilidades para que el Bach. Ing. ELVER CHACÓN DÍAZ, ex alumno de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental, identificado con DNI N° 77683650, pueda realizar sus estudios de tesis en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales PTAR – Celendín, en tal sentido, en mi condición como responsable del PIP: "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CELENDÍN". **SE AUTORIZA**, el acceso a la planta en mención, y se informa que se brindará las facilidades respectivas e inherentes a la realización de sus estudios de tesis.

Por lo antes mencionado, se recomienda derivar el presente al Bach. Ing. ELVER CHACÓN DÍAZ, para los fines que estime pertinentes; sin perjuicio, que pueda tenerse una mejor apreciación u opinión de vuestro cargo - como jefe de la Unidad de Ingeniería de PROREGION, a la esbozada en el presente informe.

Es todo cuanto informo a usted para los fines que estime convenientes.

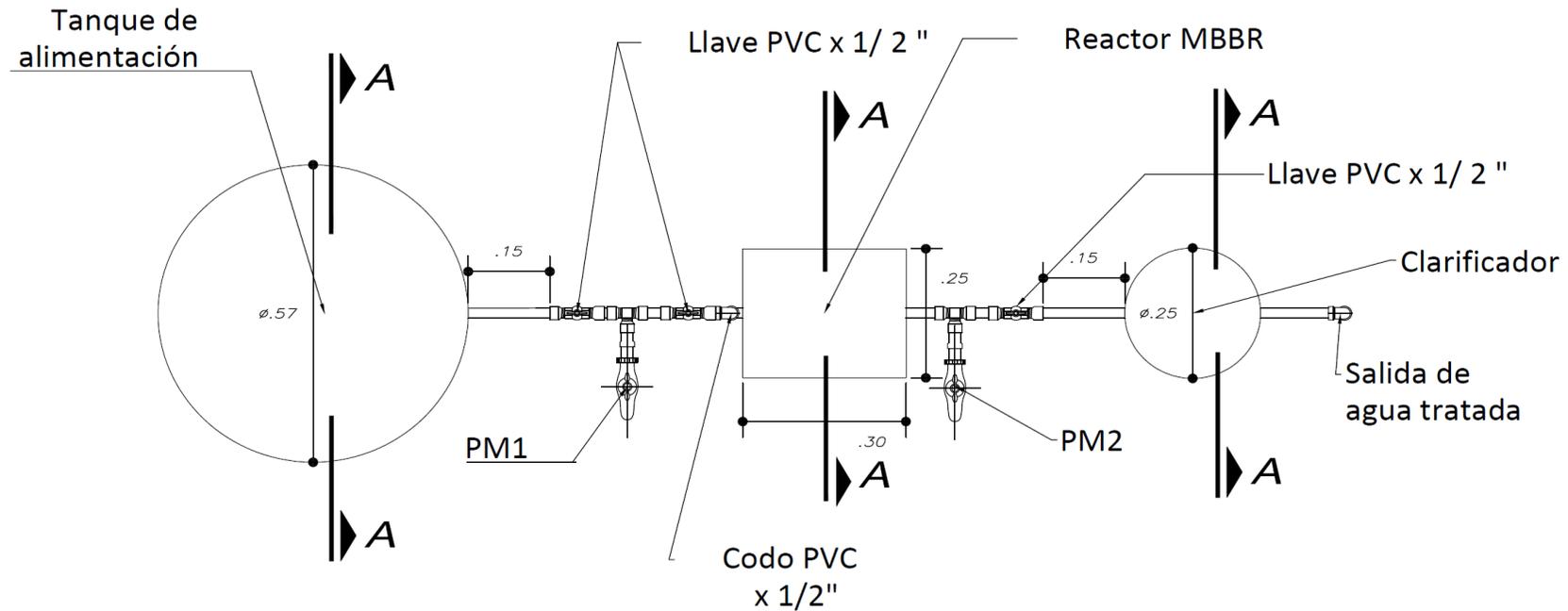
Atentamente,

PROVEIDO U.I.	
Atención.....	JSSELA
Asunto.....	ELABORAR INFORME
Fecha.....	31-08-23
Firma.....	[Firma]

[Firma]
VICTOR A. TAFUR VILLATE
INGENIERO CIVIL
CIP. 260802

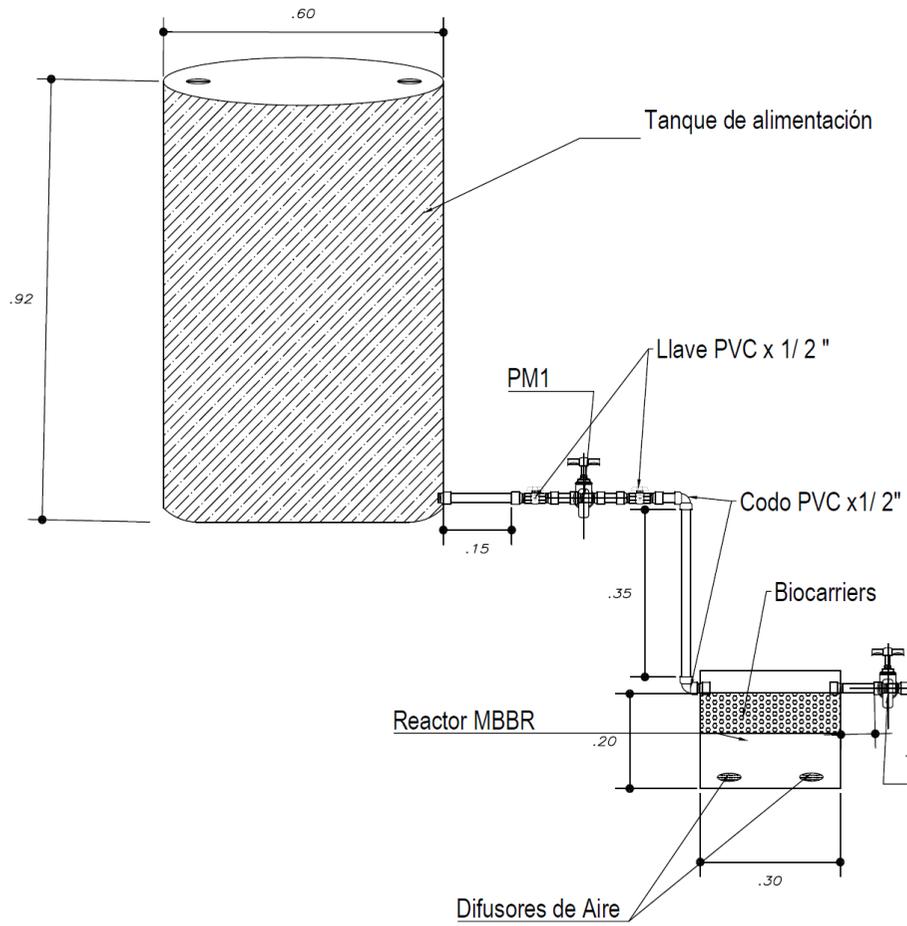
C.c
Archivos
VTV

Anexo 7. Planos del experimento



VISTA EN PLANTA

TESISTA:			
BACH. ELVER CHACÓN DÍAZ			
PROYECTO: CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA DE LECHO MÓVIL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN - 2023			
PLANO: VISTA EN PLANTA DEL SISTEMA MBBR			
DPTO: CAJAMARCA	PROV: CELENDIN	DIST: CELENDIN	REVISADO:
ASESOR: ING. GIOVANA E CHAVEZ HORN	ESCALA: 1/10	FECHA: AGO. 2023	P-01



CORTE A-A

CUADRO DE ACCESORIOS

ACCESORIOS DE SALIDA Y PASO		
Adaptador PVC Ø1/2"	unid	11.00
Codo Ø1/2" x 90° PVC	unid	4.00
Vál. paso PVC 1/2"	unid	4.00
Difusor de aire PVC Ø 1/4"	unid	3.00
Unión mixta PVC 1/2"	unid	4.00
Grifo Cromado 1/2"	unid	2.00
Tubo Ø1/2" PVC C-10	unid	1.00

TESISTA:			
BACH. ELVER CHACÓN DÍAZ			
PROYECTO: CONDICIONES DE OPERACIÓN DE UN REACTOR DE BIOPELÍCULA DE LECHE MÓVIL PARA MEJORAR LA CALIDAD DEL AGUA RESIDUAL DE CELENDÍN - 2023			
PLANO: CORTE A-A DEL SISTEMA MBBR			
DPTO: CAJAMARCA	PROV: CELENDIN	DIST: CELENDIN	REVISADO:
ASESOR: ING. GIOVANA E. CHAVEZ HORN:	ESCALA: 1/10	FECHA: AGO. 2023	P-02