

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Diseño experimental del tratamiento secundario con
tecnología MBBR para aguas residuales provenientes
del camal Municipal de Cotahuasi - La Unión -
Arequipa 2022**

Thania Patricia Mayta Ccapa
Rosa Gisela Quispe Yucra
Alexander Fermin Tito Luque

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Arequipa, 2023

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

A : FELIPE GUTARRA MEZA
Decano de la Facultad de Ingeniería
DE : José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis
ASUNTO : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis
FECHA : 15 de octubre de 2023

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: "DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI – LA UNIÓN- AREQUIPA 2022", perteneciente a los estudiantes THANIA PATRICIA MAYTA CCAPA; ROSA GISELA QUISPE YUCRA; ALEXANDER FERMIN TITO LUQUE, de la E.A.P. de INGENIERIA AMBIENTAL; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 11 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI N
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores SI N
(Nº de palabras excluidas: 0)
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI N

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



José Vladimir Cornejo Tueros
Asesor de tesis

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, THANIA PATRICIA MAYTA CCAPA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 77286417, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI – LA UNIÓN – AREQUIPA 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de OCTUBRE de 2023.



THANIA PATRICIA MAYTA CCAPA

DNI. No. 77286417

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, ROSA GISELA QUISPE YUCRA, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 73194898, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

5. La tesis titulada: "DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI – LA UNIÓN – AREQUIPA 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
6. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
7. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
8. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de OCTUBRE de 2023.



ROSÁ GISELA QUISPE YUCRA

DNI. No. 73194898

DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD

Yo, ALEXANDER FERMIN TITO LUQUE, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 72171325, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

9. La tesis titulada: "DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI – LA UNIÓN – AREQUIPA 2022", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
10. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
11. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
12. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

17 de OCTUBRE de 2023.



ALEXANDER FERMIN TITO LUQUE

DNI. No. 72171325

DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI – LA UNIÓN- AREQUIPA 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

11 %	10 %	4 %	4 %
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2 %
2	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	2 %
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
4	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	<1 %
5	repositorio.udh.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
6	SCAMEC S.A.C.. "PAP de los Componentes Auxiliares de la Central Hidroeléctrica La Virgen-IGA0020413", R.D. N° 0124-2022-MINEM/DGAAE , 2022 Publicación	<1 %
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	

		<1 %
8	idoc.pub Fuente de Internet	<1 %
9	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1 %
10	es.slideshare.net Fuente de Internet	<1 %
11	repositorio.uncp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
12	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
13	repositorio.uta.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
14	repositorio.unach.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
15	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "PAMA de la Planta de Procesamiento de Aceites Esenciales de Limón y Cáscara Deshidratada de Limón-IGA0015262", R.D. N° 715-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2021 Publicación	<1 %
16	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

17	Submitted to EP NBS S.A.C. Trabajo del estudiante	<1 %
18	EBM CONSULTORA EMPRESARIAL Y AMBIENTAL E.I.R.L.. "DAA de la Planta Industrial Dedicada a la Edición de Periódicos y Actividades de Impresión de la Empresa Grupo la República Publicaciones-IGA0016553", R.D. N°00500-2021-PRODUCE/DGAAMI, 2022 Publicación	<1 %
19	Submitted to Escuela Superior Politécnica del Litoral Trabajo del estudiante	<1 %
20	Submitted to Universidad Andina del Cusco Trabajo del estudiante	<1 %
21	repositorio.unac.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
22	repositorio.unp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
23	Submitted to Corporación Universitaria Iberoamericana Trabajo del estudiante	<1 %
24	EMA INGENIERIA E.I.R.L.. "Actualización del EIA-D Ampliación de la Infraestructura de Valorización de Residuos Sólidos del Ámbito	<1 %

No Municipal-IGA0013288", R.D. N° 00011-
2021-SENACE-PE/DEIN, 2021

Publicación

25	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %
26	repositorio.uap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
27	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1 %
28	repositorio.uisek.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
29	repository.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	<1 %
30	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
31	www3.vivienda.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
32	cdn.hornbach.de Fuente de Internet	<1 %
33	produccion-uc.bc.uc.edu.ve Fuente de Internet	<1 %
34	cdn.www.gob.pe Fuente de Internet	<1 %

35	<p>CONSORCIO FICHTNER GMBH & CO. KG - CONSULTORIA Y DIRECCION DE PROYECTOS - CYDEP S.A.S.. "DIA del Proyecto Relleno Sanitario para el Distrito de Pozuzo, Provincia de Oxapampa, Departamento de Pasco- IGA0000132", R.D. N° 484- 2014/DSB/DIGESA/SA, 2020 Publicación</p>	<1 %
36	<p>repositorio.unh.edu.pe Fuente de Internet</p>	<1 %
37	<p>repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet</p>	<1 %
38	<p>repositorio.usanpedro.edu.pe Fuente de Internet</p>	<1 %
39	<p>transparenciafiscal.edomex.gob.mx Fuente de Internet</p>	<1 %
40	<p>www.acuitlapilco.com Fuente de Internet</p>	<1 %
41	<p>www.smarh.eng.ufmg.br Fuente de Internet</p>	<1 %
42	<p>zagan.unizar.es Fuente de Internet</p>	<1 %
43	<p>Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante</p>	<1 %

44	ENVIRONMENTAL HYGIENE & SAFETY SRLTDA. "DAA de la Planta Industrial de Fabricación de Productos Metálicos para Uso Estructural-IGA0014849", R.D. N° 00331-2020-PRODUCE/DGAAMI, 2021	<1 %
Publicación		
45	María Vicenta Galiana Aleixandre. "Estudio experimental de minimización de la contaminación de efluentes de la industria de curtidos aplicando reutilización de baños residuales y tratamientos con procesos de membrana y biológicos", Universitat Politecnica de Valencia, 2010	<1 %
Publicación		
46	paginaspersonales.unam.mx	<1 %
Fuente de Internet		
47	www.manualdelombricultura.com	<1 %
Fuente de Internet		
48	Carrera, Julian. "Eliminación biológica de nitrógeno en un efluente con alta carga : estudio de los parámetros del proceso y diseño de una depuradora industrial /", Bellaterra : Universitat Autònoma de Barcelona,, 2004	<1 %
Fuente de Internet		
49	Edgardo Angulo M, Grey Castellar O, Ma Mercedes Cely B, Lilia Ibáñez S, Lidys Prasca	<1 %

M. "Decoloración de aguas residuales de una industria de pinturas por la microalga *Chlorella sp*", Revista MVZ Córdoba, 2017

Publicación

-
- 50 J. CESAR INGENIEROS & CONSULTORES S.A.C. <1 %
"MEIA Las Dunas que Incluye la Actualización y/o Modificación del EIA de las Concesiones Las Dunas y Dunas N°2; así como, la Integración de la Estrategia de Manejo Ambiental de Las Dunas, Dunas N°2 y Dunas 3 Segunda y los Propuestos en la MEIA Las Dunas-IGA0007017", R.D. N°319-2018-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI , 2020
Publicación
-
- 51 repositorioinstitucional.uabc.mx <1 %
Fuente de Internet
-
- 52 www.researchgate.net <1 %
Fuente de Internet
-
- 53 CONSULTEA S.A.C.. "Ampliación del EIA-D de la Planta de Tratamiento de Residuos Sólidos y Relleno de Seguridad en las Lomas de Huatiana-IGA0005387", R.D. N° 2117-2018/DCEA/DIGESA/SA, 2020 <1 %
Publicación
-
- 54 CONSULTORIA INTERNACIONAL EN INGENIERIA Y GESTION PARA EL DESARROLLO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA-CINYDE. "PMA del Reuso del Agua <1 %

Residual de la Unidad Productiva (Operativa) - Central Térmica Ventanilla con Propósito Doméstico (no incluye bebida ni alimentación), para su Adecuación a la Cuarta Disposición Complementaria Transitoria de Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos (D.S. N° 001-2010-AG)-IGA0001538", Oficio N° 3004-2013-MEM/AAE , 2020

Publicación

55 INGENIEROS AMBIENTALES S.A.C.. "DAA para su Planta de Trabajos en Piedra-IGA0003176", R.D. N° 335-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020

Publicación

56 Laura Settier Ramírez. "Envases activos portadores de microorganismos para la bioconservación de alimentos", Universitat Politecnica de Valencia, 2021

Publicación

57 RICSE CHUQUILLANQUI YSOLINA CLEOFE. "Plan de Recuperación de Área Degradada por Residuos Sólidos de Agua de las Vírgenes Distrito de El Tambo, Provincia de Huancayo, Departamento de Junín-IGA0017856", R.G.S.P. N° 255-2022-MPH/GSP, 2022

Publicación

58 ebin.pub

Fuente de Internet

59	repositorio.ug.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
60	repositorio.unesum.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
61	www.data.educacion.cdmx.gob.mx Fuente de Internet	<1 %
62	www.repositorio.upla.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
63	Dimitriou, E.. "Groundwater risk assessment at a heavily industrialised catchment and the associated impacts on a peri-urban wetland", <i>Journal of Environmental Management</i> , 200808 Publicación	<1 %
64	GESTION EN CONSULTORIA INTEGRAL Y MEDIO AMBIENTE S.A.C. - GESIM SAC. "DAA Colectiva de la Planta Campoy-IGA0002126", R.D. N° 034-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020 Publicación	<1 %
65	GVR CONSULTORIA AMBIENTAL E.I.R.L. "DAA de la Planta Industrial para la Producción de Mermeladas, Salsas y Confitería de Frutas-IGA0000997", R.D. N° 473-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020 Publicación	<1 %

- 66** INERCO CONSULTORIA PERU S.A.C.. "ITS de los Proyectos Aumento de la Capacidad Instalada de la Etapa de Fermentación y Modificación de las Medidas de Implementación del Plan de Manejo Ambiental de la DIA Aprobada de Planta Cusco y Reutilización de las Aguas Residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)-IGA0019261", R.D. N° 466-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2022
Publicación
-
- 67** MANDRAGORA CONSULTORES S.A.C.. "DAA de la Planta de Producción de Etiquetas y Empaques con diversos Acabados, y Servicios de Impresión Personalizada, Cheques y Valorados, Tarjetas de PVC, Servicios Digitales.-IGA0009031", R.D. N° 919-2019-PRODUCE/DVMYPE-I/DGAAMI, 2020
Publicación
-
- 68** Marcelo Muñoz, Jessica Reina, María Belén Aldás. "Evaluación de un reactor aerobio piloto con medio de soporte de polietilentereftalato (PET) para tratamiento de efluente lechero", Enfoque UTE, 2016
Publicación
-
- 69** PACIFIC PROTECCION INTEGRAL DE RECURSOS (PIR) SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "PMA para la Actualización del Plan

<1%

<1%

<1%

<1%

de Monitoreo de Calidad Ambiental del
Componente Terrestre del EIA para la
Ampliación de las Unidades de Procesamiento
y Almacenamiento de la Planta de
Fraccionamiento de Líquidos de Gas Natural -
Playa Lobería - Pisco-IGA0001300", R.D. N°
491-2015-MEM/DGAAE, 2022

Publicación

70	addi.ehu.es Fuente de Internet	<1 %
71	idus.us.es Fuente de Internet	<1 %
72	llestes.tinet.cat Fuente de Internet	<1 %
73	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
74	repositorio.unprg.edu.pe:8080 Fuente de Internet	<1 %
75	repositorio.upagu.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
76	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
77	repositorio.utn.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
78	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	<1 %

79	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet	<1 %
80	repositorio.utea.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
81	CONSULTORIA INTERNACIONAL EN INGENIERIA Y GESTION PARA EL DESARROLLO SOCIEDAD ANONIMA CERRADA-CINYDE. "DAA de la Planta de Productos de Jabones, Detergentes, Preparados de Limpieza, Perfumes y Preparados de Tocador-IGA0020931", R.D. N° 059-2021-PRODUCE/DGAAMI, 2022 Publicación	<1 %
82	ECOFLUIDOS INGENIEROS S.A.. "PAMA del Camal Conchucos-IGA0011540", R.D.G. N° 220-2015-MINAGRI-DVDIAR-DGAAA, 2020 Publicación	<1 %
83	INGENIEROS INNOVADORES PROYECTISTAS AMBIENTALES E.I.R.L.. "Modificación para Impactos Ambientales Negativos No Significativos para Efectuar la Reingeniería del Sistema de Tratamiento de Efluentes Industriales y Domésticos, e Inclusión de los Componentes de Emisiones Atmosféricas y Calidad Ambiental del Aire en el Plan de Vigilancia Ambiental en el Establecimiento Industrial Pesquero Ubicado en la Zona	<1 %

Industrial II, Distrito y Provincia de Paita,
Piura-IGA0014903", R.D. N° 00053-2021-
PRODUCE/DGAAMPA, 2021

Publicación

84 WALSH PERU S.A. INGENIEROS Y CIENTIFICOS CONSULTORES. "EIA para el Proyecto de Explotación de la Concesión Minera No Metálica Dunas 3 Segunda-IGA0007037", R.D. N°005-2016-PRODUCE/DVMYPE-I/DIGGAM, 2020 <1 %

Publicación

85 [doku.pub](#) <1 %

Fuente de Internet

86 [dspace.esPOCH.edu.ec](#) <1 %

Fuente de Internet

87 Submitted to Universidad EAN <1 %

Trabajo del estudiante

Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias: Apagado

ASESOR

PHD. José Vladimir Cornejo Tueros

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por bendecirnos y permitirnos llegar hasta esta etapa, por cruzar nuestros caminos, conocernos y así poder elaborar esta investigación juntos.

A la Universidad Continental, por admitirnos en su casa de estudios e impulsar nuestro desarrollo profesional.

A nuestros docentes, por apoyarnos durante nuestra formación académica con sus conocimientos, orientación y paciencia.

A nuestros padres, por darnos la vida y apoyarnos constantemente en este arduo camino de nuestra profesión.

Al Mg. Lalo Monzón, por su colaboración, aportes, recomendaciones y orientaciones en el proceso de esta investigación.

Al PHD. José Vladimir Cornejo Tueros, por su orientación en la elaboración de nuestro proyecto.

Los autores.

DEDICATORIA

A mis padres, Lucia y Humberto, por ser mi mayor motivación para no rendirme y seguir adelante, por su amor incondicional, por sus consejos y guía constantes, por ser mi ejemplo de lucha y, sobre todo, por brindarme su apoyo para desarrollar este proyecto.

A mis hermanos, Jesús, Sebastián y Mathias, por ser mis compañeros en los mejores y peores momentos, por su preocupación, amor y apoyo emocional para seguir adelante.

Thania Mayta Ccapa

Dedico el presente trabajo a Dios, por cuidar de mi familia y permitirme cumplir una de mis metas.

A mis padres, Juvenal y Dora, por apoyarme siempre, ser una guía para mí y ayudarme a edificar a la persona que ahora soy.

A mis hermanas Yorma, Diana y Fabiana, porque son mi motivación para seguir creciendo profesionalmente; y a mi hermano Gustavo, quien siempre está presente para mí.

A mis abuelitos maternos Paola y Mariano, por estar siempre pendiente de mí; y a mis abuelitos paternos que, aunque no tuve la oportunidad de conocerlos, siempre los tengo presentes.

Rosa G. Quispe Yucra

A mis padres Adita y Arturo, quienes me motivaron y apoyaron incondicionalmente para concluir este proyecto que no fue fácil.

Alexander Tito Luque

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	xx
DEDICATORIA.....	xxi
ÍNDICE GENERAL.....	xxii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xxvi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xxvii
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	xxviii
RESUMEN.....	xxix
ABSTRACT.....	xxx
INTRODUCCIÓN.....	xxxi
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	33
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	33
1.1.1. Planteamiento del problema.....	33
1.1.2. Formulación del problema.....	34
1.2. Objetivos.....	35
1.2.1. General.....	35
1.2.2. Específicos.....	35
1.3. Justificación e importancia.....	35
1.3.1. Ambiental.....	35
1.3.2. Social.....	35
1.3.3. Tecnológico.....	36
1.3.4. Económica.....	36
1.4. Delimitación del proyecto.....	36
1.5. Hipótesis y descripción variables.....	38
1.5.1. Hipótesis.....	38
1.5.2. Descripción de variables.....	39
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	41
2.1. Antecedentes del problema.....	41
2.1.1. Antecedentes internacionales.....	41
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	42
2.1.3. Antecedentes locales.....	43
2.2. Bases teóricas.....	44
2.2.1. Aguas residuales.....	44
2.2.1.1. Definición.....	44
2.2.1.2. Clasificación de aguas residuales.....	45
2.2.1.3. Caracterización de las aguas residuales.....	45

2.2.1.3.1.	Características físicas	47
a.	Sólidos totales	47
b.	Olores	47
c.	Temperatura.....	48
d.	Densidad	48
e.	Color.....	48
f.	Turbidez	49
2.2.1.3.2.	Características químicas	49
2.2.1.3.3.	Característica biológicas	53
2.2.2.	Tratamiento de aguas residuales	55
2.2.2.1.	Pretratamiento de aguas residuales	56
2.2.2.2.	Tratamiento primario	57
2.2.2.3.	Tratamiento secundario.....	60
2.2.2.4.	Tratamiento terciario o avanzado.....	62
2.2.3.	Reactor de biopelícula de Lecho Móvil – MBBR.....	63
2.2.3.1.	Definición	63
2.2.3.2.	Descripción del proceso	64
2.2.3.3.	Parámetros de diseño	64
2.2.3.3.1.	Carga hidráulica.....	64
2.2.3.3.2.	Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	65
2.2.3.3.3.	Carga volumétrica	65
2.2.3.3.4.	Área específica del carrier	65
2.2.3.3.7.	Cálculo del caudal	66
2.2.3.3.8.	Oxígeno Requerido Real (ORR).....	66
2.2.3.3.9.	Tasa de Transferencia de Oxígeno a Condiciones Estándar (TTOE)	67
2.2.3.3.10.	Agitación y aireación	67
2.2.3.4.	Medios de soporte	68
2.2.3.5.	Biopelícula	69
2.2.3.5.1.	Desarrollo de biopelícula.....	70
2.2.3.5.2.	Factores que afectan la formación de la biopelícula	70
2.2.3.6.	Ventajas del MBBR en aguas residuales.....	70
2.3.	Definición de términos básicos	71
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA.....		73
3.1.	Método, tipo o alcance de la investigación	73
3.1.1.	Método de la investigación	73
3.1.2.	Alcance de la investigación.....	73
3.1.2.1.	Nivel de la investigación	73

3.1.2.2.	Tipo de la investigación	73
3.2.	Diseño de la investigación	74
3.3.	Población y muestra	74
3.3.1.	Población.....	74
3.3.2.	Muestra	74
3.3.3.	Muestreo	74
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	75
3.4.1.	Técnicas	75
3.4.2.	Instrumentos	75
3.5.	Metodología de experimentación	75
3.5.1.	Ubicación geográfica de la toma de muestra.....	75
3.5.2.	Toma de muestra	77
3.5.3.	Caracterización de aguas residuales.....	78
3.5.3.1.	Selección de los parámetros a evaluar:	78
3.5.4.	Parámetros de diseño.....	79
3.5.5.	Diseño del prototipo.....	81
3.5.5.1.	Dimensiones.....	81
3.5.5.2.	Materiales y equipos utilizados	82
3.5.5.3.	Flujo del agua	83
3.5.5.4.	Aireación	83
3.5.5.5.	Distribución de aire con difusores	84
3.5.5.6.	Aislamiento térmico	85
3.5.5.7.	Medio de soporte o Carrier	85
3.5.6.	Prueba del prototipo	86
3.5.7.	Tratamiento primario del agua residual.....	86
3.5.8.	Arranque del reactor.....	87
3.5.9.	Estimación de remoción de contaminantes	88
3.5.10.	Comparación con legislación ambiental.....	88
CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....		89
4.1.	Resultados del tratamiento y análisis de la información	89
4.1.1.	Resultados	89
4.1.1.1.	Caracterización del agua residual proveniente del camal de Cotahuasi.....	89
4.1.1.2.	Ejecución del experimento a escala laboratorio con la tecnología MBBR.....	90
4.1.1.3.	Evaluación de la remoción de contaminantes al final del proceso secundario	99
4.1.1.4.	Comparación del agua tratada con la tecnología MBBR con la normatividad vigente	103
4.1.2.	Discusión.....	108
CONCLUSIONES		111

RECOMENDACIONES	112
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
ANEXOS.....	119

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Operacionalización de variables</i>	40
Tabla 2. <i>Características y procedencias de las aguas residuales</i>	45
Tabla 3. <i>Clasificación de los microorganismos</i>	54
Tabla 4. <i>Tipos de tratamiento y Tratamiento de aguas residuales</i>	55
Tabla 5. <i>Industrias que generan aguas residuales ácidas o alcalinas</i>	58
Tabla 6. <i>Principales procesos del tratamiento biológico</i>	60
Tabla 7. <i>Características del medio de soporte</i>	68
Tabla 8. <i>Métodos de Análisis de Laboratorio</i>	79
Tabla 9. <i>Método de Parámetros In situ</i>	79
Tabla 10. <i>Materiales y equipos</i>	82
Tabla 11. <i>Características del medio de soporte o carrier</i>	86
Tabla 12. <i>Caracterización del agua residual del camal de Cotahuasi</i>	89
Tabla 13. <i>Caracterización del nitrógeno total y fósforo total</i>	90
Tabla 14. <i>Dimensiones físicas del reactor</i>	90
Tabla 15. <i>Remoción de contaminantes del agua residual del camal municipal de Cotahuasi</i>	100
Tabla 16. <i>Comparación del agua residual del camal municipal de Cotahuasi con VMA</i> ...	104
Tabla 17. <i>Comparación del agua residual del camal municipal con los LMP</i>	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de ubicación del Camal de Cotahuasi	37
Figura 2. Camal Municipal de Cotahuasi.....	38
Figura 3. Etapas de desarrollo de Biofilm (27).....	70
Figura 4. Punto de muestreo del agua residual	75
Figura 5. Mapa de ubicación de toma de muestra	76
Figura 6. Toma de muestra del agua residual	78
Figura 7. Medidor de Oxígeno Disuelto - Multiparametro	81
Figura 8. Dimensiones del Reactor.....	81
Figura 9. Tubo Sifón	83
Figura 10. Instalación de compresora de aire	83
Figura 11. Distribuidor de aire y llaves de paso.....	84
Figura 12. Distribución de mangueras difusoras.....	84
Figura 13. Tecnopor de 3 cm y Cartulina negra (47) y (48)	85
Figura 14. Modelo de Medio de Soporte o Carrier.....	85
Figura 15. Prueba en vacío de aireación	86
Figura 16. Tratamiento primario de rejillas convencionales	87
Figura 17. Trampa de grasas y sedimentador convencional	87
Figura 18. Materia sólida del tratamiento	92
Figura 19. Formación de grasas	93
Figura 20. Carriers al 50% y 30% con agua residual.....	93
Figura 21. Variación de la Temperatura en función del tiempo "Cámara 1"	94
Figura 22. Variación de la Temperatura en función del tiempo "Cámara 2"	94
Figura 23. Aislamiento Térmico del reactor.....	95
Figura 24. Variación del pH en función del tiempo "Cámara 1"	95
Figura 25. Variación del pH en función del tiempo "Cámara 2"	96
Figura 26. Variación de OD en función del tiempo "Cámara 1"	96
Figura 27. Variación de OD en función del tiempo "Cámara 2"	97
Figura 28. Comparación de la Turbidez "Cámara 1 y 2".....	97
Figura 29. Formación de flocs y presencia de protozoarios "Cámara 1"	98
Figura 30. Formación de flocs y presencia de protozoarios "Cámara 2"	98
Figura 31. Carriers con Fiofilm.....	99
Figura 32. Porcentaje de remoción DBO ₅	101
Figura 33. Porcentaje de Remoción de DQO	101
Figura 34. Porcentaje de remoción de aceites y grasa.....	102
Figura 35. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales	102
Figura 36. Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes	103
Figura 37. Comparación de resultados con Valores Máximos Admisibles (VMA).....	104
Figura 38. Comparación de pH con Valores Máximos Admisibles (VMA).....	105
Figura 39. Comparación de Temperatura con Valores Máximos Admisibles (VMA)	105
Figura 40. Comparación de resultados con los LMP para Efluentes de PTAR.....	106
Figura 41. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP para efluentes de PTAR	107
Figura 42. Comparación de pH con los LMP para efluentes de PTAR	107
Figura 43. Comparación de temperatura con los LMP para efluentes de PTAR.....	108
Figura 44. Área de matanza de animales	122
Figura 45. Camal y Pozo de descarga de Aguas Residuales	122
Figura 46. Tuberías de transporte de Aguas Residuales.....	123

Figura 47. Zona de descarga y Toma de muestras de Agua Residual del Camal Municipal de Cotahuasi.....	123
Figura 48. Toma de muestra de Agua Residual del Camal Municipal	124
Figura 49. Adición de preservantes a nuestra de Agua Residual del Camal.....	124
Figura 50. Toma de Temperatura y pH de la muestra de Agua Residual del Camal	125
Figura 51. Adaptación del Pre Tratamiento del Agua Residual "Cámara de Rejas"	125
Figura 52. Trampa de Grasas Convencional	126
Figura 53. Prueba en vacío del Reactor de Cámara 1 y 2	126
Figura 54. Prueba con Carriers en Cámara 1	127
Figura 55. Prueba con Carriers en Cámara 2.....	127
Figura 56. Carriers al 30% y 50% - Cámara 2 y 1.....	128
Figura 57. Agregado de Agua Residual a Cámara 2.....	128
Figura 58. Agregado de Agua Residual a Cámara 1.....	129
Figura 59. Inicio de Operación de Cámara 1 y 2.....	129
Figura 60. Toma de Temperatura y pH	130
Figura 61. Toma de Temperatura y pH de la cámara 1 con Multiparámetro	130
Figura 62. Toma de Temperatura y pH de la cámara 2 con Multiparámetro	131
Figura 63. Análisis de Turbidez Inicial (Sin Tratamiento)	131
Figura 64. Análisis de Turbidez Intermedia	132
Figura 65. Análisis de Turbidez Final	132
Figura 66. Formación de Biofilm (Cámara 1 y 2)	133
Figura 67. Toma de Muestra Final (Cámara 1 y 2)	133
Figura 68. Muestra de Color del Agua Residual	134
Figura 69. Microscopio Binocular	134

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Carga Hidráulica	64
Ecuación 2. Tiempo de Retención Hidráulica	65
Ecuación 3. Carga Volumétrica	65
Ecuación 4. Área Específica del Carrier.....	65
Ecuación 5. Área de carriers	66
Ecuación 6. Volumen de carriers.....	66
Ecuación 7. Volumen de Agua.....	66
Ecuación 8. Caudal	66
Ecuación 9. Oxígeno Requerido Real	66
Ecuación 10. Tasa de transferencia de oxígeno a condiciones estándar	67
Ecuación 11. Remoción de contaminantes.....	88

RESUMEN

El presente proyecto tiene como finalidad elaborar un diseño experimental con tecnología MBBR y proponer una alternativa de solución para reducir la contaminación de las aguas residuales del camal de Cotahuasi. Para ello, primero, se caracterizó el agua residual (DBO₅, DQO, Aceites y grasas, Sólidos Suspendidos Totales y coliformes termotolerantes). Posteriormente, se diseñó, construyó y puso en marcha el reactor que consta de una estructura con dos compartimentos de 20 Litros cada una (Cámara 1 - Cámara 2). La Cámara 1 tuvo un tratamiento de 54 días con 50% de carriers y la Cámara 2, un tratamiento de 33 días con 30% de carriers. Esta última obtuvo mejores resultados respecto a la primera cámara. Ambos resultados cumplieron con los niveles permitidos patentados en la legislación de los Valores Máximos Admisibles (VMA).

Adicionalmente, se realizó una comparación con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR. En este cotejo, se cumplieron con 5 de los 7 parámetros (Aceites y grasas, coliformes termotolerantes, Sólidos Suspendidos Totales, pH y Temperatura). Los resultados obtenidos en porcentaje de remoción fueron los siguientes: Cámara 1: DBO₅ 97.26%, DQO 83.24%, Aceites y Grasas 92.03%, SST 89.54%, Coliformes Termotolerantes 99.99%. En la Cámara 2 se obtuvieron los siguientes resultados: DBO₅ 97.70%, DQO 85.97%, Aceites y Grasas 98.34%, SST 93.48%, Coliformes Termotolerantes 99.99%. El pH y la Temperatura para ambas cámaras se mantuvieron constantes y adecuadas para el desarrollo de microorganismos. En conclusión, la tecnología MBBR resultó ser eficiente para el tratamiento de las aguas residuales del camal Municipal de Cotahuasi.

Palabras claves: MBBR, Biofilm, Carrier, Aguas residuales, Camal, VMA.

ABSTRACT

This project has as purpose to develop an experimental design with MBBR technology and propose an alternative solution to reduce the contamination of wastewater from the Cotahuasi canal. The residual water was first characterized (BOD5, COD, Oils and fats, Total Suspended Solids and thermotolerant coliforms). Later, the reactor was designed, built, and started up, consisting of a structure with 2 compartments of 20 liters each (Chamber 1 - Chamber 2), Chamber 1 had a 54-day treatment with 50% carriers and Chamber 2 with a 33-day treatment with 30% carriers, obtaining better results compared to the first chamber. Complying both with the legislation of the Maximum Admissible Values (VMA).

Additionally, a comparison was made with the Maximum Permissible Limits for WWTP effluents in which they comply with 5 of 7 parameters (Oils and fats, thermotolerant coliforms, Total Suspended Solids, pH and Temperature). The results obtained in percentage removal were the following: Chamber 1 - BOD5 97.26%, COD 83.24%, Oils and Fats 92.03%, TSS 89.54%, Thermotolerant Coliforms 99.99%. Chamber 2 - BOD5 97.70%, COD 85.97%, Oils and Fats 98.34%, TSS 93.48%, Thermotolerant Coliforms 99.99%. The pH and temperature for both chambers remained constant and adequate for the development of microorganisms. In conclusion, the MBBR technology turned out to be efficient for the treatment of wastewater from the Cotahuasi Municipal slaughterhouse.

Keywords: MBBR, Biofilm, Carrier, wastewater, abattoir, VMA.

INTRODUCCIÓN

La contaminación del agua se ha ido incrementando a medida que pasan los años. Esto se produce por el vertimiento de compuestos o elementos orgánicos o inorgánicos que estando dispersos, suspendidos o disueltos alcanzan una concentración elevada para su uso (1).

En ese marco, las aguas residuales de los camales son las que más carga orgánica (sangre, orina, heces, vísceras, grasas, residuos de alimentos) contienen. Además, para todo el proceso de matanza de animales, se hace uso de gran cantidad de agua que se mezcla con las diferentes cargas orgánicas ya mencionadas, lo cual produce mayores cantidades de agua residuales sin tratar. A esto, se le debe agregar el hecho de que las administraciones municipales no disponen de tratamientos, lo que podría generar eutrofización en las aguas, debido a la gran cantidad de compuestos nitrogenados; riesgos en el ambiente y problemas relacionados con la salud de las personas.

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), se estima que cerca del 10% de la población mundial consume alimentos regados con aguas residuales (2). De acuerdo con estadísticas del Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA), con respecto al agua y saneamiento a nivel nacional, hasta el 2018, solo el 79.2% de las aguas residuales eran tratadas por EPS; al 2019, solo existieron 49 autorizaciones para el reuso y vertimiento de aguas residuales industriales y al 2020 el volumen anual de vertimiento de aguas residuales industriales autorizadas fue solo de 624 001 728 m³ (3). Además, a nivel mundial, el consumo de carnes se mantiene elevado, lo que incrementa los problemas de contaminación.

Ante esta problemática, en las últimas décadas, los sistemas que incorporan microorganismos en el agua residual adheridos a un medio de soporte se han convertido en un innovador tratamiento biológico que, a su vez, permite la obtención de sistemas más eficientes y compactos, para la remoción de sólidos suspendidos y material orgánico (4). Uno de estos sistemas son los reactores de lecho móvil (MBBR), una tecnología reciente patentada en Noruega en los años ochentas. Para su funcionamiento, se debe contar con un sistema de aireación, que permita movimiento en todo el volumen del agua a tratar. Si bien se trata de una medida exitosa a nivel mundial, en el Perú, no existen estudios que la hayan patentado en el tratamiento de aguas residuales provenientes de camales.

Frente a esta ausencia, el presente proyecto de investigación ha surgido con el objetivo de elaborar un diseño experimental para el tratamiento secundario de las aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi con tecnología MBBR. Cabe señalar que el distrito de Cotahuasi cuenta con 2925 habitantes (5). Asimismo, debido a la demanda de

consumo de carne, cuenta con un Camal Municipal, en el cual se realiza la matanza de un promedio de 3 ganados vacunos de forma interdiaria, además de porcinos y ovinos en cualquier día de la semana para cubrir las necesidades de la población. No obstante, el proceso de obtención de carne genera gran cantidad de vertimiento de aguas residuales a los canales de regadío y, con ello, contaminación de las aguas.

La presente investigación se encuentra estructurada de cuatro capítulos. En el primer capítulo denominado “Planteamiento del Estudio”, se explicará la problemática, objetivos, justificación, delimitación, hipótesis y la descripción de variables. El segundo capítulo titulado “Marco Teórico”, expondrá los antecedentes, bases teóricas y definiciones de términos básicos. El tercer capítulo denominado “Metodología” describirá el método, diseño y tipo de investigación, además de la población, muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y la metodología de experimentación. Por último, el cuarto capítulo intitulado “Resultados y discusión”, analizará los resultados a los que se ha arribado tras el proyecto en mención. Finalmente, se incluyen una serie de recomendaciones y referencias bibliográficas.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. Planteamiento y formulación del problema

1.1.1. Planteamiento del problema

Actualmente, el ambiente se encuentra afectado por el aumento de los contaminantes, que se generan como producto de procesos que son realizados por el hombre para satisfacer sus necesidades. Uno de los componentes más contaminados es el recurso hídrico. El problema se vuelve más crítico cuando se considera que este es un bien limitado y únicamente el 1 % es para el consumo humano y de fácil acceso (6), y que afectará el crecimiento económico del siglo XXI (7).

Las aguas residuales son vertidas por la mayoría de las industrias a las redes de alcantarillado y tienen como fin último a los cuerpos de agua y lagos, lo que produce contaminación. Así, por ejemplo, los camales semanalmente desechan grandes cantidades de sustancias orgánicas que, si no son tratadas correctamente, no solamente contaminan las aguas, sino que también generan problemas de salud en la población.

Estas sustancias contaminantes pueden ser sólidas, líquidas o gaseosas que se encuentran tanto en suspensión como disueltas y tienen una concentración elevada de material orgánico. Están básicamente constituidas por productos que se descomponen como aminos, ácidos y orgánicos volátiles, y otros orgánicos nitrogenados; asimismo, poseen concentración alta en grasas que complican el tratamiento de las mismas.

En el Perú, 102 camales están autorizados por el Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria (SENASA). Específicamente, en la región Arequipa, existen 30 camales, de los cuales solo 11 son autorizados y 19 no tienen autorización, debido al incumplimiento de requisitos de tratamiento e infraestructura. En estos últimos, se evidencia la inconsciencia de las autoridades competentes, quienes, al no fiscalizar dichos establecimientos, demuestran poca o nula preocupación para desechos estas aguas residuales; además, los trabajadores de estos lugares no cuentan con la capacitación necesaria para destinar los residuos de la forma correcta y en el lugar correspondiente.

Dentro de los mataderos sin autorización, se encuentra el Camal Municipal de Cotahuasi (8). Si bien en este distrito existen dos Plantas de Tratamientos de Aguas Residuales (PTAR): una que se encuentra destinada para efluentes domésticos (alejada de la ciudad) y otra destinada para aguas residuales provenientes del Camal, ambas están fuera de servicio. Ello significa que a los fluidos residuales del camal no se les realiza ningún tratamiento y estos son vertidos directamente a la acequia que aporta a la subcuenca del Cotahuasi, a su vez a la cuenca de Ocoña y, finalmente, al Océano Pacífico.

Sabiendo que uno de los factores más críticos que contribuye a la contaminación de aguas residuales son los desechos de un camal, debido al alto poder contaminante que fácilmente contribuye a rebasar los Valores Máximos Admisibles establecidos en la normativa, en esta investigación, analizaremos este establecimiento, debido a la cantidad de efluentes que desecha semanalmente.

En definitiva, se debe dar importancia al buen manejo de fuentes de agua y a la conservación de la misma, de tal manera que se conciban nuevas tecnologías y sistemas de tratamiento, con la finalidad de que estas aguas sean destinadas para otros usos como el riego, bebida de animales, etc.

1.1.2. Formulación del problema

1.1.2.1. Problema general

¿Cómo realizar un diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi – La Unión – Arequipa 2022?

1.1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la caracterización del agua residual provenientes del camal municipal de Cotahuasi?
- ¿Cómo realizar la experimentación a escala de laboratorio con la tecnología MBBR?
- ¿Cuál es la remoción de contaminantes después del proceso del tratamiento secundario?
- ¿El agua tratada cumplirá con la normatividad vigente de Valores Máximos Admisibles (VMA)?

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Elaborar un diseño experimental para el tratamiento secundario de las aguas residuales provenientes del camal municipal de Cotahuasi con tecnología MBBR

1.2.2. Específicos

- Determinar las características del agua residual proveniente del Camal municipal de Cotahuasi
- Realizar la experimentación a escala de laboratorio con la tecnología MBBR
- Evaluar la remoción de contaminantes al final del proceso del tratamiento secundario
- Comparar el agua tratada de la tecnología MBBR con la normativa vigente de Valores Máximos Admisibles (VMA)

1.3. Justificación e importancia

Durante los últimos años, la contaminación del agua es uno de los problemas primordiales que inquieta a la sociedad, debido a que este líquido es un recurso importante para el consumo humano y para las industrias.

1.3.1. Ambiental

Las aguas residuales de camales, por lo general, no tienen un control adecuado lo que genera un alto grado de contaminación. En ese contexto, este recurso hídrico se desperdicia. Por esta razón, la falta de tratamiento e innovación de nuevas tecnologías en aguas residuales se está convirtiendo, para el medio ambiente y la sociedad, en una dificultad que amerita soluciones eficientes. En ese marco, la presente investigación quiere aportar en la reducción de impactos negativos producidos por vertimientos de las aguas residuales hacia el recurso hídrico, de manera que se evite la disminución de la calidad del agua.

1.3.2. Social

Es muy importante resaltar que los impactos de la contaminación hídrica se manifiestan también en el ámbito ambiental y social, puesto que el agua contaminada es una vía de agentes infecciosos que perjudica la salud.

Actualmente, en la ciudad de Cotahuasi, se hace uso de agua potable para el funcionamiento del camal municipal. Posterior al servicio, las aguas son vertidas sin ningún tratamiento por una tubería que desemboca en una acequia que es usada, comúnmente, para la bebida de animales y el riego de chacras. De esta manera, la población aledaña sufre una contaminación indirecta, lo cual afecta su calidad de vida.

En ese sentido, con el tratamiento adecuado, se podrá reducir la cantidad de contaminantes provenientes de las aguas del camal, lo cual aportará en beneficio de la población.

1.3.3. Tecnológico

Para el tratamiento de aguas residuales, existen diversas tecnologías y sistemas, desde los más económicos hasta los más costosos. La implementación metodológica de MBBR es una solución compacta y económica, puesto que no ocupa grandes áreas al momento de su desarrollo. Esta será la tecnología a aplicar en el tratamiento de aguas residuales del Camal de Cotahuasi.

1.3.4. Económica

El tratamiento con tecnología MBBR es una alternativa que presenta un menor costo respecto a la operación y mantenimiento. A comparación de un procedimiento aeróbico, que genera mayor cantidad de lodos que tienen que ser llevados por EPS a un relleno sanitario, la tecnología MBBR genera menor cantidad de lodos, lo cual se traduce en menos costos de servicios de EPS.

1.4. Delimitación del proyecto

La delimitación del presente proyecto está representada por el agua residual del camal municipal que se encuentra ubicado en el distrito de Cotahuasi a 2683 m.s.n.m. Este se encuentra a unos 200 metros de la capilla de Chacaylla y a unos 100 metros de la PTAR que no se encuentra en funcionamiento.

MAPA DE UBICACIÓN DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI



Figura 1. Mapa de ubicación del Camal de Cotahuasi

Coordenadas geográficas del Camal de Cotahuasi

- Zona: 18L
- Coordenada Este: 726616.00 m E
- Coordenada Norte: 8317321.00 m S



Figura 2. Camal Municipal de Cotahuasi

1.5. Hipótesis y descripción variables

1.5.1. Hipótesis

1.5.1.1. Hipótesis general

H_0 : El tratamiento secundario con tecnología MBBR no permite descontaminar las aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi.

H_1 : El tratamiento secundario con tecnología MBBR permite descontaminar las aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi.

1.5.1.2. Hipótesis específicas

- La caracterización de las aguas residuales del Camal Municipal de Cotahuasi muestra una alta contaminación.
- Es probable realizar el diseño del reactor con tecnología MBBR a escala de laboratorio.
- El tratamiento secundario la tecnología MBBR remueve eficientemente los contaminantes.

- Las aguas tratadas resultantes del tratamiento secundario con la tecnología MBBR cumplen con la normativa vigente de Valores Máximos.

1.5.2. Descripción de variables

1.5.2.1. Variable dependiente

La variable dependiente es el agua tratada, ya que depende de la aplicación de la tecnología MBBR.

1.5.2.2. Variable independiente

La variable independiente es la implementación de tecnología MBBR, ya que no depende de otro factor para ser aplicado.

1.5.2.3. Operacionalización de las variables

Tabla 1. Operacionalización de variables

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADOR	UNIDAD
Variable Independiente - Implementación de tecnología MBBR	- Carrier o Biofilm	- Cantidad de Carrier's	- Unidad de cantidad
		- Densidad del Carrier	- Kg/m ³
	- Diseño del reactor	- Volumen de reactor	- m ³
		- Volumen de Carrier	- m ³
Variable Dependiente - Agua residual tratada	- Calidad de agua	- Volumen de agua	- L
		- Aceites y grasas	- mg/L
		- DBO ₅	- mg/L
		- DQO	- mg/L
		- SST	- mg/L
		- Temperatura	- °C
		- pH	- Unidad de pH
		- Nitrógeno Total	- mg/L
- Fósforo Total	- mg/L		
- Turbidez	- NTU		

Nota: Elaboración propia

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

2.1.1. Antecedentes internacionales

- La tesis titulada *Optimización de un biorreactor de lecho móvil (MBBR) para la biodegradación de un efluente proveniente de la industria de celulosa Kraft* (9) tuvo como objetivo optimizar la depuración de la materia orgánica. Para ello, el efluente se obtuvo a la salida de unas torres de refrigeración. Para este método biológico, se utilizó el biorreactor de lecho móvil con material 16 polietilenos y de superficie $23 \text{ cm}^2/\text{cm}^3$ de biocarriers. Este sistema fue sostenido por 1 bomba, conectado por mangueras de 7 mm y 12 mm. Se llegó a la conclusión que con 2d de TRH se alcanzó una efectividad de remoción del 42,7% de DQO, en comparación de 0,9 días de TRH con el 41,2%. Además, se determinó que existe una eficiencia similar entre ambas y que en la estabilización de la segunda fase de operación del sistema hubo una mejoría de esta. Esto permite concluir que, a menores tiempos de RH y mayores velocidades de la carga orgánica con la biopelícula estabilizada y madura, el sistema es más idóneo, con una eficiencia de remoción de DQO por sobre el 45% y remoción de DBO_5 superiores al 97% (9).
- El proyecto titulado *Estudio de un sistema Moving Bed Bioreactor (MBBR) con Carriers fabricados en impresión 3D para la optimización del tratamiento de aguas residuales textiles* (10) tuvo como objetivo mejorar la efectividad de depuración biológica de las aguas residuales de la industria textil mediante el empleo de carriers. La empresa tenía instaurada una depuradora biológica, por lo que el efluente fue obtenido antes de verterlo al río en la entrada de esta. En primer lugar, al efluente se le caracterizó por medio de análisis de pH, Conductividad, Color, Nitrógeno, DQO, MES, TOC y observaciones microscópicas para determinar el rendimiento de depuración del MBBR abastecido de Carriers esféricos de plástico. Así mismo, se evaluó la eliminación del color. Este parámetro en depuradoras convencionales es muy difícil de suprimir; sin embargo, se alcanzaron resultados satisfactorios, ya que se obtuvo porcentajes muy similares en DQO y eliminaciones superiores a color. Al reducir de 2 a 1,5 días el TRH, se observó en todos los parámetros un

aumento de la eficiencia del reactor, excepto la eliminación del color. No obstante, si el TRH es superior, este parámetro tendrá una eficiencia de eliminación (10).

- La tesis titulada *Diseño y Operación de un Reactor de Lecho Móvil Aerobio para tratamiento de Agua Residual Doméstica* (11) tuvo como objetivo diseñar, a escala de laboratorio, un MBBR para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para llevar a cabo el proyecto, se plantearon dos fases: una operación del reactor y la otra en inoculación. Además, hubo una medición de control semanal de los distintos parámetros químico-físicos, que permitió la evaluación del agua antes, durante y después del tratamiento. El diseño de dicho reactor se realizó a una pequeña escala y fue necesario preparar un agua residual doméstica que sirviera de afluente. Asimismo, se emplearon como medio de soporte móvil anillos de Biopack, hechos de polietileno de alta densidad y con $950 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de superficie específica. Inicialmente, se utilizaron 1920 unidades que ocupaban aproximadamente el 35% del volumen útil; sin embargo, en el proceso de operación del reactor se alteró dicha cantidad a 2743 unidades, que ocuparon el 50% del volumen útil. Esto generó que la circulación no sea tan tosca y disminuya el arrastramiento de la biomasa. Se concluyó que la edad de lodos y el TRH fueron los parámetros importantes de la operación. El primero influyó en la concentración del material orgánico y de microorganismos dentro del reactor, y el segundo en el porcentaje de remoción de sólidos y determinación de caudal del efluente, DBO₅, DQO obtenidos a través del tratamiento (11).

2.1.2. Antecedentes nacionales

- La tesis titulada *Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma – AQUAFIL* tuvo como objetivo llevar a cabo un proyecto mediante el cual se mejore el tratamiento de las aguas en la provincia mencionada. Para su desarrollo, se tomaron muestras del PTAR de origen doméstico propiedad de AQUAFIL que se encuentra en la provincia de Caylloma, lo cual permitió tratar los tanques reactores al 40% más de su capacidad (200 - 280 m³/d), sin ninguna alteración del efluente en la

planta. Esto permitió menores niveles de TRH, lo cual conduce a pensar que, en un tiempo menor, habrá una cantidad mayor de agua tratada (12).

- El proyecto titulado *Evaluación de la eficiencia de la superficie de contacto en el sistema de tratamiento de lodos activados continuos de la planta piloto de la FIARN – UNAC* tuvo como objetivo evaluar la efectividad de métodos continuos de tratamiento de lodos activados mediante la implementación de Superficie de Contacto para cumplir con los ECA Clase III. Este estudio y su diseño se basa en investigación experimental (preexperimental, cuasi experimental y experimentos verdaderamente puros). Las aguas residuales domésticas fueron estimadas en un caudal de 1220.85m³/día; asimismo, para las muestras hubo caudal máximo de 260 Litros/día y 130 Litros/día. Se llegó a la conclusión, considerando la porción de llenado entre 50%-65%, de que el volumen del tanque alcanzó un volumen de 50%-55% (300 L) (13).

2.1.3. Antecedentes locales

- El proyecto titulado *Diseño experimental de un reactor de biopelícula de lecho móvil para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba, Arequipa 2017* tuvo como objetivo diseñar un MBBR a través de un diseño experimental. Para alcanzar dicho objetivo, se fabricó un reactor con vidrio de 0,5mm de espesor; dividido en 3 compartimientos: 2 cámaras de 15L cada una y un filtro de 7,5L de volumen útil. El reactor trabajó a una T° promedio de 20°C y un pH neutro entre 7 – 7,5. Además, cada cámara consideró 50% del volumen de carriers y 7,5 litros por cámara de volumen de agua. Así mismo, se emplearon dos bombas de recirculación de aire de acuario de un flujo de 150 litros: para el flujo de agua del compartimento 1 al 2 y del compartimento 2 al filtro para su salida posterior. De igual manera, para la aireación de las cámaras, se utilizó un compresor de aire de 35 watts de potencia, regulado con llave de paso de plástico. Se llegó a la conclusión de que el diseño del reactor propuesto cumplió con este tratamiento secundario y que, de acuerdo a diferentes tiempos de RH, hubo alta remoción de material orgánico. Sin embargo, mostró un mayor resultado a las 10 horas de retención hidráulica, disminuyendo el DBO₅ en 90,5%; el DQO en 77,17%; aceites y grasas en 99,99%; coliformes termo tolerantes en 99,47% y el SST en 99,47%. Esto sugiere una posterior desinfección para los coliformes termo tolerantes

mediante tratamientos químicos, debido a que no se pudo disminuir en el tratamiento biológico (14).

- La tesis titulada *Diseño y construcción de un reactor de biopelícula adherida a carriers en lecho fluidizado con coagulación para la evaluación de su rendimiento en la remoción de DBO₅ y DQO en aguas residuales domésticas del distrito de Mollendo – Islay* tuvo como objetivo diseñar y construir un reactor de biofilm adherido a carriers, para evaluar el rendimiento de la remoción del DQO y DBO₅ tomando distintas muestras de las aguas residuales domésticas del distrito de Mollendo. Se llegó a la conclusión de que hay una conexión directamente proporcional entre el TRH y el rendimiento de remoción; sin embargo, la cantidad de coagulante no es directamente proporcional a la concentración efectiva, siendo el rango óptimo de TRH entre 6.5 horas. y 7.8 horas, después de las cuales se logra la remoción máxima de DBO₅ en 96% y de DQO en 91.8% (15).

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

2.2.1.1. Definición

La Norma OS.090 (16) describe al agua residual como aquella que es utilizada por la sociedad e industrias, y que contiene materia orgánica o inorgánica en suspensión o disuelta, y son vertidas a cuerpos naturales del sistema de alcantarillado. Estas han cambiado sus características originales como consecuencia de la actividad humana y, debido a su baja calidad, necesitan un previo tratamiento (OEFA, 17). Por sus grandes cantidades de microorganismos y/o sustancias, representan un peligro para el consumo humano y deben ser eliminadas adecuadamente (18).

En conclusión, se trata de aguas que se hallan indistintamente contaminadas por diversas sustancias orgánicas e inorgánicas y que necesitan ser tratadas por diferentes motivos: la normativa y legislación actual, el impacto que ocasiona a la salud, medio ambiente y sociedad en general.

2.2.1.2. Clasificación de aguas residuales

Se clasifican en tres tipos:

Aguas residuales industriales

Son aquellas que resultan de cualquier desarrollo productivo ya sea fábricas, industrias, minería, agricultura, actividades agroindustriales. No son aguas de escorrentía pluvial ni aguas residuales domésticas. Su composición varía mucho con las diferentes actividades industriales (17).

Aguas residuales municipales

Son las aguas domésticas que se encuentran mezcladas con aguas pluviales y/o industriales que han sido tratadas previamente para su descarga en el sistema de alcantarillado combinado (17).

Aguas residuales domésticas

“Son aguas de fuente comercial y residencial que comprende residuos fisiológicos producto de las actividades humanas que posteriormente deben ser apropiadamente dispuestas” (17). Suelen contener grandes cantidades de microorganismos y materia orgánica, al igual que residuos de lejía, jabón, grasas y detergente.

2.2.1.3. Caracterización de las aguas residuales

En este apartado, se describen las propiedades físicas, biológicas y químicas en el tratamiento de aguas.

A continuación, se explican las características y procedencias:

Tabla 2. Características y procedencias de las aguas residuales

Características	Procedencia
1. Propiedades físicas:	
Color	Aguas residuales domésticas e industriales, degradación natural de materia orgánica
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas

Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales
2. Constituyentes químicas:	
	a. Orgánicos:
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Grasas animales, aceites y grasas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Pesticidas	Residuos agrícolas
Fenoles	Vertidos industriales
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Compuestos Orgánicos Volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Otros	Degradación natural de materia orgánica.
	b. Inorgánicos:
Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea
Metales Pesados	Vertidos industriales
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Fósforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales
Azufre	Agua de suministro; aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.
	c. Gases:
Sulfuro de hidrógeno	Descomposición de residuos domésticos
Metano	Descomposición de residuos domésticos
Oxígeno	Agua de suministro; infiltración de agua superficial

3. Constituyentes Biológicos:

Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento
Virus	Aguas residuales domésticas
	Protistas
Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento

Nota: Tomada de Metcalf & Eddy (19)

2.2.1.3.1. Características físicas

Una característica principal de las aguas residuales son los sólidos totales, que abarca a toda materia que se encuentra sedimentable, en suspensión, coloidal o disuelta. El olor, turbidez, temperatura, color y densidad son otras propiedades físicas fundamentales (19).

a. Sólidos totales

Son los materiales que quedan como desecho después de un proceso de evaporación del agua con temperaturas que oscilan entre 103 °C y 105 °C. Cabe destacar que la materia que haya sido sometida a una evaporación con una presión alta de vapor no se define como sólido total. Estos se clasifican en totales filtrables y totales no filtrables (19).

Además, los sólidos de sedimentación son los que se depositan en la base de todo envase en un tiempo de 60 minutos en forma de cono, como los conos de Imhoff; la unidad de medición se expresa en ml/l, que se interpreta como la cantidad de lodos obtenidos de la decantación primaria de agua residual (19).

b. Olores

Se presentan debido a la liberación de algunos gases durante la descomposición del material orgánico. Las nuevas aguas residuales muestran un peculiar olor, poco molesto, pero más tolerable que las aguas residuales de las fosas sépticas, cuyo olor característico es el sulfuro de hidrógeno. Este es producido cuando el sulfato se reduce a sulfito por la presencia de microorganismos anaerobios.

Los efluentes industriales podrían comprender en sí mismos compuestos que generan olores en las diferentes etapas del tratamiento, lo cual genera rechazo por la población, puesto que, en alguna fase de los procesos, la emanación es bastante elevada (19).

c. Temperatura

Las aguas residuales suelen tener una temperatura más alta que las del suministro. Esto se debe a que algunas casas adicionan aguas calientes y otros compuestos de uso industrial (19).

La temperatura es un parámetro muy importante, debido a que influye en las reacciones químicas, la vida acuática y las velocidades de reacción. En los meses de verano, el agua caliente afecta al oxígeno, puesto que es menos soluble. Además, combinado a las reacciones químicas a velocidades elevadas, es una causa muy frecuente de agotamiento de Oxígeno Disuelto. En ese sentido, un brusco cambio de T° puede aumentar significativamente la proliferación de plantas acuáticas y hongos, así como la mortalidad de la vida acuática. Cabe resaltar que la temperatura adecuada para que las bacterias se desarrollen con normalidad es entre 25 °C y 35 °C (19).

d. Densidad

Es una propiedad muy importante, porque de esta depende la formación potencial de corrientes de densidad en los lodos sedimentados. En ciertas ocasiones, la gravedad específica se emplea como una alternativa de densidad. Ambos parámetros están sujetos a la Temperatura y pueden variar en función de la concentración del material sólido (19).

e. Color

De modo histórico, el agua residual se caracteriza por su estado, concentración y composición, dependiendo de la edad del efluente. Esta se determina, específicamente, según el olor y color: una nueva agua residual suele poseer un color gris, pero suele cambiar progresivamente del color gris al gris oscuro hasta alcanzar un color negro (agua residual conocida como séptica), debido al aumento de

tiempo de conducción por la alcantarilla y condiciones anaerobias (19).

f. Turbidez

Es un parámetro que se usa como indicador de la calidad del agua vertida y, en el caso del agua natural, es asociada con las sustancias coloidales y residuos en suspensión. Este parámetro se mide comparando la intensidad registrada en suspensión con la intensidad de luz dispersada en la muestra: la materia coloidal absorbe la luz dispersa en toda la muestra e impide la transferencia. Esto no significa que haya una correlación directa entre los sólidos suspendidos y la turbidez de un efluente sin tratamiento, pero sí que están bastante ligados en relación con las aguas provenientes de decantación secundaria en el desarrollo de fangos activados (19).

2.2.1.3.2. Características químicas

a. Materia orgánica

Metcalf and Eddy (19) indican que alrededor del 40% de los sólidos filtrables y el 75% de los sólidos suspendidos de un agua residual tienen mediana concentración de materia orgánica. Estos sólidos provienen de animales, vegetales, además de actividades antropogénicas, que están asociadas a la asimilación de los compuestos orgánicos, y que agotan el Oxígeno Disuelto en diferentes masas de agua como los lagos, ríos, bahías, etc. (1). Cabe destacar que las combinaciones orgánicas de oxígeno, hidrógeno, carbono y, ocasionalmente nitrógeno, son formadas normalmente (19).

La composición general de las aguas residuales indica que el 45% - 50% son materia orgánica del 70% de sólidos suspendidos. Este elemento en las aguas residuales se distribuye en distintos grupos por conveniencia (1).

- **Proteínas:** Son sustancias inestables y complejas asociadas a los aminoácidos, compuestos del grupo básico $-NH_2$ y grupo ácido $-CO_2H$ (1). Su composición en las aguas residuales es del 40%-60% y sus constituyentes principales son los organismos animales y plantas.

- **Carbohidratos:** Su composición en las aguas residuales es del 25% - 50% y su principal constituyente es la materia vegetal. Entre ellos se encuentran los almidones, azúcares, celulosa, etc. (1).

- **Aceites y grasas:** Se encuentran compuestos por glicerol y alcohol. Los glicéridos de Ácidos Grasos Volátiles son grasas líquidas que se encuentran a temperatura ambiente. Estos responden a los álcalis formando jabones (1).

En las aguas residuales, los aceites y grasas son la consecuencia de las mantequillas y aceites vegetales estables y de difícil descomposición por las bacterias. Por ello, es muy importante removerlos antes del tratamiento o presentarán problemas en el proceso (1).

- **Agentes tensoactivos o surfactantes:** Son moléculas que producen espumas y se conocen como detergentes que se utilizan para limpiar. En la etapa de aireación, pueden causar problemas, debido a que es probable que originen espuma y, de ese modo, afecten al desarrollo de las bacterias (1).

- **Compuestos orgánicos volátiles (COV):** Se trata de aquellos que presentan una ebullición inferior a 100°C, además de una presión superior a 1 mmHg a 25°C. Para Metcalf & Eddy (19), los COV son importantes porque

- Aumentan las posibilidades de vertido al medio ambiente, debido a que se encuentra en estado gaseoso.
- Su presencia en el aire puede generar daños a la salud.
- Ayudan con el aumento de hidrocarburos reactivos en la atmósfera y producen químicos oxidantes.

El vertido de estos hacia el alcantarillado y PTAR puede dañar a la salud de las personas que manipulan estas aguas (19).

- **Pesticidas:** Son compuestos que se encuentran en un nivel traza, y son tóxicos para muchas formas de vida. Son considerados uno de los contaminantes más peligrosos en las aguas superficiales. La

acumulación de estos puede tener como consecuencia la alteración del agua, y el deterioro y muerte de los peces (19).

b. Oxígeno disuelto

Es uno de los principales parámetros, puesto que determina la reproducción, metabolismo y obtención de energía de muchos organismos. El oxígeno disuelto es un indicador importante del grado de contaminación del agua, debido a que la materia orgánica presente en este líquido lo afecta directamente.

En las aguas residuales, debe encontrarse una concentración no mayor de saturación del 110%. Si sobrepasa estos niveles, podría generar una enfermedad denominada “burbuja de gas” en los peces. Esto puede ocurrir en aguas con alto contenido de nutrientes e importantes poblaciones de algas, lo que generaría oxígeno en grandes cantidades en ciertas horas del día (1).

c. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Es considerada como la cantidad de oxígeno que necesitan las bacterias en condiciones aerobias para poder deshacer la materia orgánica del agua residual. Esto sucede debido a que las sustancias orgánicas desechadas son alimento para las bacterias (1). En otras palabras, estos organismos microscópicos que están en condiciones aerobias consumen el oxígeno rápidamente y generan su disminución. La demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) se genera por la respiración bacteriana. Este proceso terminará si la materia orgánica se agota. Cabe destacar que la evaluación de la DBO₅ se realiza durante 5 días y a 20°C (DBO₅); sin embargo, se podrían realizar en diferentes tiempos (DBO₇ y DBO_u) (1).

Según Metcalf and Eddy (19), la DBO₅ se emplea para

- 1) Establecer la cantidad aproximada de oxígeno necesaria para estabilizar la materia orgánica
- 2) Establecer las dimensiones de las instalaciones de un área para el tratamiento de aguas
- 3) Medir la efectividad de algunos procesos

- 4) Inspeccionar las limitaciones que se encuentran relacionadas a los vertimientos.

d. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Mide la demanda de oxígeno de forma diferente, veraz y acelerada; además, es una de las formas de calcular la materia orgánica de manera indirecta por medio de los compuestos orgánicos en la demanda de oxígeno. A diferencia de la DBO₅, la DQO usa un medio ácido (Dicromato de Potasio) (1).

e. Potencial de Hidrógeno (pH)

El potencial de hidrógeno es uno de los parámetros más importantes en las aguas residuales y naturales, debido a que su concentración idónea contribuye con el desarrollo de la biología.

Cabe destacar que el agua puede actuar como ácido o base (anfoterismo). Cuando esta es residual y su pH es inapropiado, puede alterar o dificultar los procesos biológicos (19).

El pH adecuado para el crecimiento de la biota oscila entre 5 y 9. Si el agua se encuentra fuera de ese rango, su tratamiento sería más complicado.

f. Materia inorgánica

El aumento de esta dependerá del contacto con las formaciones geológicas, aguas tratadas y/o aguas sin tratamiento, a excepción de algunas aguas industriales. Esta materia no se usa para eliminar los componentes inorgánicos incorporados en el ciclo de uso, debido a que podría afectar al recurso hídrico.

g. Alcalinidad

Está representada por bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos (calcio, magnesio, sodio, potasio o amoníaco) que se encuentran en el agua. Los alcalinos más comunes son el bicarbonato de magnesio y calcio. Cabe destacar que este parámetro es importante, puesto que ayuda a regular el pH (19).

h. Nitrógeno (N) y Fósforo (P)

Ambos parámetros son muy importantes para el desarrollo de algunas plantas, puesto que, muchas veces, son nutrientes esenciales. Específicamente, el primero ayuda a sintetizar proteínas; por ello, es importante conocer su presencia y cantidad en las aguas para evaluar las posibilidades de tratamiento por medio de un proceso biológico. Es preciso aclarar que, si el nitrógeno se encuentra en cantidades menores, será necesario añadirlo para poder realizar dicho procedimiento (19).

i. Azufre (S)

El azufre se presenta de manera natural en los abastecimientos de aguas residuales. Este es un elemento indispensable para la sintetización de las proteínas, que después será liberado en la etapa de degradación. Debido a las bacterias en condiciones anaeróbicas, los sulfatos se minimizan en sulfuros de hidrógeno y sulfuros (19).

j. Gases

Generalmente, los gases se presentan en las aguas residuales como sulfuro de hidrógeno, metano, oxígeno, amoníaco, nitrógeno, dióxido de carbono (19).

- **Sulfuro de hidrógeno:** Se genera durante la descomposición de compuestos orgánicos que tienen azufre o durante la reducción de sulfatos minerales y sulfitos. Es un tipo de gas muy inflamable, incoloro y de olor muy característico (huevo podrido). Dota a las aguas de un color negro, debido a que se forman sulfuros de hidrógeno combinados con hierro (sulfuro ferroso) (19).
- **Metano:** Es el principal derivado de una descomposición anaeróbica de los compuestos orgánicos. Es un combustible de hidrocarburo que contiene energía valiosa y es incoloro e inodoro (19).

2.2.1.3.3. Característica biológicas

a. Microorganismos

Los microorganismos principales se clasifican en eubacterias, arqueobacterias y eucariotas. Cabe señalar que la mayor parte de estos pertenecen al grupo de bacterias (algas, hongos y los protozoos,

helechos, musgos, etc.). En el siguiente cuadro, se observa la clasificación de estos:

Tabla 3. Clasificación de los microorganismos

Grupo	Estructura celular	Caracterización	Miembros representativos
Eucariotas	Eucariota	<ul style="list-style-type: none"> • Multicelular, con gran diferenciación de las células y el tejido • Unicelular o coenocítica o micelial; con escasa o nula diferenciación de tejidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Plantas (plantas de semilla, musgos, helechos). • Animales (vertebrados e invertebrados) • Protistas (Algas, hongos, protozoos).
Eubacterias	Procariota	Química celular parecida a las eucariotas	La mayoría de las bacterias
Arqueobacterias	Procariota	Química celular distintivo	Metanógenos, halófilos, termacidófilos

Nota: Tomada de Metcalf & Eddy (19)

b. Bacterias:

Se pueden catalogar como eubacterias procariotas unicelulares. Una de las maneras mediante las cuales se les clasifica depende de su forma: filamentosas, bastón curvado, bastón y esferoidales. Es preciso señalar que las bacterias coliformes se incluyen dentro de los indicadores de contaminación por los residuos generados por la población (19).

c. Hongos:

Existen los no multicelulares, fotosintéticos, protistas, aerobios, eucariotas, heterótrofos, entre otros. Estos son importantes en el proceso de la descomposición de carbono (junto a las bacterias) y tienen ciertas ventajas, debido a que pueden desarrollarse en lugares con baja humedad y pH bajo (19).

d. Animales y plantas:

La presencia de estos es muy útil al momento de hacer una valoración en los cuerpos de agua y su ausencia es un indicador de toxicidad (19).

2.2.2. Tratamiento de aguas residuales

A continuación, se presenta el siguiente cuadro:

Tabla 4. Tipos de tratamiento y Tratamiento de aguas residuales

PRETRATAMIENTO	
Cribado	
Dilaceración	
Desarenado	
Desengrasado	
Homogenización	
TRATAMIENTO PRIMARIO	
QUÍMICO	FÍSICO
Coagulación	Sedimentación
Neutralización	Floculación
	Flotación
	Filtración
TRATAMIENTO SECUNDARIO	
Lodos activados	Estabilización por lagunaje
Aireación prolongada (Proceso de oxidación total)	Filtros biológicos
Estabilización por contacto	Biodiscos
Otras modificaciones del sistema convencional de lodos activados: aireación de fases, mezcla completa, aireación descendente, alta carga, aireación con oxígeno puro	Tratamientos anaerobios
Lagunaje con aireación	
TRATAMIENTO TERCIARIO O AVANZADO	
Microtamizado	Ósmosis inversa
Filtración (lecho de arena, antracita diatomeas)	Electrocoagulación
Precipitación y coagulación	Cloración y Ozonización
Adsorción (Carbón activado)	Proceso de reducción de nutrientes
Intercambio iónico	Otros

Nota: Tomada de Bermeo (20)

Bermeo (20), indica que tratar el agua residual

1. Permite la reducción de la carga orgánica en los puntos de vertimientos (efluentes), en distintos términos de DBO₅ y DQO.
2. Reducir el nitrógeno y fósforo para impedir la contaminación de las aguas freáticas o subterráneas que se generan a causa de la infiltración del subsuelo y eutrofización en cuerpos receptores.
3. Inactivar todo microorganismo patógeno, incluyendo los parásitos.

2.2.2.1. Pretratamiento de aguas residuales

A. Pretratamiento

Según Bermeo (20), este es un procedimiento que se aplica para reducir todo material grueso que se presente de forma visible o en flotación. Lo primordial es retirar la mayor cantidad posible de desechos de gran volumen para evitar problemas en posteriores tratamientos (20).

El autor establece tres objetivos primordiales en el este proceso:

- Eliminación de sólidos de gran tamaño
- Separación de partículas como la arena
- Separación de espumas, aceites y grasas

Cabe recalcar que la fase de pretratamiento se implementa en la cabecera, lugar donde se lleva a cabo la recepción del agua residual.

a. Pozo de Gruesos

Cuando se esperan grandes cantidades de arena o sólidos de mayor volumen, se construye el pozo de gruesos, con el fin de reunir estos elementos en un área específica para poder extraerlos con facilidad antes de que pase a la siguiente fase del tratamiento (20).

b. Cribado

Conocido también como desbrozo. Este se aplica para reducir los sólidos suspendidos de diferentes tamaños a través de una rejilla, cuyo diámetro dependerá del objetivo establecido. Esta limpieza se realiza de manera mecánica o manual. Finalmente, la materia recogida puede ser tratada por digestión anaeróbica o ser dirigida a un vertedero (21).

c. Sedimentación

La sedimentación es un tratamiento mediante el cual se someten a las aguas residuales a diferentes procesos para separar los sólidos suspendidos. Este

método divide dichos componentes a partir del peso específico del agua residual y de las partículas sólidas (21).

d. Desarenado

Según Bermeo (20), el objetivo de este proceso es reducir las partículas más pesadas que no pudieron ser retenidas en el cribado, porque presentaban un tamaño mayor a 200 micras (arenas, cáscaras, semillas, etc.). Existen tres tipos

- Desarenador de flujo vertical
- Desarenador de flujo inducido
- Desarenador de flujo horizontal

e. Desengrasado

El objetivo de este proceso es reducir gran parte de aceites, espumas y algunos otros componentes que se presentan como flotantes. El tratamiento se realiza mediante aireación, para así poder desemulsionar las grasas y hacer que estas floten. Es importante aclarar que, si no se logran eliminar las grasas, estas podrían formar costras en los digestores; además, este método no siempre se lleva a cabo los procesos de tratamiento (20).

f. Dilaceración

Bermeo (20) indica que el objetivo del cribado es triturar materia sólida que fue arrastrada por el agua y acondicionarla para el siguiente proceso: la dilaceración. Esta genera la descarga y la evacuación de los residuos de la reja (20).

2.2.2.2. Tratamiento primario

Busca reducir los sólidos suspendidos compuestos por materia orgánica. Este tratamiento reducirá la DBO₅ y la contaminación bacteriana, por medio de sedimentación. Generalmente, este proceso llega a remover el 35% - 40% de la DBO₅ y el 60% de sólidos suspendidos del agua residual cruda (20).

Según Bermeo (20), los sólidos suspendidos son los siguientes:

- Sólidos sedimentables (llegan a separarse si el agua está reposada una hora)

- Los flotables y parte de sólidos coloidales (10-3 y 10 micras)

A. Neutralización

La neutralización, también conocida como adaptación del pH, busca que el agua se acerque a su rango más neutral (7) (el valor óptimo para que las bacterias se desarrollen con normalidad es entre 6.5 y 8.5). Es parte de las fases más importantes del tratamiento de aguas, puesto que permite cuidar los cuerpos receptores de las descargas alcalinas o ácidas. Es preciso señalar que muchas de las descargas de industrias se realizan en una condición alcalina o ácida, que complica los procesos biológicos posteriores al pretratamiento (20).

A continuación, se detalla la tabla de industrias que generan aguas residuales ácidas o alcalinas:

Tabla 5. Industrias que generan aguas residuales ácidas o alcalinas

INDUSTRIA	AGUA RESIDUAL ÁCIDA	AGUA RESIDUAL ALCALINA
Aluminio	X	
Bebidas Carbonatadas		X
Bronce y Cobre	X	X
Café	X	
Caucho	X	X
Cervecería y destilería	X	X
Cola	X	X
Curtiembres	X	X
Drenaje de minas de carbón	X	
Energía	X	X
Enlatados	X	X
Explosivos	X	
Farmacéuticos	X	X
Fosfatos	X	
Hierro y acero	X	
Lavanderías comerciales		X
Limpieza de metales	X	
Papel	X	X
Pesticidas	X	

Plantas de ablandamientos		X
Plantas químicas	X	X
Refinerías de petróleo	X	X
Textiles	X	X

Nota: Tomada de Romero, p. 322 (19)

B. Coagulación - Floculación

En una PTAR se realiza una prueba o test de jarra, que permita encontrar la dosis necesaria de coagulante para el tratamiento del agua. Este procedimiento también es utilizado para calcular la velocidad de sedimentación y así diseñar los tanques de este último proceso (20).

C. Sedimentación o Decantación primaria

Se le llama así a la separación de partículas más grandes y pesadas por medio de la gravedad. Según Bermeo (20) existen tres clases de sedimentación:

- Sedimentación por compresión o espesamiento (concentraciones muy altas >5000-10000 mg/l)
- Sedimentación zonal (concentraciones intermedias entre 500-5000 mg/l)
- Sedimentación de partículas floculantes (concentraciones bajas de sólidos suspendidos menores a 300-500 mg/l)

D. Flotación

Es la operación que busca separar partículas de un medio líquido. Esto se genera gracias a la introducción de aire, lo que origina que estas burbujas se junten a algunas partículas, llevándolas hacia la superficie (19).

Romero indica que la principal ventaja de este proceso ante la sedimentación es que logra eliminar de una mejor forma y en un menor tiempo las partículas pequeñas mediante un rascado superficial. Además, permite reducir los olores debido a los cortos periodos de retención. Asimismo, se puede aplicar en un tiempo corto de retención y altas cargas superficiales, lo que quiere decir que el tamaño del tanque es más pequeño y disminuye el costo de construcción (22).

2.2.2.3. Tratamiento secundario

Es conocido también como tratamiento biológico y tiene como objetivo principal reducir la materia orgánica disuelta. Este procedimiento busca que los microorganismos correctos adquieran la materia orgánica que se encuentra junto al agua residual (20).

A. Depuración biológica

Se realiza mediante la reducción de contaminantes biodegradables por medio de un proceso conocido como biocenosis o comunidad de microorganismos (principalmente bacterias) que están en un ambiente con control especial (20).

Existen cuatro tipos de procesos, los cuales se mencionan a continuación:

Tabla 6. Principales procesos del tratamiento biológico

TIPO	CRECIMIENTO	PROCESO	USO PRINCIPAL
Aerobios	Suspendido	Lodos activados	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
		<ul style="list-style-type: none"> - Convencional - Mezcla completa - Aireación escalonada - Estabilización y contacto - Oxígeno puro - Tasa alta - Aireación prolongada - Proceso de Krauss - Zanjón de oxidación 	
	Adherido	Lagunas aireadas	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
		Digestión aerobia	Remoción de DBO ₅ y estabilización
		Lagunas aerobias	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
		Filtros percoladores	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
Anóxicos	Suspendido	Torres biológicas	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
		Unidades rotatorias de contacto	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
	Adherido	Reactores de lecho fijo	Remoción de DBO ₅ y nitrificación
		Bardenpho	Remoción de DBO ₅ , N y P
Anaerobios	Suspendido	Desnitrificación	Remoción de N
		Desnitrificación	Remoción de N
	Híbrido	Digestión anaerobia	Remoción de DBO ₅ – Estabilización
		Anaerobio de contacto	Remoción de DBO ₅
		Lagunas anaeróbicas	Remoción de DBO ₅ – Estabilización
		Manto de lodos – flujo	

	Ascensional (PAMLA) o UASB	Remoción de DBO ₅ y SS
Adherido	Filtro anaerobio Lecho expandido	Remoción de DBO ₅ – Estabilización Remoción de DBO ₅ – Estabilización

Nota: Tomada de Romero, p. 229 (19)

B. Tratamiento aeróbico

Lodos activados

El tratamiento mediante esta metodología posibilita que un reactor biológico, que contiene varias bacterias en suspensión, realice la oxidación de la sustancia orgánica. Las condiciones aerobias tienden a realizarse por medio de difusores y acoplamientos. Posterior al tiempo de mezcla y homogeneización de las células nuevas con las viejas, la biomasa pasa hacia un sedimentador para separarla del agua que ya se encuentra tratada. En este proceso, un volumen de células sedimentadas son recirculadas al reactor para, de esta manera, mantener el ciclo (20).

En este proceso las bacterias son el recurso más importante, ya que alteran la materia o compuestos orgánicos. Este procedimiento ha demostrado ser eficaz para el tratamiento de las aguas residuales tanto industriales como domésticas (20).

C. Tratamiento anaeróbico

Mediante este proceso, el agua residual ingresa al fondo del reactor para, posteriormente, fluir por medio de un manto de lodos formado por microorganismos (20).

Sette Ramalho (21) afirma que en un tratamiento anaeróbico se liberan gases como producto final: el gas principal CH₄ (metano), CO₂ (dióxido de carbono) y en traza H₂S (sulfuro de hidrógeno), RSH (mercaptano) e H (hidrógeno).

- Fermentación ácida: Se presenta porque se hidrolizan los compuestos orgánicos complejos del agua residual, produciendo unidades moleculares menores, las mismas que son sometidas a biooxidación. Este proceso origina ácidos orgánicos como acético, propiónico y butílico. Dicho efecto es producido por algunas

bacterias facultativas y anaerobias. Cabe resaltar que en este procedimiento la reducción de la DQO no es tan significativa (21).

- Fermentación metánica: Se presenta por presencia de microorganismos metagénicos que son anaerobios y transforman los ácidos de larga cadena a CH_4 , CO_2 , y ácidos orgánicos de corta cadena. Estas moléculas ácidas se fraccionan, repentinamente, y se obtiene como resultado ácido acético que se convierte en CH_4 y CO_2 . Puesto que esta fermentación permite el control de la rapidez de este proceso, es muy importante que se lleve a cabo en condiciones óptimas. Asimismo, la duración de residencia de los microorganismos debe ser suficiente; de lo contrario, deben ser retirados del proceso (21).

2.2.2.4. Tratamiento terciario o avanzado

Este tratamiento se aplicaría si es que, al finalizar el procedimiento secundario, no se logra cumplir con la normativa vigente para el vertimiento. Su finalidad es reducir la mayor cantidad de microorganismos fecales y gérmenes, la demanda de oxígeno, precipitar el fósforo por medio de insolubilización y el uso de carbón activado para la filtración de compuestos orgánicos (20).

A. Desinfección

Busca la eliminación de los microorganismos, que en los procesos anteriores no se han eliminado en su totalidad. Cabe precisar que en las aguas residuales, los organismos de procedencia antropogénica (bacterias, virus y quistes amebianos) pueden generar enfermedades (19).

A continuación, se presentan algunos métodos de desinfección, según Metcalf & Eddy (19) :

- Agentes químicos; tales como el cloro y sus componentes, metales pesados, el fenol y sus componentes fenólicos, el yodo, el bromo, el ozono, los alcoholes, agua oxigenada, ácidos, álcalis diversos, jabones, compuestos de amonio cuaternario y colorantes. Los tres últimos son los más comunes.

- Agentes físicos; aquellos como el calor y la luz. Cabe recalcar que algunos microorganismos mueren al estar en contacto con estos agentes físicos, pero existen otros que pueden tolerar condiciones extremas.
- Medios mecánicos; al estar sometidos a las etapas de tratamiento de aguas, los microorganismos pueden disminuir, pero no en su totalidad.
- Radiación; la desinfección puede llevarse a cabo mediante la radiación de partículas, la acústica y la radiación electromagnética.

B. Nitrificación y desnitrificación

- Nitrificación biológica: En este proceso actúan dos tipos de bacterias: las nitrosomonas, que oxidan el amoníaco; y las nitrobacter, que convierten el nitrito en nitrato (19).
- Desnitrificación biológica: Es la separación del nitrógeno transformado en nitrato (proceso realizado sobre condiciones anóxicas) (19).

C. Adsorción con carbón activado

La aplicación de este proceso, según Metcalf & Eddy (19), se debe llevar a cabo en tres etapas:

- Macrotransporte: Esta fase abarca el movimiento por difusión y advección de la materia orgánica por medio de un líquido hasta llegar al punto entre líquido-sólido.
- Microtransporte: Es la etapa en la que el material orgánico se difunde a través de macroporos hasta llegar al área de adsorción.
- Sorción: Es el momento en el cual la materia orgánica se une al carbón activado granular.

Cuando este elemento llega a su límite de adsorción, se genera un equilibrio entre las tasas de desorción y sorción (19).

2.2.3. Reactor de biopelícula de Lecho Móvil – MBBR

2.2.3.1. Definición

Es una tecnología mediante la cual se desarrolla biomasa en el interior de las paredes de unos soportes plásticos (polietileno o polipropileno). Estos poseen una superficie específica alta por unidad de volumen, lo que facilita el mayor crecimiento de biomasa y una efectividad mayor respecto a un sistema convencional (23).

2.2.3.2. Descripción del proceso

En gran parte de las aplicaciones, el flujo de un MBBR es un proceso de un solo paso, lo que significa que todo el procesamiento se realiza en un tanque. Sin embargo, en algunos casos, de acuerdo a ciertas características y fuente del agua, se requiere un tanque de homogeneización y uno de desnitrificación, si el agua tiene un alto contenido de nitrato (14).

Durante este proceso, el agua atraviesa por medio de filtros gruesos y finos para retener los sólidos antes de ingresar al tanque del MBBR. Además, los carriers deben mantenerse en constante movimiento circular de abajo hacia arriba a través de un sistema de oxigenación de burbujas gruesas. Estos albergan a microorganismos para iniciar con el tratamiento biológico de las aguas (23).

2.2.3.3. Parámetros de diseño

A continuación, se presentan los parámetros de diseño para plantas de tratamiento de flujo continuo.

2.2.3.3.1. Carga hidráulica

Es la cantidad de agua vertida al filtro biológico (Lps) por cada metro cuadrado de la superficie del filtro hacia el cual va a llegar este elemento (Lps/m²) (1).

Ecuación 1. Carga Hidráulica

$$q_a = \frac{(1 + R)Q}{A_s}$$

Donde

Q: Caudal aplicado al filtro

R: Recirculación Q_r/Q

A_s: Área superficial del filtro m²

2.2.3.3.2. **Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Es la media (tiempo) en la que un volumen de agua se mantiene en un tanque, desde que entra hasta que sale. El TRH en el reactor es muy importante, puesto que es el que define el tiempo promedio por el cual el sustrato orgánico está sometido al tratamiento. Este se calcula con la siguiente fórmula (1).

Ecuación 2. Tiempo de Retención Hidráulica

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

Donde

V: volumen útil del tanque o reactor, en L o m³

Q: caudal del AR, en L/s o m³/s.

2.2.3.3.3. **Carga volumétrica**

Es la cantidad de alimento que recibe el reactor por la unidad de volumen (1).

Ecuación 3. Carga Volumétrica

$$Lv = \frac{DQO * Q}{V}$$

Donde

Q: Caudal del reactor

DQO: Materia orgánica en g/L

V: Volumen útil en L

2.2.3.3.4. **Área específica del carrier**

Es el área superficial apta para el desarrollo del biofilm por m³ de medio fijo utilizado (m²/m³). Refleja la cantidad de biopelícula que se puede formar en el reactor de medio fijo. Comúnmente, debe ser de hasta 200 para aguas residuales industriales (1).

Ecuación 4. Área Específica del Carrier

$$a = \frac{m^2}{m^3}$$

Donde

m²: área superficial apta para el crecimiento de biopelícula

m³: cantidad de medio fijo utilizado

2.2.3.3.5. Volumen de carriers

Los carriers deben ocupar entre 50-60% del volumen útil del reactor. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 5. Área de carriers

$$a = 50\% V \text{ útil}$$

Donde

V útil: volumen útil de la cámara del reactor

Ecuación 6. Volumen de carriers

Volumen de carriers (m³) = Volumen del reactor * % carrier

2.2.3.3.6. Volumen del agua

Es el volumen de agua residual que ocupa en el reactor; en otras palabras, el volumen de agua que se ha de tratar. Se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 7. Volumen de Agua

Volumen de Agua = V. Util – Volumen de carrier

2.2.3.3.7. Cálculo del caudal

Ecuación 8. Caudal

$$Q = VTRH$$

2.2.3.3.8. Oxígeno Requerido Real (ORR)

Es el total de oxígeno que se requiere, el cual se calcula mediante la siguiente ecuación (1).

Ecuación 9. Oxígeno Requerido Real

$$ORR = (2,0 * DBO_5 + NTK + 3,0 * S - H_2S) * Q$$

Donde

DBO₅: Valor promedio de las mediciones

NTK: Nitrógeno Total Kjeldla, Valor del agua residual media

S-H₂O: Valor para agua residual media

Q: Caudal máximo calculado

2.2.3.3.9. Tasa de Transferencia de Oxígeno a Condiciones Estándar (TTOE)

Una vez hallado el ORR, se procede a calcular la TTOE, por medio de la siguiente ecuación (1).

Ecuación 10. Tasa de transferencia de oxígeno a condiciones estándar

$$TTOE = OOR * Csa [\beta * FCA * Cst - c0] * 1.024^{(T-20)}$$

Donde

Cs: OD, 9.092 mg/L

FCA: $1 - (1,17 \times 10^{-4} \times \text{msnm de PTAR})$, (Factor de correlación de altura)

a: Alrededor de 0.75; es la rectificación de transferencia de oxígeno pura a agua residual

β : Alrededor de 0.95; es la rectificación de salinidad

CsT: Temperatura del Agua Residual

c0: 1 a 2 mg/L, es el OD de la operación deseado del reactor

T: Temperatura

1,024^(T-20): factor de corrección de T

2.2.3.3.10. Agitación y aireación

El agua residual debe entrar con la menor cantidad posible de sólidos sedimentables de gran tamaño, debido a que, en esta etapa, las bacterias consumen el material contaminante biodegradable disuelto. Esta fase es ventilada de forma artificial usando normalmente equipos electromecánicos que suministran aire a presión a través de difusores sumergidos; también se suministra en la superficie del fluido, con aireadores superficiales (15).

El primer componente de la aireación es el biorreactor, debido a la demanda de aire requerido para la agitación de sólidos y oxígeno disuelto, que mantenga a una población viable de microorganismos para el biotratamiento. En este proceso, el OD suele ser el parámetro de diseño clave. Así, la cantidad de oxígeno necesaria para un

sistema biológico se vincula con la producción de lodos, deterioro del sustrato, tasa de flujo y la concentración del total que se oxida para formar productos. Esta relación origina un balance de masa en el sistema. El oxígeno se transfiere más comúnmente a la biomasa mediante aire burbujeante o, en algunos casos, oxígeno puro, por medio de difusores de aire. Solo una pequeña parte de este elemento químico que se aporta al sistema se traspassa a la biomasa (23).

2.2.3.4. Medios de soporte

El material de soporte suele ser plástico poroso o naturaleza granular, si de lecho flotante se trata. Se busca una superficie y porosidad elevada, que ayude a tener mayor adherencia de biofilm y se busca perfeccionar el tamaño de las partículas en el rango de 1-7 mm (24).

Sus principales funciones son brindar la generación de biofilm, tener la mejor superficie para que los microorganismos se puedan adherir fácilmente y atrapar a los flóculos microbianos no adheridos en los espacios vacíos del lecho. Además, debe evitar que se formen las zonas muertas y obstrucciones. El uso del medio de soporte permitirá retener los sólidos dentro de los biorreactores, a través del biofilm o biopelícula formado en los espacios del lecho y en la superficie (25).

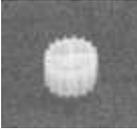
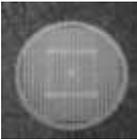
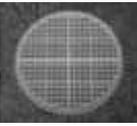
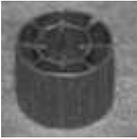
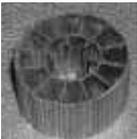
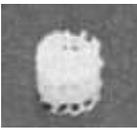
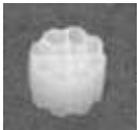
Las finalidades principales del medio de soporte, según Lapo (25), son las siguientes:

- Mejorar la conexión del sustrato y los sólidos biológicos que se encuentran dentro del reactor
- Permitir el almacenamiento de biomasa en gran cantidad
- Trabajar como dispositivo de separación entre los sólidos y gases

Cabe destacar que las fábricas de mercados internacionales han sido las principales impulsoras de medios de soporte de la tecnología MBBR. En la siguiente tabla se muestran los medios de soporte manufacturados:

Tabla 7. Características del medio de soporte

FABRICANTE	NOMBRE	ÁREA ESPECÍFICA	DIMENSIONES (PROFUNDIDAD, DIÁMETRO)	CARRIER FOTOGRAFÍA
------------	--------	-----------------	-------------------------------------	--------------------

Veolia Inc.	AnoxKaldnes™ K1	500 m ² /m ³ 145 kg/m ³ 0.96–0.98	7.2 mm; 9.1 mm	
	AnoxKaldnes™ K3	500 m ² /m ³ 95 kg/m ³ 0.96–0.98	12 mm; 25 mm	
	AnoxKaldnes™ Biofilm Chip (M)	1,200 m ² /m ³ 234 kg/m ³ 0.96–1.02	2.2 mm; 45 mm	
	AnoxKaldnes™ Biofilm Chip (P)	900 m ² /m ³ 173 kg/m ³ 0.96–1.02	3 mm; 45 mm	
Infilco Degremont Inc.	ActiveCell™ 450	450 m ² /m ³ 134 kg/m ³ 0.96	15 mm; 22 mm	
	ActiveCell™ 515	515 m ² /m ³ 144 kg/m ³ 0.96	15 mm; 22 mm	
Siemens Water Technologies Corp.	ABC4™	600 m ² /m ³ 150 kg/m ³ 0.94–0.96	14 mm; 14 mm	
	ABC5™	660 m ² /m ³ 150 kg/m ³ 0.94–0.96	12 mm; 12 mm	
Entex Technologies Inc.	BioPortz™	589 m ² /m ³	14 mm, 18 mm	

Nota: Tomada de Water Environment Federation, p. 215 (23)

2.2.3.5. Biopelícula

Una biopelícula o biofilm es una asociación de células microbianas, que se agrupan de forma irreversible en una superficie y se localizan en una matriz de polisacáridos. Esta es capaz de formarse en una gran variedad de superficies como tuberías de PVC, accesorios metálicos, polímeros plásticos, tejidos vivos, etc. (15).

Los microbios se reúnen formando colonias con el objetivo de protegerse en posibles situaciones complicadas del medio que se presentan. En tratamiento basados en biocarrier, la mayor parte de estos suelen conectarse entre sí, fijarse a diferentes superficies sólidas, multiplicarse y crecer por medio de la producción de polisacáridos extracelulares. En este proceso, generan biopelículas, que les permiten tener algunas ventajas sobre los organismos microscópicos suspendidos; entre estas se destacan el incremento de la actividad metabólica, mejor persistencia dentro del sistema, mayor resistencia a la toxicidad y superiores tasas de crecimiento (25).

2.2.3.5.1. Desarrollo de biopelícula

Una biopelícula tiene un desarrollo de tres etapas:

- Adhesión
- Crecimiento
- Desprendimiento

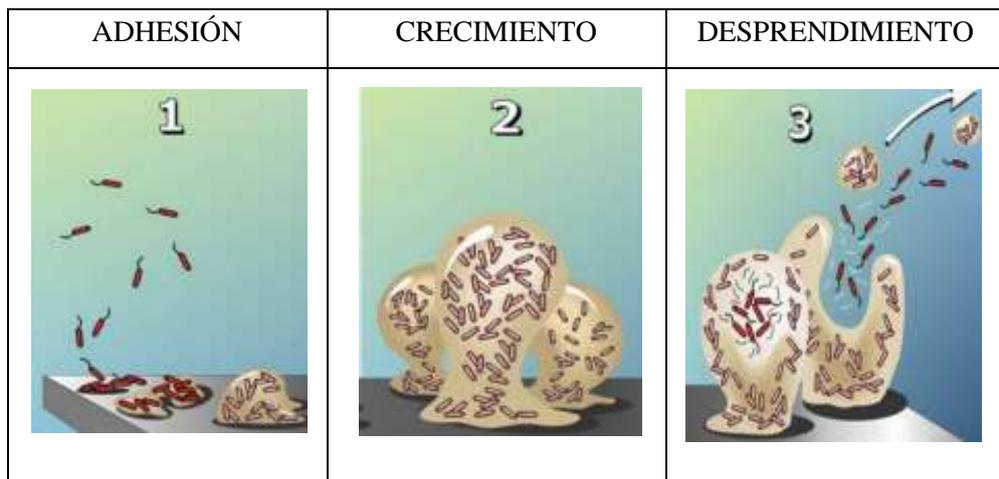


Figura 3. Etapas de desarrollo de Biofilm (27)

2.2.3.5.2. Factores que afectan la formación de la biopelícula

Entre los factores que afectan la formación de las biopelículas se encuentran la temperatura, el pH, los efectos de nutrientes, la velocidad de la turbulencia e hidrodinámica, la topografía de la superficie, la producción de sustancia polimérica y extracelular, la regulación genética, y el quorum sensing (15).

2.2.3.6. Ventajas del MBBR en aguas residuales

La tecnología de biopelícula tiene varias ventajas como se enumeran a continuación:

- Se genera la disminución del volumen de la estructura ya instalada, por la reducción en tamaño de los reactores biológicos debido al empleo de los “carriers”.
- Es sencilla de operar y controlar. Los problemas que podrían surgir son mínimos. Además, hay una disminución de lodos.

2.3. Definición de términos básicos

2.3.1. Calidad del agua: Es el límite fijado de variación o alteración del estado del agua. Este indicador patentiza que no habría ningún tipo de consecuencia dañina cuando sea usada por el hombre o por los organismos que la habitan (28).

2.3.2. Agua residual: “Son aquellas aguas las cuales han sido modificadas sus características originales, gracias a las actividades humanas y que por su baja calidad necesitan un tratamiento previo, antes de ser reusadas” (17).

2.3.3. Agua residual industrial: “Se conoce a aquellas aguas que se generan por la actividad de cualquier proceso productivo. Ello también contempla a aguas provenientes de diferentes sectores (agrícola, minería, agroindustrial, energética, etc.)” (17).

2.3.4. Biorremediación: Es el aprovechamiento de microorganismos para el aceleramiento de la descomposición de los contaminantes; de esa manera, estos se transforman en sustancias no tóxicas o menos contaminantes (29).

2.3.5. Carga orgánica: Es la cantidad de compuestos de carbono presentes en aguas residuales o efluentes sin importar su origen. Estas son moléculas que se enlazan al hidrógeno, azufre, nitrógeno, cloro, entre otros elementos (30).

2.3.6. Contaminación del agua: “Es el acaparamiento de sustancias tóxicas y rebose de fluidos en un sistema hídrico (río, mar, cuenca, etc.) que alteran la calidad del agua” (31).

2.3.7. MBBR (Reactor de Lecho Móvil): Se caracteriza por ser un proceso aeróbico biológico, que se utiliza para el tratamiento y reducción de contaminantes de aguas residuales, mediante el deterioro de materia orgánica por microorganismos aeróbicos (32).

- 2.3.8. Carrier:** Son soportes de material plástico poroso para favorecer la adherencia de biofilm en mayor volumen y trata de optimizar el tamaño de las partículas (12).
- 2.3.9. Biofilm:** Es un ecosistema conformado por diferentes microorganismos afiliados a superficies vivas o inertes, con ciertas estructuras complejas y características funcionales. Estas se adhieren a un material que puede ser de naturaleza biótica o abiótica (33).
- 2.3.10. Límites máximos permisibles:** Es la medida que delimita la concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, biológicos y químicos que se presentan en un efluente o una emisión y que, al sobrepasarse, pueden causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente (17).
- 2.3.11. Valores máximos admisibles:** Son los valores de concentración de parámetros químicos o físicos, sustancias o elementos que distinguen a un punto de vertimiento que descargará a la red de alcantarillado (34).
- 2.3.12. Estándares de calidad ambiental:** “Establecen patrones de concentración de elementos o sustancias existentes en el ambiente las cuales no implican riesgos para la salud y el ambiente” (35).
- 2.3.13. Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Es un proceso biológico que indica la dosis de oxígeno que consumen algunos microorganismos en la etapa de descomposición de las sustancias orgánicas que se presentan en los cuerpos de aguas (36).
- 2.3.14. Demanda Química de Oxígeno:** “Es la dosis química mínima de oxígeno que tiene el agua; es decir, el oxígeno necesario oxidación completa de los productos orgánicos a inorgánicos” (36).
- 2.3.15. PTAR:** Es un conjunto integrado de actividades y procesos químicos, físicos y biológicos utilizados con el propósito de purificar aguas residuales a un rango tolerable que permita lograr la calidad de agua requerida para su posterior tratamiento, uso final o aprovechamiento por reutilización (37) .

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Método, tipo o alcance de la investigación

3.1.1. Método de la investigación

El método de la presente investigación es hipotético – deductivo. Según José Cegarra (38), este es una vía lógica para buscar el mejor resultado frente a las situaciones problemáticas que nos planteamos. Para llevarse a cabo, se plantean hipótesis acerca de las probables soluciones al problema presentado y, luego, se comparan y corroboran con los datos disponibles (38).

Además, en este estudio se ha utilizado el método hipotético – deductivo, dado que permite la observación, explicación y creación de la hipótesis. Esto permitirá establecer la eficiencia de la tecnología MBBR para la remoción de contaminantes provenientes de las descargas de aguas residuales del camal municipal de Cotahuasi y comprobar la veracidad de las hipótesis mediante la experimentación.

La metodología que complementa al proyecto es el método analítico. Del Cid, Méndez & Sandoval (39), afirman que este busca descomponer un objeto en sus partes constitutivas. En ese sentido, nos permitirá aclarar los parámetros biológicos, físicos y químicos de la problemática planteada.

3.1.2. Alcance de la investigación

3.1.2.1. Nivel de la investigación

El nivel de la investigación es explicativo. Según Manuel Cortés (40) este nivel sobrepasa la mera descripción de conceptos. Además, está orientado a dar respuesta a las causas de los acontecimientos y fenómenos físicos o sociales. Bajo esa lógica, la presente investigación busca resolver el problema explicando el proceso en el cual se desarrolla.

3.1.2.2. Tipo de la investigación

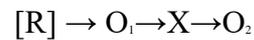
La presente investigación es aplicada. Según Nicomedes (41), esta sigue el procedimiento de la investigación en las ciencias formales, es decir, se formulan hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva de la sociedad. Además, está dirigida a resolver los percances que aparecen en los diferentes procesos de producción, consumo de bienes y servicios, etc.

Se ha elegido este tipo de investigación debido a la presencia intermitente del investigador, que ha evaluado y obtenido datos en ciertos periodos de tiempo.

3.2. Diseño de la investigación

El diseño de la presente investigación es experimental, debido a que es un estudio en el que se manipulan intencionalmente las variables independientes (una o más, supuestas causas-antecedentes), para examinar las consecuencias sobre la manipulación de las variable independientes (supuestos efectos-consecuentes), dentro de una situación de control para el investigador (42).

Este diseño experimental ha permitido usar la tecnología MBBR para posteriormente aplicarlo.



Siendo

[R]: Agua residual

O₁: Medición inicial

X: Tecnología MBBR

O₂: Medición final de tratamiento MBBR

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población para el presente trabajo de investigación está representada por el conjunto de aguas residuales provenientes de camales que se encuentran en la provincia de Arequipa.

3.3.2. Muestra

La muestra que se considera para el proyecto de investigación está constituida por 40 a 50 L de agua residual recolectada del camal municipal de Cotahuasi.

3.3.3. Muestreo

El tipo de muestreo fue no probabilístico. Cabe precisar que la elección fue por conveniencia debido al conocimiento de la problemática (por terceras personas). Según Otzen y Manterola (43), este tipo de muestreo nos permite escoger casos asequibles que acepten ser incluidos. Esto, además, permitió la accesibilidad y proximidad de los recursos para el investigador.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1. Técnicas

En este proyecto de investigación, se han aplicado las técnicas de observación y análisis documental, ya que hubo intervención por parte del investigador, quien evaluó constantemente la eficiencia del reactor para obtener nuevos datos en un periodo de tiempo. Así mismo, el análisis documental fue útil para obtener datos e información.

3.4.2. Instrumentos

Para el presente trabajo de investigación, se utilizaron los siguientes instrumentos de recolección de datos:

- Ficha de recolección de datos, (ver anexo 10)
- Cámara fotográfica
- Computadora portátil
- Diario de campo

3.5. Metodología de experimentación

3.5.1. Ubicación geográfica de la toma de muestra

La toma de muestra se realizó en el punto final de la tubería del camal municipal de Cotahuasi, el cual transporta el agua residual hasta una acequia.

Estas son las coordenadas geográficas del Punto de Toma de Muestra:

- Zona: 18 L
- Coordenada Este: 726658.88 m E
- Coordenada Norte: 8317386.05 m S



Figura 4. Punto de muestreo del agua residual

MAPA DE UBICACIÓN DE PUNTO DE TOMA DE MUESTRA



Figura 5. Mapa de ubicación de toma de muestra

3.5.2. Toma de muestra

La toma de muestra se realizó en un punto de vertimiento del camal municipal de Cotahuasi, que es transportado por tuberías hasta la acequia más cercana. Es preciso aclarar que dicho punto se encuentra aledaño a la PTAR (no está en funcionamiento) que fue destinada para el tratamiento.

La muestra se ejecutó de acuerdo con los requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de muestras para el monitoreo del “Protocolo Nacional para el Monitoreo de la Calidad de los Recursos Hídricos Superficiales” utilizando los procedimientos y formatos de un Laboratorio acreditado por INACAL.

Para la toma, se consideró el tipo de recipiente y condiciones de preservación.

PARÁMETROS	TIPO DE RECIPIENTE	CONDICIONES DE PRESERVACIÓN Y ALMACENAMIENTO	TIEMPO MÁXIMO DE ALMACENAMIENTO
Aceites y grasas	Vidrio ámbar	Adición de preservante H ₂ SO ₄	1 mes
Coliformes termotolerantes	Plástico	Dejar un espacio de aire a 1/3 del frasco	24 horas
DBO ₅	Plástico	Llenado de recipiente total sin burbujas	24 horas
DQO	Plástico	Adición de preservante H ₂ SO ₄	6 meses
Sólidos suspendidos totales	Plástico o vidrio	Utilizar ice pack (5°C ± 3°C)	2 días
Ph		Análisis realizado <i>in situ</i>	
Temperatura		Análisis realizado <i>in situ</i>	

Considerando que el tiempo de viaje de la ciudad de Cotahuasi a la ciudad de Arequipa es de 8 horas, para el transporte de las muestras, se utilizó un cooler con *ice pack*.



Figura 6. Toma de muestra del agua residual

3.5.3. Caracterización de aguas residuales

Para la caracterización de las aguas residuales, se aplicaron los siguientes criterios:

3.5.3.1. Selección de los parámetros a evaluar:

Los parámetros que se analizaron para la caracterización inicial de las aguas residuales estuvieron basados en el D.S. N° 010-2019-VIVIENDA “Reglamento de Valores Máximos Admisibles para aguas residuales no domésticas en el Sistema de alcantarillado sanitario” considerando los parámetros Aceites y grasas, DQO, DBO₅, SST.

Adicionalmente, se analizaron parámetros de los “Límites Máximos Permisibles para efluentes de PTAR” de acuerdo con el D.S. N° 003-2010-MINAM, en el cual se menciona a los Aceites y grasas, DQO, DBO₅, SST, coliformes termotolerantes, pH y temperatura. De esta manera, se pudieron obtener posibles datos referenciales.

3.5.3.2. Métodos para el análisis de los parámetros:

Se aplicaron los “Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales”. Estos fueron realizados por un laboratorio acreditado por INACAL (ver anexo 13).

En la siguiente tabla, se indican los métodos que se emplearon, según el laboratorio, para el análisis de los parámetros seleccionados.

Tabla 8. Métodos de Análisis de Laboratorio

PARÁMETRO	MÉTODO	TÍTULO
Aceites y grasas	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017	Oil and Grease. Liquid-Liquid, Partition – Gravimetric Method
Coliformes Termotolerantes	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23 rd Ed. 2017	Multiple – Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate. Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E. coli.
DBO₅	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5 – Day BOD Test
DQO	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method
Sólidos suspendidos totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 °C

Nota: Tomada de Analytical Laboratory (44)

Para los parámetros *in situ*, se aplicaron los siguientes métodos:

Tabla 9. Método de Parámetros In situ

PARÁMETROS	MÉTODO
Ph	Papel Indicador de pH
Temperatura	Termómetro de agua

Nota: Elaboración propia

3.5.4. Parámetros de diseño

Teniendo en cuenta que el presente proyecto es *In Batch*, se tomaron en cuenta los siguientes parámetros básicos de diseño.

3.5.4.1. Área específica del Carrier

Para hallar el área específica, se aplicó la ecuación 4

$$a = \frac{m^2}{m^3}$$

Donde

m²: área superficial apta para el crecimiento de biopelícula

m³: cantidad de medio fijo utilizado

3.5.4.2. Volumen de carriers

Para el volumen de Carrier, se tomó en cuenta a la empresa FRC, ya que esta recomienda que los carriers deben ocupar entre 30-70% del volumen útil del reactor (45).

Para hallar el volumen de carriers, se aplicó la ecuación 5.

$$a = 50\% V \text{ útil}$$

Donde

V útil: volumen útil de la cámara del reactor

Así mismo, se aplicó la ecuación 6 para hallar el volumen de carriers:

$$\text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} = \text{Volumen del reactor} * \% \text{ carrier}$$

3.5.4.3. Volumen del agua

Es el volumen de agua residual que ocupa en el reactor, es decir, el volumen de agua que se ha de tratar. Se aplicó la ecuación 7.

$$\text{Volumen de Agua} = V. \text{Útil} - \text{Volumen de carrier}$$

3.5.4.4. Oxigenación

Para percibir la cantidad de oxígeno disuelto en el reactor, se hizo uso de un equipo multiparámetro de marca HANNA modelo H198194.



Figura 7. Medidor de Oxígeno Disuelto - Multiparametro (46)

3.5.5. Diseño del prototipo

El diseño del reactor representa el tratamiento secundario de una PTAR.

3.5.5.1. Dimensiones

El diseño del reactor para el presente proyecto se realizó con dimensiones a pequeña escala. Para ello, se utilizó una estructura rectangular construida de vidrio de 5 mm, dividido en 2 cámaras de igual dimensión y volumen, como se detalla a continuación:

- Largo: 62 cm
- Ancho: 35 cm
- Alto: 35 cm externos y 30 cm interno

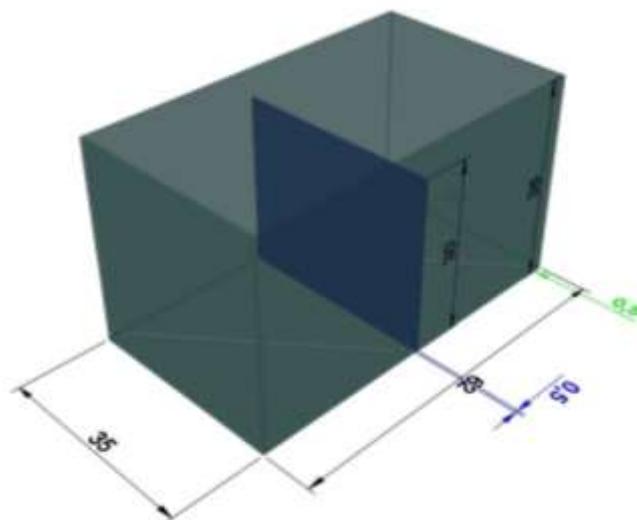


Figura 8. Dimensiones del Reactor

3.5.5.2. Materiales y equipos utilizados

A continuación, se describen los equipos y materias usados en el proyecto:

Tabla 10. Materiales y equipos

MATERIALES			
N°	Descripción	Cantidad	Unidad
1	Recipiente de vidrio rectangular 5 mm	1	Und
2	Carriers	1.7	Kg
3	Baldes de 12 litros	2	Und
4	Manguera de 5 mm	5	mtrs
5	Manguera difusora de 30cm	4	Und
6	Llave de paso	1	Und
7	Tamiz metálico	1	Und
8	Tamiz fino	1	Und
9	Tijera	1	Und
10	Tubo Sifón	1	Unid
11	Colador	1	Unid
12	Papel indicador de Ph	1	Unid
13	Termómetro de pecera	1	Unid
14	Termómetro Ambiental	1	Unid
15	Tecnopor	1	Unid
16	Cartulina	3	Unid
EQUIPOS			
1	Balanza	1	Unid
2	Compresora ACO 003	1	Unid
3	Multiparámetro	1	Unid
EPP			
1	Guantes	1	Caja
2	Lentes	3	Unid
3	Mandil	3	Unid
4	Mascarilla	1	Caj
5	Toga o Cofia	1	Caj

Nota: Elaboración propia

3.5.5.3. Flujo del agua

El experimento se desarrolló *In Batch*, lo que quiere decir que no hubo ingreso constante de agua hacia el reactor. Por otro lado, el transporte del agua hacia otros compartimentos se realizó mediante tubos sifón y baldes con dispensadores de agua.



Figura 9. Tubo Sifón

3.5.5.4. Aireación

Para el sistema de aireación del reactor, se empleó una compresora de aire, cuyo flujo fue regulado por llaves de paso. El aire fluía a través de mangueras de plástico de 0,5 mm de diámetro.

Para la instalación del reactor, se realizó el siguiente procedimiento:

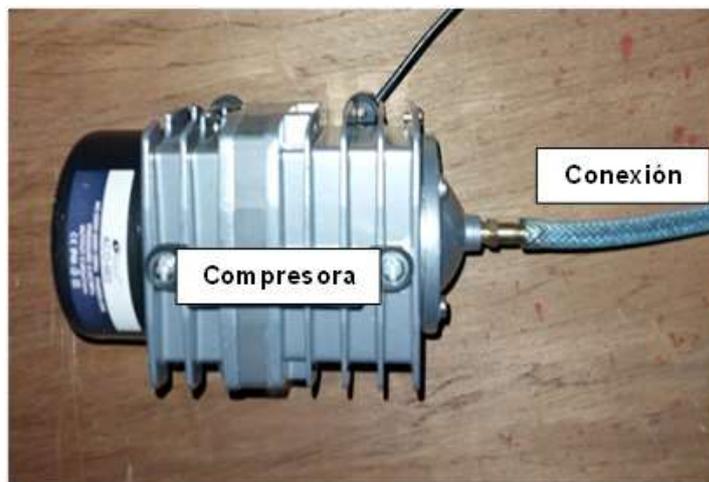


Figura 10. Instalación de compresora de aire

Como se muestra en la figura 10, para la distribución del aire, se empleó la compresora modelo ACO 003. Esta se eligió, después de

realizar diferentes pruebas, debido a su potencia (35W) y un flujo de aire de 65 L/min, características necesarias para la aireación del reactor. La compresora se conectó con una manguera propia de esta.



Figura 11. Distribuidor de aire y llaves de paso

En la figura 11, se observa que se usó una conexión entre la compresora y el distribuidor de aire. En ella se hizo una conexión de 4 mangueras, que empalmaban directamente con las cámaras.

3.5.5.5. Distribución de aire con difusores

Se emplearon 4 mangueras difusoras de aire de 30 cm de largo y 4 mm de diámetro, ubicadas en la estructura interna de vidrio.

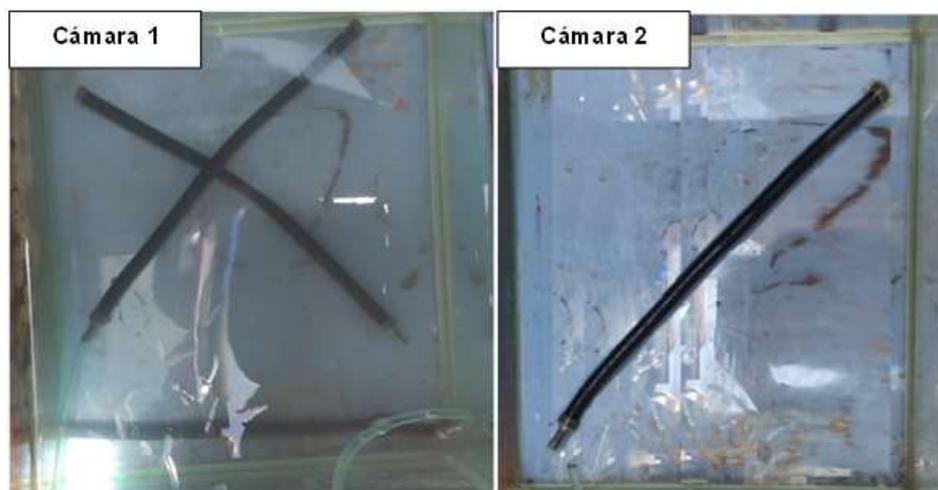


Figura 12. Distribución de mangueras difusoras

Como se muestra en la figura 12, se colocaron 3 mangueras en la cámara: 2 con la forma de “X” para una mejor distribución del aire y 1 conectada a la cámara 2 en forma diagonal. Esto se hizo debido a que el objetivo de la cámara 2 era usar menos cantidad de aire para comparación del tratamiento.

3.5.5.6. Aislamiento térmico

Debido a las bajas temperaturas, se cubrió al reactor con una capa combinada de tecnopor de 3 cm de espesor y cartulina negra. La función del primero era aislar la temperatura del ambiente con el interior del reactor; y la de la segunda, evitar el crecimiento y formación de algas.

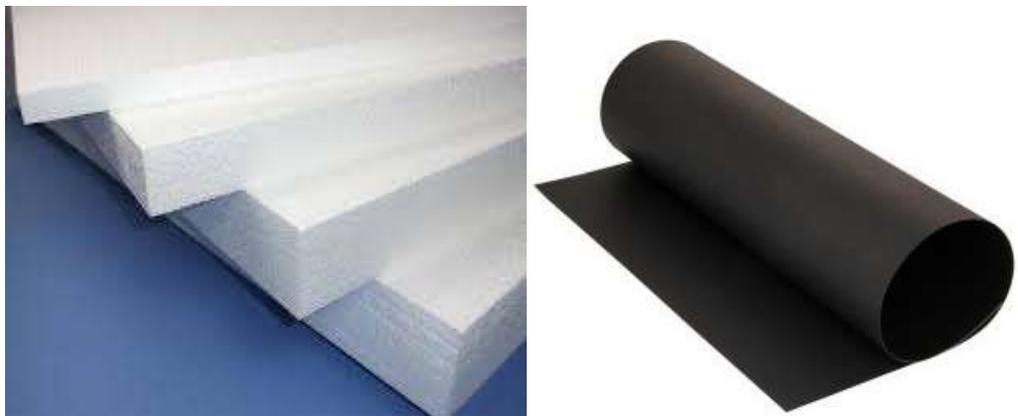


Figura 13. Tecnopor de 3 cm y Cartulina negra (47) y (48)

3.5.5.7. Medio de soporte o Carrier

Para el desarrollo del experimento, se utilizaron carriers reconocidos como AnoxKaldnes™ K3.

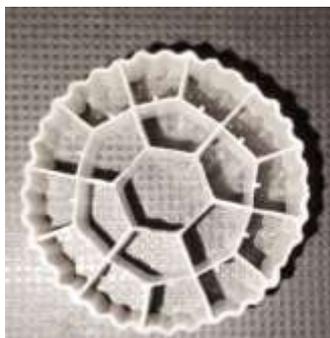


Figura 14. Modelo de Medio de Soporte o Carrier (26)

Tabla 11. Características del medio de soporte o carrier

Características	Unidad	AnoxKaldnes™ K3
Dimensiones	Mm	12*25
Superficie específica	m ² /m ³	>500
Densidad	g/m ³	0.96-0.98
Cavidades	Unidad	19

Nota: Tomada de Water Environment Federation, p. 215 (23)

3.5.6. Prueba del prototipo

Antes del uso del reactor, se hizo una prueba del funcionamiento para constatar que este no tenga fugas y que cuente con una buena aireación.



Figura 15. Prueba en vacío de aireación

En la figura 15, se aprecia la prueba en vacío de las mangueras. Para ello, se llenó cada cámara con 20 Litros de agua durante dos horas. Transcurrido este tiempo, no se observó ninguna fuga de agua y la aireación fue la adecuada.

3.5.7. Tratamiento primario del agua residual

El agua utilizada para alimentar el reactor, se obtuvo del camal municipal de Cotahuasi, posterior a la matanza de los animales.

Se hizo un proceso de adaptación simulando el tratamiento primario de una PTAR, empezando con una cámara de rejillas representada con un colador, malla metálica y malla fina. De esta manera, se pudieron retener los sólidos gruesos y finos con la finalidad de facilitar el tratamiento.

La representación de una trampa de grasas se hizo mediante dos baldes de 12L con sus dispensadores en la parte baja. Se esperaron 14 días para que las grasas se eleven y pase un agua con menor cantidad de estas.



Figura 16. Tratamiento primario de rejillas convencionales



Figura 17. Trampa de grasas y sedimentador convencional

3.5.8. Arranque del reactor

Por lo general, los carriers cuentan con huecos o canales para mejorar la adhesión de microorganismos y formación de biofilm, que, generalmente, se ubica en la parte interior del Carrier (no en la exterior). El movimiento y choque entre estos y el reactor hace que el biofilm se desprenda (49).

Por esa razón, fue fundamental facilitar las condiciones ideales para el desarrollo de los microorganismos. Es por ello que el reactor se mantuvo a una temperatura promedio de 18°C y un pH entre 6 – 8. Para ello, se contó con un

registro diario de estos dos parámetros y se verificó que cumpla con las condiciones mencionadas.

3.5.9. Estimación de remoción de contaminantes

Se estimó la remoción de contaminantes de la salida del reactor de ambos experimentos estudiados. Para determinar el porcentaje de remoción de contaminantes, hizo uso de la siguiente ecuación (1).

Ecuación 11. Remoción de contaminantes

$$R = \frac{(S_0 - S)}{S_0} * 100$$

Donde

R: Remoción del sistema de uno de sus componentes [%]

S: Carga contaminante de salida

S₀: Carga contaminante de entrada

3.5.10. Comparación con legislación ambiental

Se realizó la comparación entre el agua residual del Camal Municipal de Cotahuasi sin tratamiento y el agua tratada por el reactor con tecnología MBBR con los parámetros de los Valores Máximos Admisibles; adicionalmente, se comparó con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de una PTAR.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados del tratamiento y análisis de la información

4.1.1. Resultados

A continuación, se muestran los resultados obtenidos para los porcentajes de carriers adicionados al 50% y 30%, los cuales han sido distribuidos en figuras estadísticas para su mejor comprensión.

4.1.1.1. Caracterización del agua residual proveniente del camal de Cotahuasi

Tabla 12. *Caracterización del agua residual del camal de Cotahuasi*

Parámetro	Unidad	Ingreso
DBO ₅	mg/L	1978.3
DQO	mg/L	4531.0
SST	mg/L	660.0
Aceites y grasas	mg/L	30.10
Coliformes termotolerantes	NMP/100ml	3.5x10 ⁸
Ph	-	7.5
Temperatura	°C	22

Nota: Elaboración propia

En la tabla 12, se muestran los resultados de la composición del agua residual. Esta contiene altos grados de concentración de estos parámetros, debido a que las muestras fueron tomadas en el punto de descarga del camal, el cual no cuenta con ningún tratamiento en todo el proceso de obtención de carne.

Como se observa, el nivel de pH es 7. Esto quiere decir que se mantiene relativamente neutro. Respecto a la temperatura, esta fue de 22°C. Ambas (PH y T) son condiciones óptimas para el crecimiento de los microorganismos. Asimismo, se advierte que los SST son elevados debido a la presencia de pelos, vísceras, restos de heces fecales propios de los animales, y la elevada concentración de coliformes termo tolerantes. Ello se debe a que las heces son directamente desechadas en

la tubería. Además, los aceites y grasas se encuentran elevadas, debido a que son componentes propios de los animales.

En la siguiente tabla, se muestra la concentración de nitrógeno y fósforo:

Tabla 13. Caracterización del nitrógeno total y fósforo total

Parámetro	Unidad	Ingreso
N-NH ₃	mg/L	34.50
P-PO ₄	mg/L	27.45
DBO ₅	mg/L	370.0

Nota: Elaboración propia

En toda agua residual industrial debemos tener presente la relación entre materia orgánica, nitrógeno y fósforo, nutrientes que suelen ser deficientes en este tipo de aguas y necesarios para el crecimiento y desarrollo del biofilm. Para ello, se considera la relación mínima de 100 – 5 – 1.

En el presente proyecto, se encontraron 34.50 mg/L de N-NH₃ y 27.45 mg/L de P-PO₄.

4.1.1.2. Ejecución del experimento a escala laboratorio con la tecnología MBBR

4.1.1.2.1. Dimensiones físicas del reactor

El diseño se basó en una forma cuboide con dos compartimentos.

Este tuvo las siguientes dimensiones:

Tabla 14. Dimensiones físicas del reactor

Características físicas	Cámara 1	Cámara 2	Reactor total
Altura total	30 cm	30 cm	30 cm
Altura útil	18.5 cm	18.5 cm	18.5 cm
Largo	31 cm	31 cm	62 cm
Ancho	35 cm	35 cm	35 cm
Área útil	1085 cm ²	1085 cm ²	2170 cm ²
Volumen total	32.5 L	32.5 L	65 L

Volumen útil	20 L	20 L	40 L
---------------------	------	------	------

Nota: Elaboración propia

En la tabla 14, se muestra que el reactor fue diseñado con una altura de 35 cm, con una división entre dos cámaras de 30 cm cada una, la que es considerada como altura total. Para efectos de cálculos, se está tomando una altura útil de 18.5 cm y área útil de 1085 cm². De ello, se obtiene como resultado 20072.5 cm³ que equivalen a 20 L de volumen útil del reactor. Considerando las dos cámaras de 20 L cada una, tenemos un volumen útil del reactor de 40 L.

4.1.1.2.2. Cálculos de parámetros de diseño

4.1.1.2.2.1. Área específica del Carrier

El tipo de Carrier que se usó es el AnoxKaldnes™ K3. De acuerdo con la ecuación 4, este indica un área específica de:

$$a = 500 \frac{\text{m}^2}{\text{m}^3}$$

4.1.1.2.2.2. Volumen de carriers

Cámara 1

Para la cámara 1, se ha tomado como referencia el 50 % de volumen de carrier del volumen útil del reactor, siendo este 20L. Para ello, se empleó la ecuación 6:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= \text{Volumen del reactor} * \% \text{ carrier} \\ \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= 20 \text{ L} * 50\% \\ \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= 0.020 \text{ m}^3 * 50\% \\ \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= 0.01 \text{ m}^3 = 10 \text{ L} \end{aligned}$$

Cámara 2

Para la cámara 2 se ha tomado como referencia el 30 % de volumen de carrier del volumen útil del reactor, siendo este 20L. Para ello, se empleó la ecuación 6:

$$\begin{aligned} \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= \text{Volumen del reactor} * \% \text{ carrier} \\ \text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} &= 20 \text{ L} * 30\% \end{aligned}$$

$$\text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} = 0.020 \text{ m}^3 * 30\%$$

$$\text{Volumen de carriers (m}^3\text{)} = 0.006 \text{ m}^3 = 6 \text{ L}$$

4.1.1.2.2.3. Volumen del agua

Es el volumen de agua residual que se ocupa en el reactor; es decir, el volumen de agua que se ha de tratar. Para ello, se utilizó la ecuación 7:

Cámara 1

$$\text{Volumen de Agua} = \text{V. Util} - \text{Volumen de carrier (\%)}$$

$$\text{Volumen de Agua} = 20\text{L} - (50\%)$$

$$\text{Volumen de Agua} = 19.5 \text{ L}$$

Cámara 2

$$\text{Volumen de Agua} = \text{V. Util} - \text{Volumen de carrier (\%)}$$

$$\text{Volumen de Agua} = 20\text{L} - (30\%)$$

$$\text{Volumen de Agua} = 19.7 \text{ L}$$

4.1.1.2.3. Inicio de operación de reactor

A continuación, se mencionan los resultados obtenidos del inicio de operación del reactor MBBR de aguas residuales del camal.



Figura 18. Materia sólida del tratamiento

En las figuras 18, se muestra la materia sólida posterior al tratamiento con mallas y rejillas.



Figura 19. Formación de grasas

En la figura 19, se muestran las grasas que se formaron en el agua residual a tratar.

Luego del tratamiento primario, se agregó en la cámara 1 el agua residual del camal municipal junto al carriers al 50%, mientras que a la cámara 2 se agregó al 30%, tal como se observa en la figura 20. De esta manera, se inició el arranque del reactor.



Figura 20. Carriers al 50% y 30% con agua residual

Como se observa en la figura 21, en la cámara 1, en los primeros 10 días la temperatura se mantuvo en un promedio de 18°C, temperie adecuada para el desarrollo de microorganismos. Posteriormente, debido a cambios climáticos, la temperatura descendió hasta 16 °C desde el día 11 al 19. Por esa razón, para evitar que este declive afecte al desarrollo de los microorganismos, se implementó un aislamiento térmico (ver ítem 3.5.5.6). Posterior a ello, se observó la elevación de la temperatura a un promedio de 18 °C.

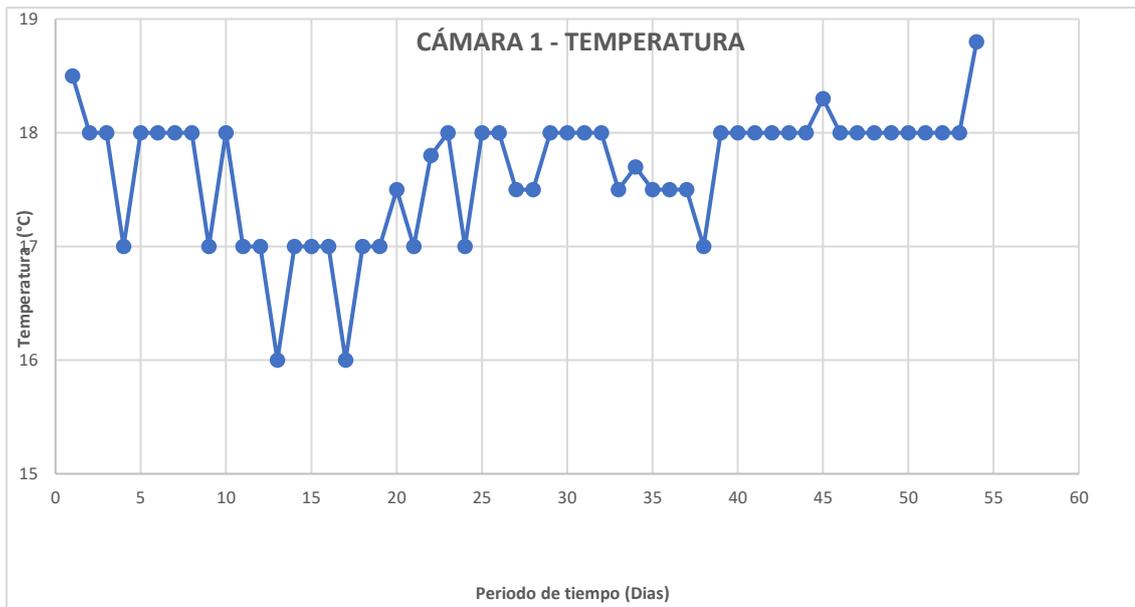


Figura 21. Variación de la Temperatura en función del tiempo "Cámara 1"

En la figura 22, se observa que en la cámara 2, el agua residual ingresó con una temperatura inicial de 18.1°C. Posteriormente, el agua se mantuvo a temperatura promedio de 18°C similar a la cámara 1, puesto que ambas estaban unidas y con el mismo aislamiento térmico.

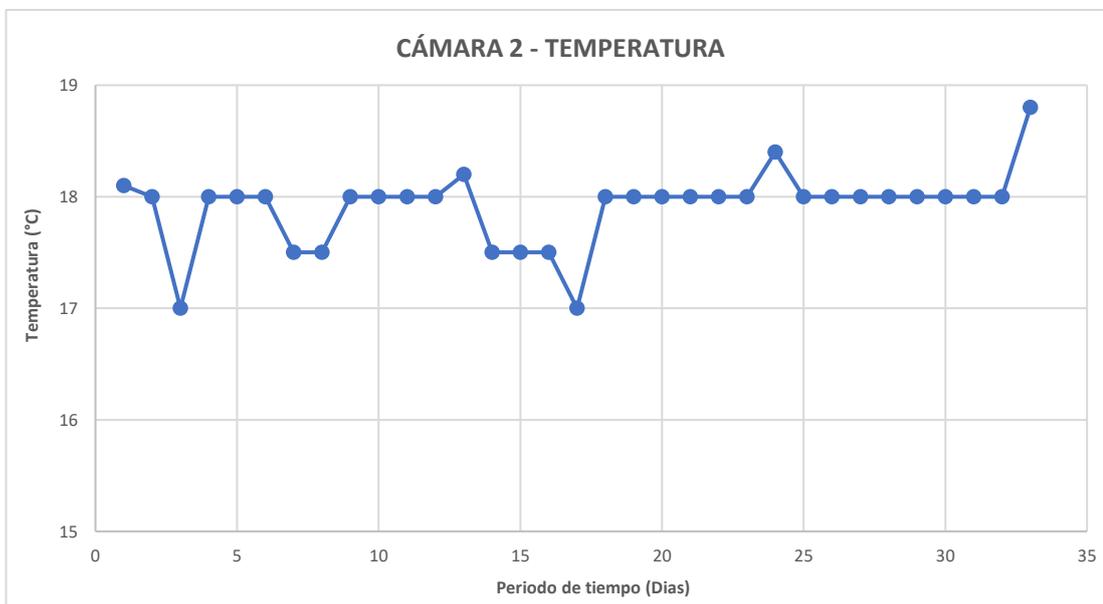


Figura 22. Variación de la Temperatura en función del tiempo "Cámara 2"

Para el aislamiento de ambas cámaras, se hizo uso de cartulina negra y tecnopor. Con estos, se cubrió todo el reactor tal como se muestra en la figura 23.



Figura 23. Aislamiento Térmico del reactor

Como se observa en la figura 24, el pH inicial del agua residual de la cámara 1 fue de 7.2. Esta cifra se mantuvo durante los siguientes 3 días. A partir del quinto día, el pH aumentó a 8 y se sostuvo así hasta finalizar el tratamiento.

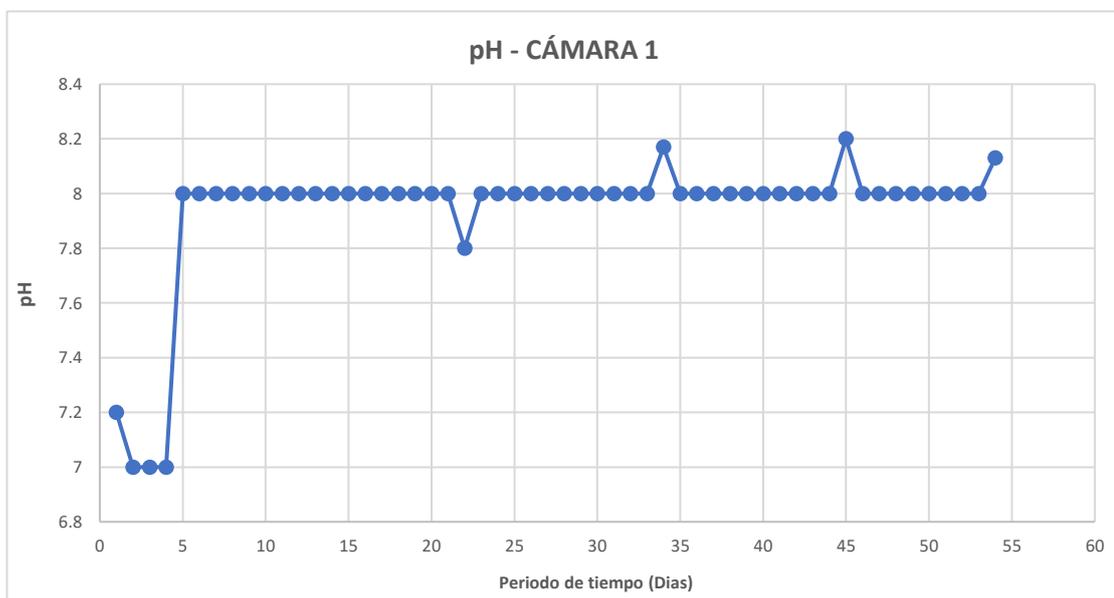


Figura 24. Variación del pH en función del tiempo "Cámara 1"

En la figura 25, se muestra el pH inicial de la cámara 2 de 7.7. A partir del día 2, el pH se estabilizó a un promedio de 8.

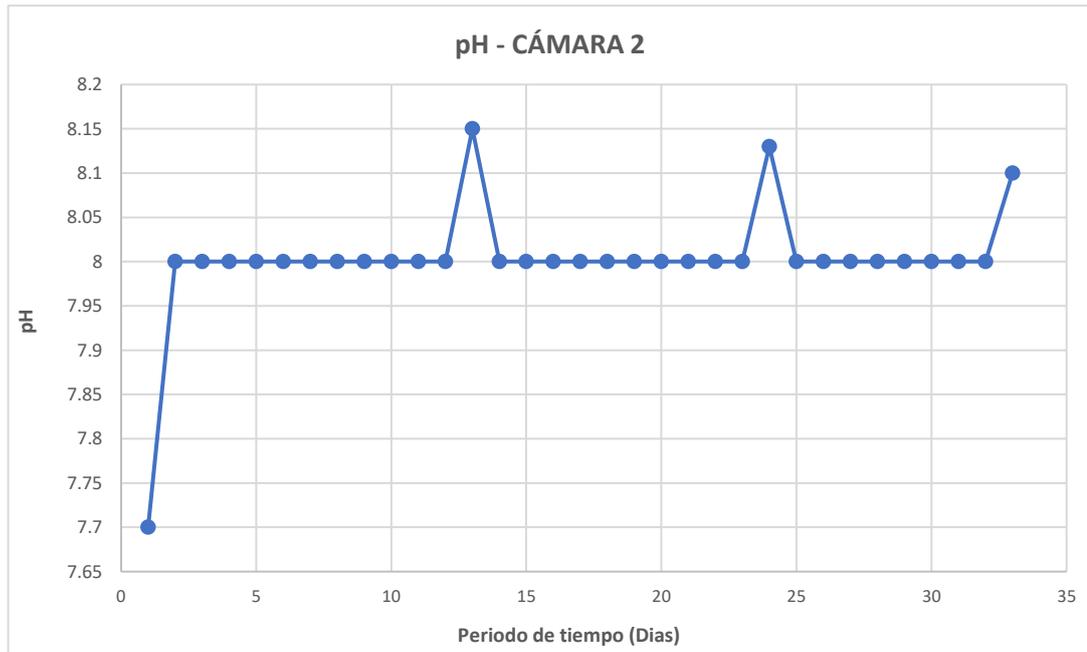


Figura 25. Variación del pH en función del tiempo "Cámara 2"

Como se observa en la figura 26, se llevaron a cabo 5 análisis del parámetro de Oxígeno Disuelto (OD) en la cámara 1, lo que generó un promedio de 6.4 mg/L. Sin embargo, para la cámara 2, se realizaron 4 análisis del mismo parámetro y se obtuvo un promedio de 6.2 mg/L, tal como se muestra en la figura 27.

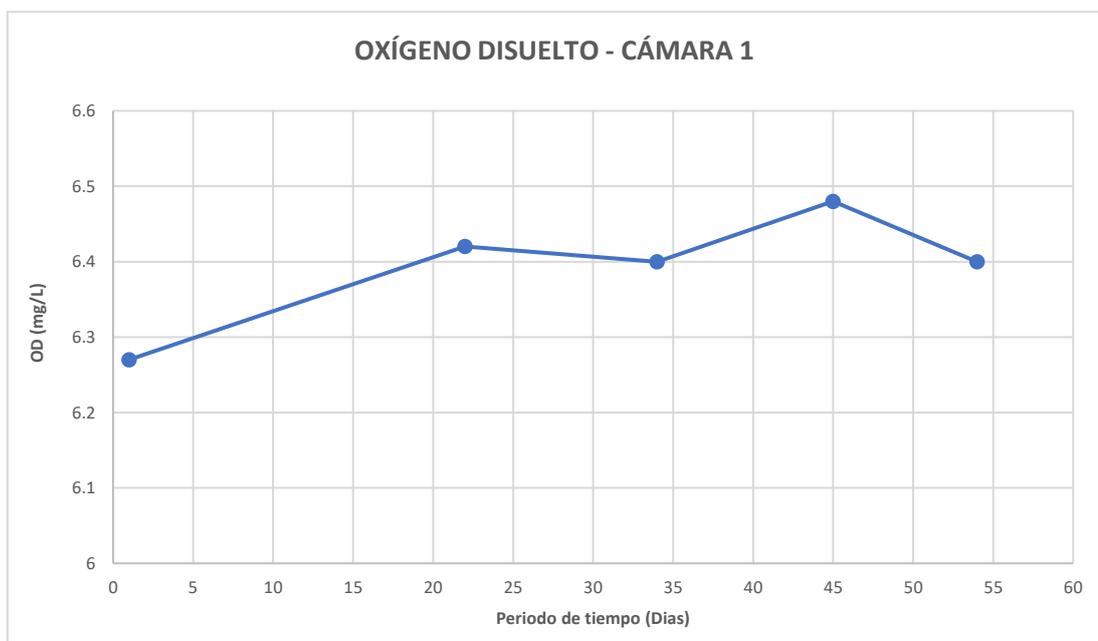


Figura 26. Variación de OD en función del tiempo "Cámara 1"

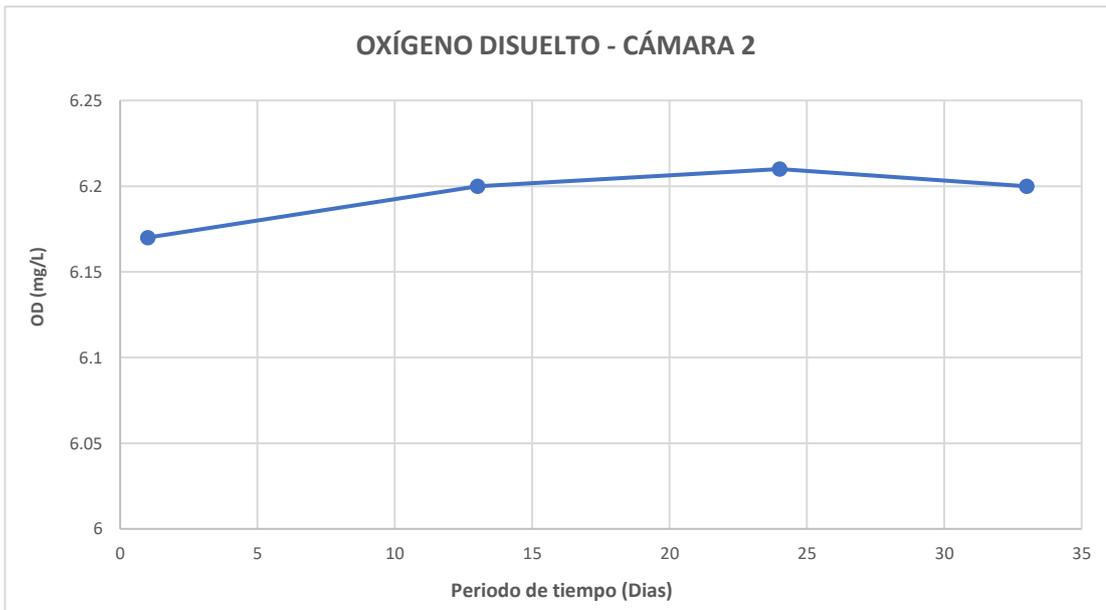


Figura 27. Variación de OD en función del tiempo "Cámara 2"

En la figura 28, se observa que el agua inicial sin tratamiento para ambas cámaras presentó una turbidez de 262 NTU. La cámara 1 presentó, en el día 43, una turbidez de 16.2 NTU, mientras que en el día 54 (última fecha de funcionamiento) obtuvo una turbidez de 6.77 NTU. Por otro lado, la cámara 2 (33 días de funcionamiento), a los 22 días, presentó resultados de 39.5 NTU y, en el último día, una turbidez de 10.5 NTU (Ver anexo 4).

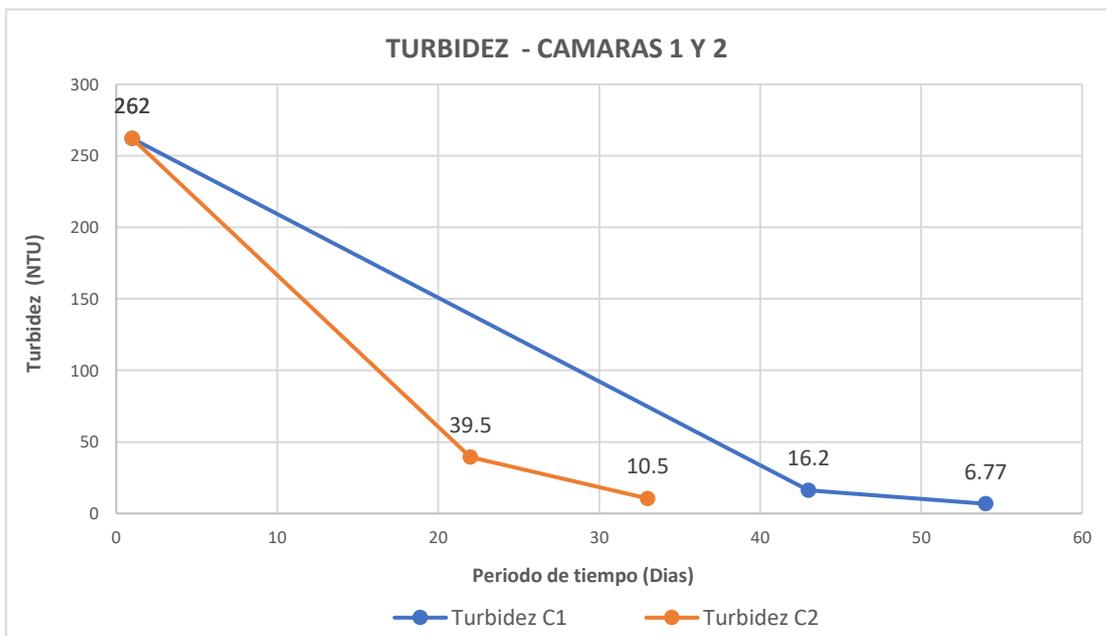


Figura 28. Comparación de la Turbidez "Cámara 1 y 2"

Las figuras 29 y 30 muestra las imágenes, en un microscopio binocular (ver Anexo 5, Figura 69), de la formación de floc por parte de bacterias floculadoras y presencia de protozoarios que indican la estabilidad del proceso biológico del reactor MBBR. Esto significa que ha cumplido su función principal de ser consumidor de población bacteriana en sistemas acuosos. En la cámara 2, se observa mayor presencia de flocs y protozoarios, lo cual expone cierto nivel de estabilidad.

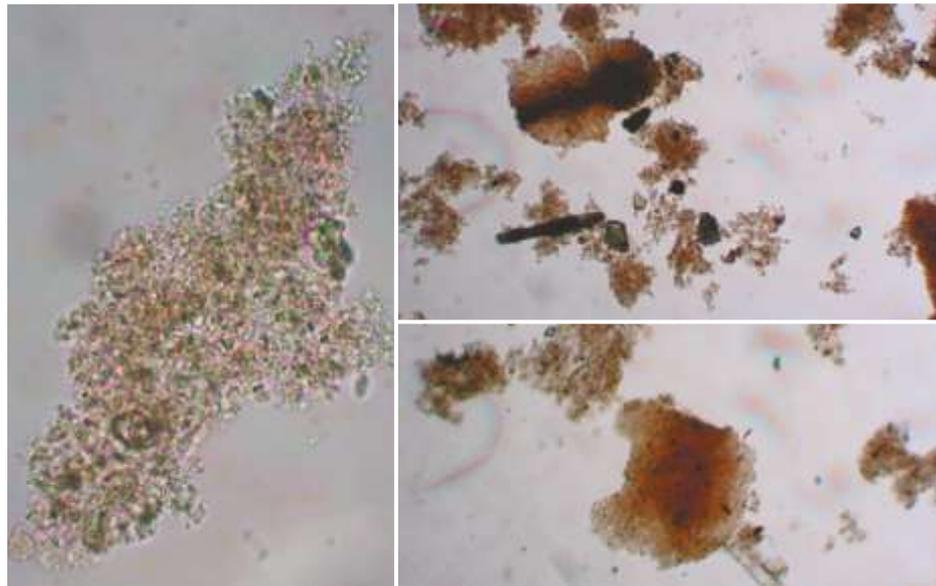


Figura 29. Formación de flocs y presencia de protozoarios "Cámara 1"

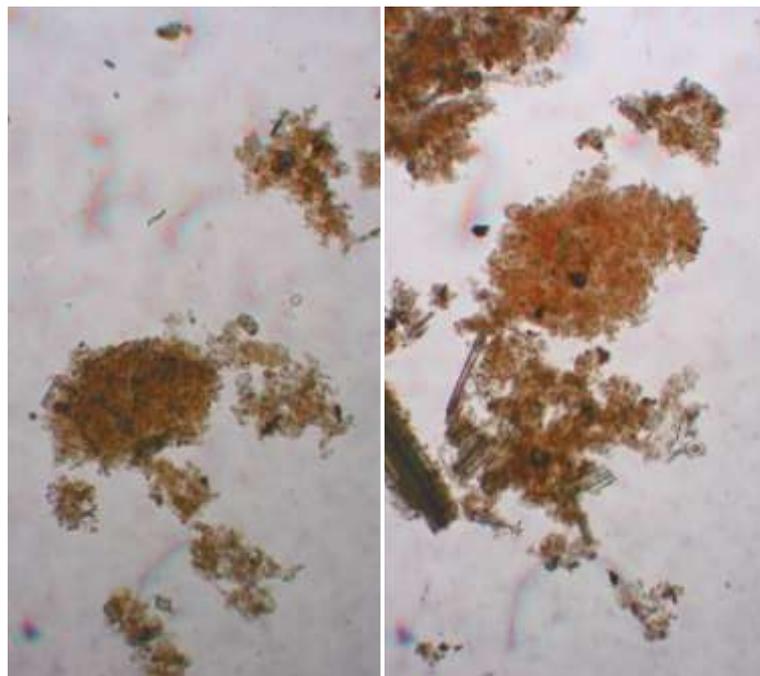


Figura 30. Formación de flocs y presencia de protozoarios "Cámara 2"

De igual manera, en la figura 31, se aprecia la presencia de biofilm adherido a los carriers de la cámara 1 y 2.



Figura 31. Carriers con Biofilm

4.1.1.3. Evaluación de la remoción de contaminantes al final del proceso secundario

En la tabla 15, se observan los porcentajes de remoción de contaminantes de ambas cámaras. Se advierte que el pH se mantuvo relativamente neutro y la temperatura fue óptima para el crecimiento de microorganismos, teniendo en cuenta que el tratamiento de la cámara 1 contó con un tiempo de 54 días y la cámara 2 con 33 días. A pesar de la diferencia de tiempo, se aprecia que ambas cámaras obtuvieron porcentajes similares de remoción.

Tabla 15. Remoción de contaminantes del agua residual del camal municipal de Cotahuasi

PARÁMETROS	UNIDAD	VALORES SIN TRATAR	CÁMARA 1 (50% carrier)	CÁMARA 2 (30% carrier)	CÁMARA 1 (% de remoción)	CÁMARA 2 (% de remoción)
DBO₅	mg/L	4531.0	124.2	104.1	97.26%	97.7%
DQO	mg/L	1978.3	331.6	277.5	83.24%	85.97%
Aceites y Grasas	mg/L	30.10	2.40	<0.50	92.03%	98.34%
SST	mg/L	660.0	69.0	43.0	89.54%	93.48%
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	3.5 x 10 ⁸	13.0	110.0	99.99%	99.99%
pH	-	7.5	8	8	-	-
Temperatura	°C	22	19	19	-	-

Nota: Elaboración propia

- **Rendimiento de remoción DBO₅**

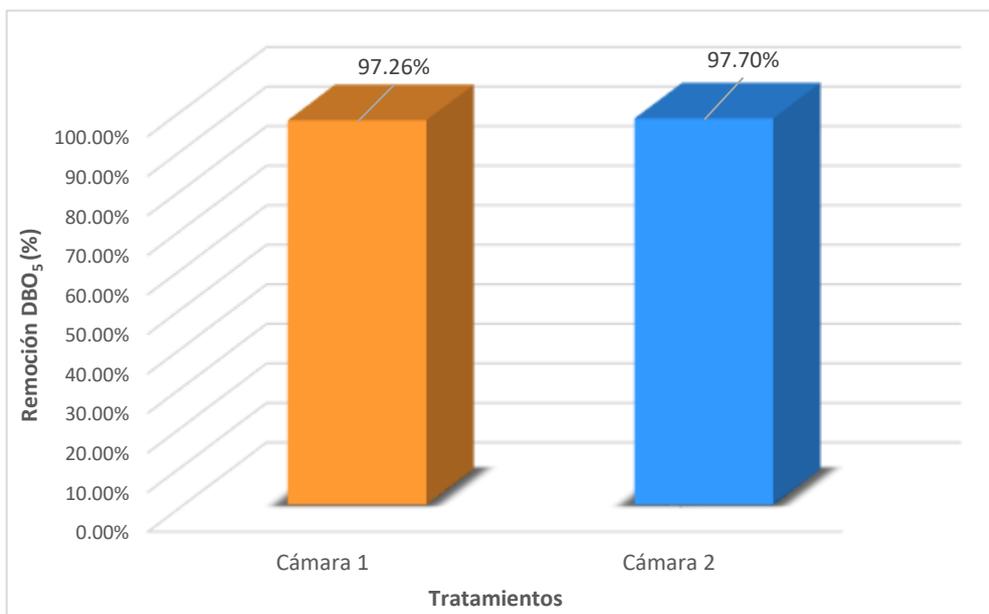


Figura 32. Porcentaje de remoción DBO₅

Como se aprecia en la Figura 32, el porcentaje de remoción de DBO₅ en la cámara 2 es ligeramente superior a la cámara 1. El valor sin tratar de ambas cámaras fue de 4531 mg/L. Para la cámara 2, el valor se redujo a 104.1 mg/L, lo cual equivale a un porcentaje de remoción de 97.7%. En el caso de la cámara 1, se redujo a un valor de 124.2 mg/L, que corresponde a un porcentaje de remoción de 97.26 %.

- **Rendimiento de remoción DQO**

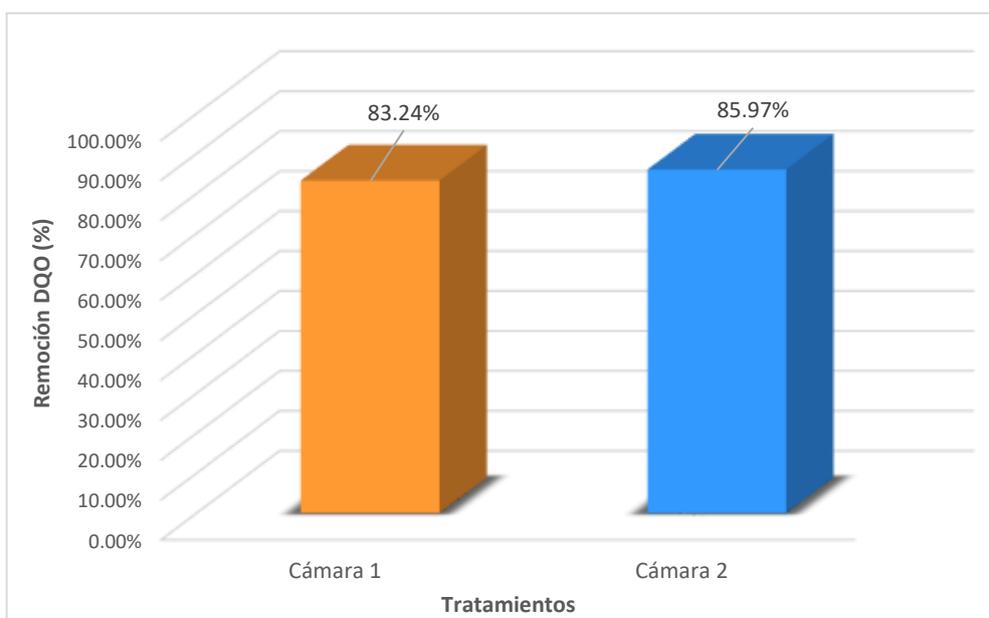


Figura 33. Porcentaje de Remoción de DQO

En la Figura 33, se observa que el porcentaje de remoción de la DQO en la cámara 2 es ligeramente superior a la cámara 1. El valor inicial de ambas cámaras fue de 1978.3 mg/L. Para la cámara 2, este se redujo a 277.5 mg/L, lo que corresponde a un porcentaje de remoción de 85.97%. Para la cámara 1, se redujo a un valor de 331.6 mg/L, lo que significa un porcentaje de remoción de 82.24%.

- **Rendimiento de remoción Aceites y Grasas**

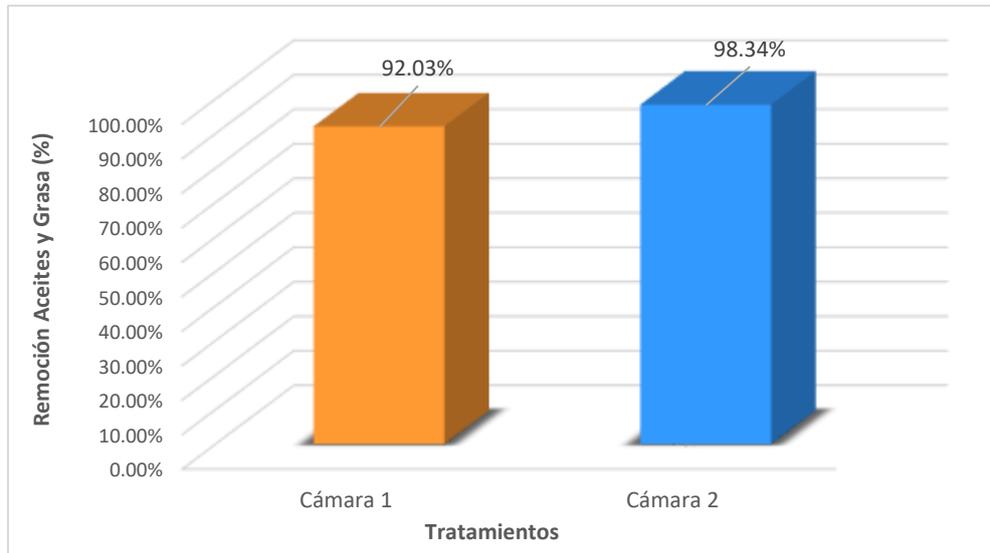


Figura 34. Porcentaje de remoción de aceites y grasa

Como se aprecia en la Figura 34, el porcentaje de remoción de aceites y grasas en la cámara 2 es ligeramente superior a la cámara 1. Los valores iniciales de estos para ambas cámaras fueron de 30.10 mg/L. Luego, para la cámara 2, su valor se redujo a <0.50 mg/L, lo que implica un porcentaje de remoción de 98.34%. En el caso de la cámara 1, su valor se redujo a 2.4 mg/L, lo que significa un porcentaje de remoción de 92.03 %.

- **Rendimiento de remoción Sólidos Suspendedos Totales**

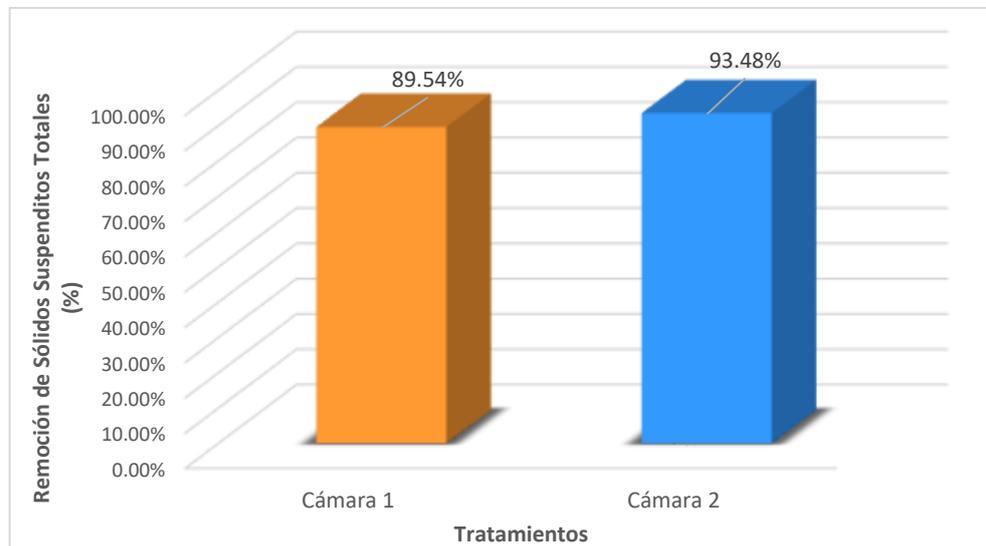


Figura 35. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales

En la figura 35, se observa que el porcentaje de remoción de los Sólidos Suspendedos Totales en la cámara 2 es ligeramente superior a la cámara 1. Los valores iniciales para ambas fueron de 660.0 mg/L. Para la cámara 2, estos se redujeron a 43.0 mg/L (porcentaje de remoción de 93.48%). Para la cámara 1, se redujeron a un valor de 69.0 mg/L (porcentaje de remoción de 89.54%).

- **Rendimiento de remoción Coliformes Termotolerantes**

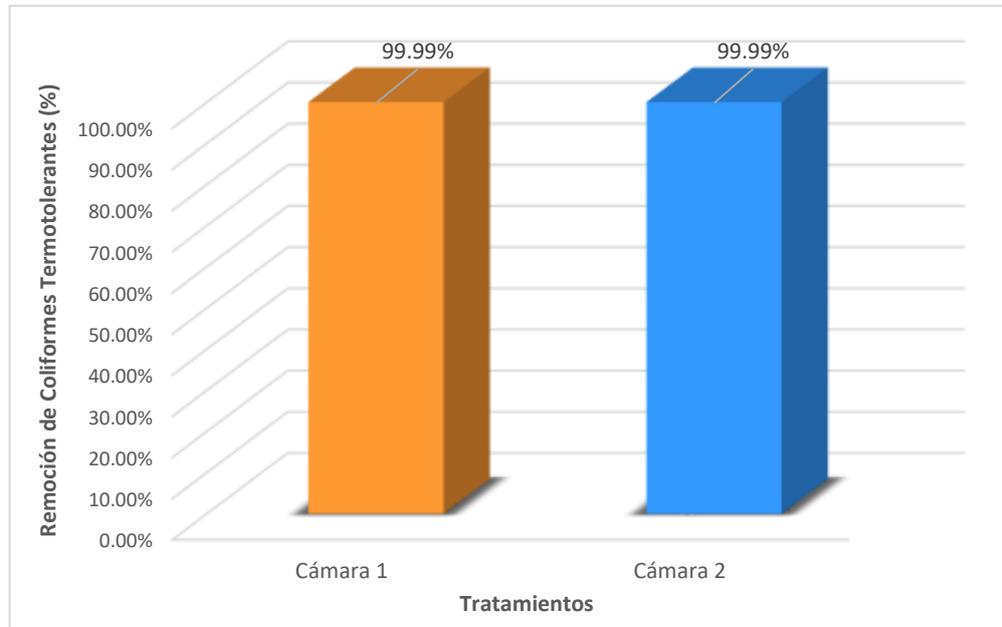


Figura 36. Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes

Como se aprecia en la Figura 36, el porcentaje de remoción de los coliformes termotolerantes en ambas cámaras fue similar. Teniendo en cuenta que los valores iniciales fueron de 3.5×10^8 NMP/mL y se redujeron a 110.0 NMP/mL, para la cámara 2; y a 13.0 NMP/mL, para la cámara 1, el nivel de remoción alcanzó el 99.99%.

4.1.1.4. Comparación del agua tratada con la tecnología MBBR con la normatividad vigente

A continuación, se presentan los cuadros comparativos del análisis del laboratorio con los parámetros de Valores Máximos Admisibles para descarga de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

Tabla 16. Comparación del agua residual del camal municipal de Cotahuasi con VMA

PARÁMETRO	UNIDAD	VMA (Valores Máximos Admisibles) *	CÁMARA 1 (50% carriers)	CÁMARA 2 (30% carriers)
DBO ₅	mg/L	500	124.2	104.1
DQO	mg/L	1000	331.6	277.5
Aceites y Grasas	mg/L	100	2.40	<0.50
SST	mg/L	500	69.0	43.0
pH	Unidad	6 – 9	8	8
Temperatura	°C	<35	19	19

* Nota: Tomada de D.S. N°010-2019-VIVIENDA

En la tabla 16, se observa la comparación del análisis final de las aguas tratadas con los VMA.

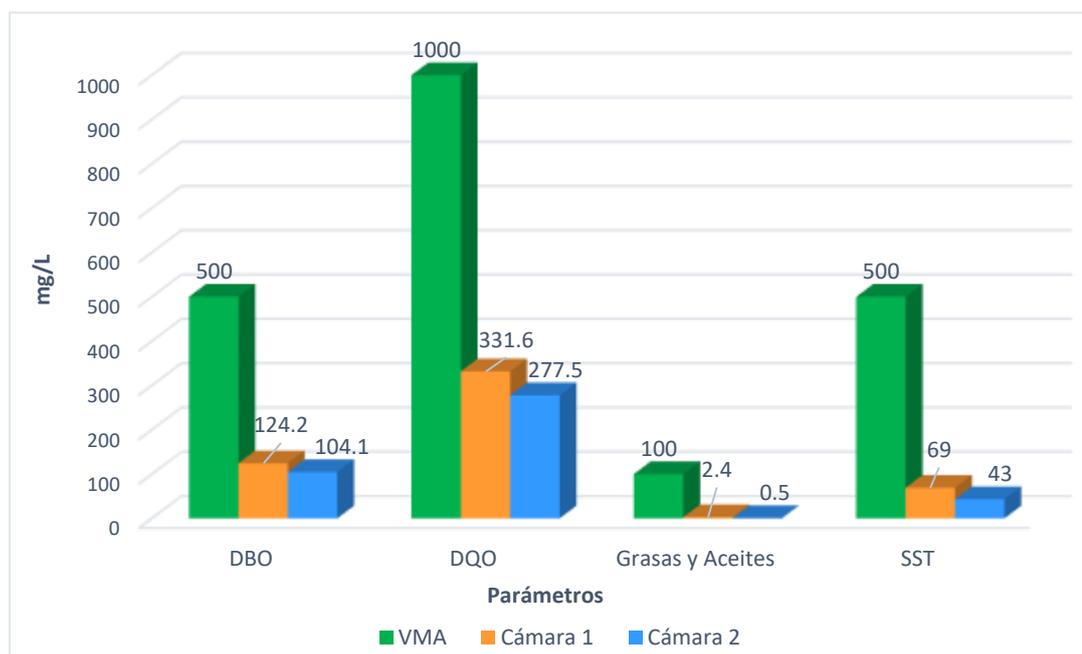


Figura 37. Comparación de resultados con Valores Máximos Admisibles (VMA)

En la figura 37, se muestran los resultados del análisis final y su comparación con los Valores Máximos Admisibles. Se observa que los parámetros DBO, DQO, aceites y grasas, y sólidos suspendidos totales se encuentran por debajo del rango establecido. Esto implica el cumplimiento a la norma D.S. N°010-2019-

VIVIENDA “Decreto Supremo que aprueba el reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.

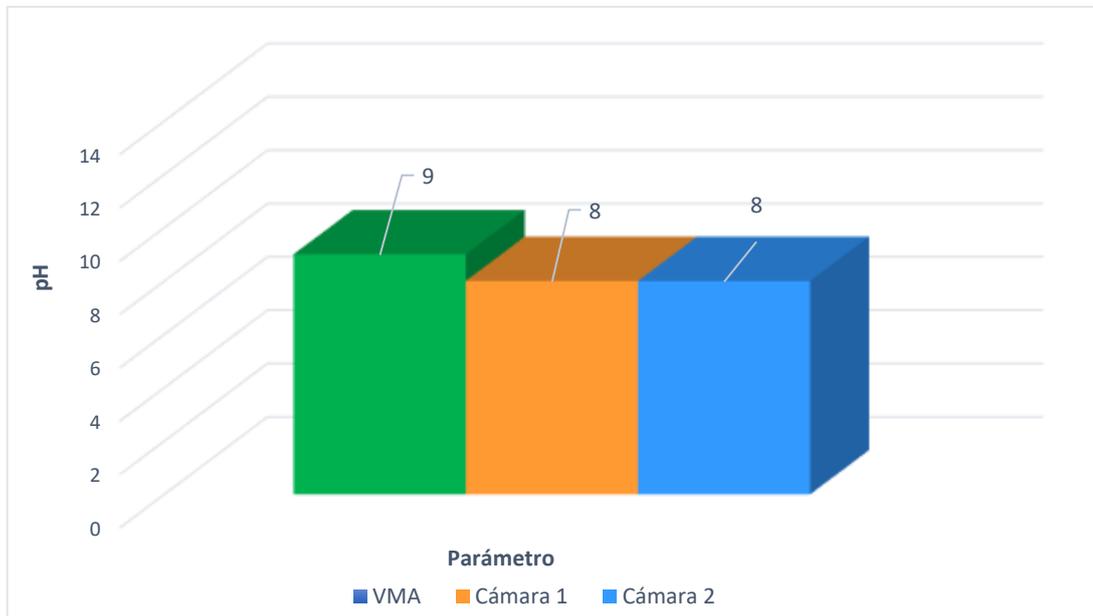


Figura 38. Comparación de pH con Valores Máximos Admisibles (VMA)

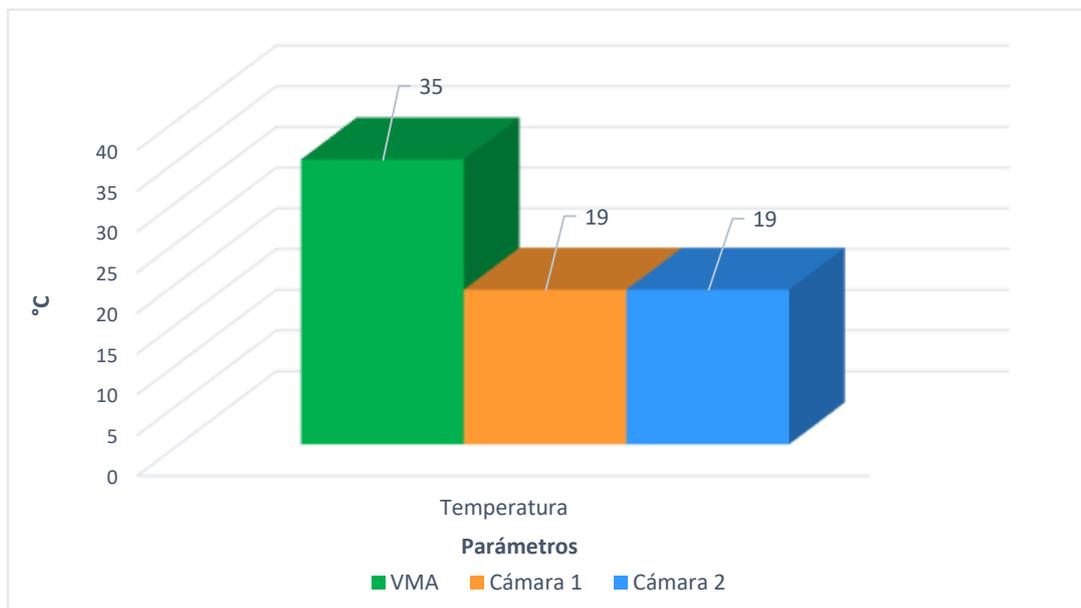


Figura 39. Comparación de Temperatura con Valores Máximos Admisibles (VMA)

En las figuras 38 y 39, se observa que los parámetros de pH y temperatura se encuentran por debajo del rango establecido. Esto evidencia que se cumple lo señalado en el anexo 2 del D.S. N°010-2019-VIVIENDA “Decreto Supremo que aprueba el reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las

descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.

Adicionalmente, se realizó la comparación con los LMP para observar, de forma referencial, si se cumple con una normativa más estricta.

Tabla 17. Comparación del agua residual del camal municipal con los LMP

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP (Límite Máximo Permissible)**	CÁMARA 1 (50% carriers)	CÁMARA 2 (30% carriers)
DBO ₅	mg/L	100	124.2	104.1
DQO	mg/L	200	331.6	277.5
Aceites y Grasas	mg/L	20	2.40	<0.50
SST	mg/L	150	69.0	43.0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10 000	13.0	110.0
pH	Unidad	6.5 – 8.5	8	8
Temperatura	°C	< 35	19	19

** Nota: Tomada D.S. N° 003-2010-MINAM

En la tabla 17, se observa la comparación del agua tratada final con los LMP.

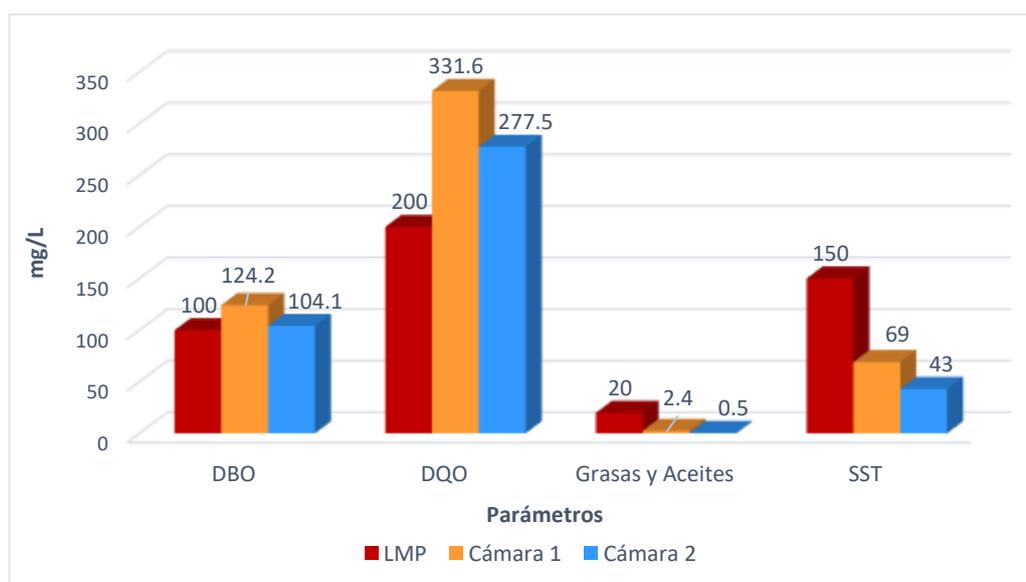


Figura 40. Comparación de resultados con los LMP para Efluentes de PTAR

En la figura 40, se muestran los resultados de los análisis finales para hacer la comparación con los Límites Máximos Permisibles para efluentes de una PTAR del D.S. N° 003-2010-MINAM. Se observa que los parámetros Aceites y Grasas, y Sólidos Suspendidos Totales se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles; sin embargo, en ambas cámaras, los parámetros de DBO y DQO superan la normativa ambiental.

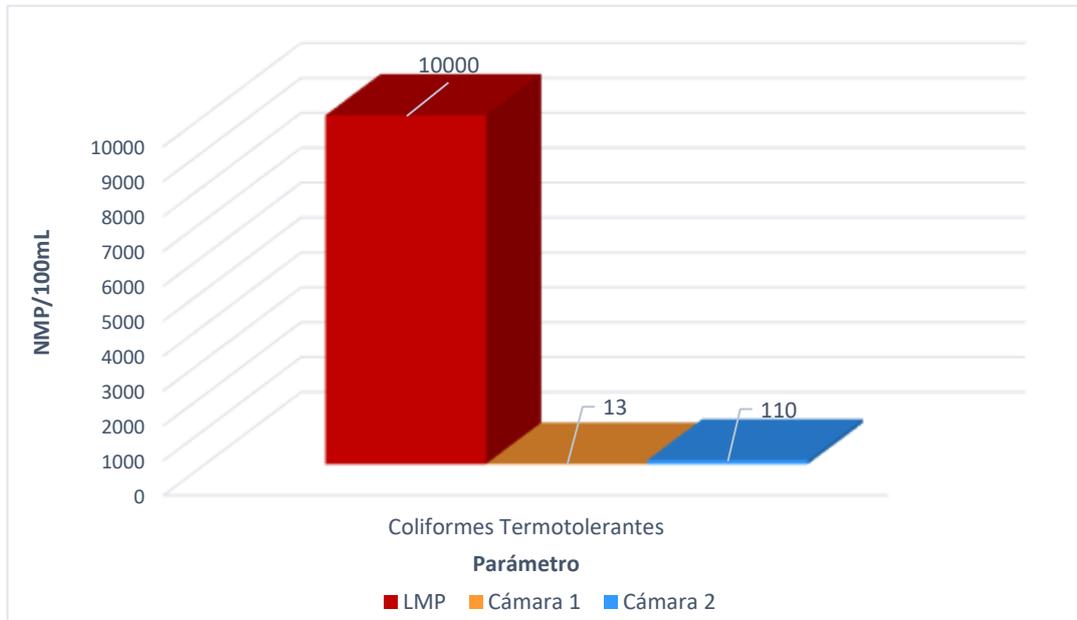


Figura 41. Comparación de coliformes termotolerantes con los LMP para efluentes de PTAR

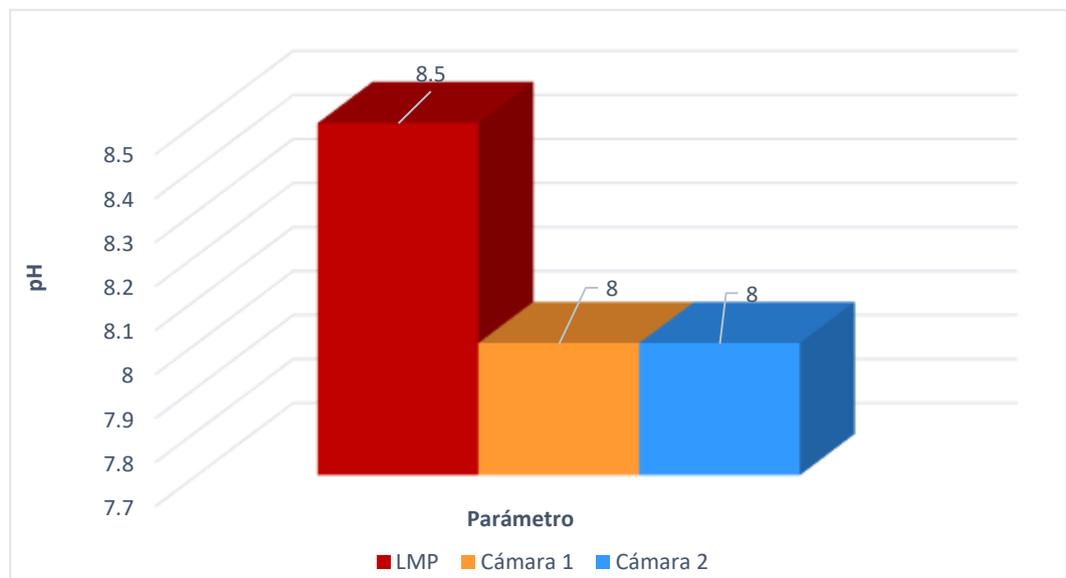


Figura 42. Comparación de pH con los LMP para efluentes de PTAR

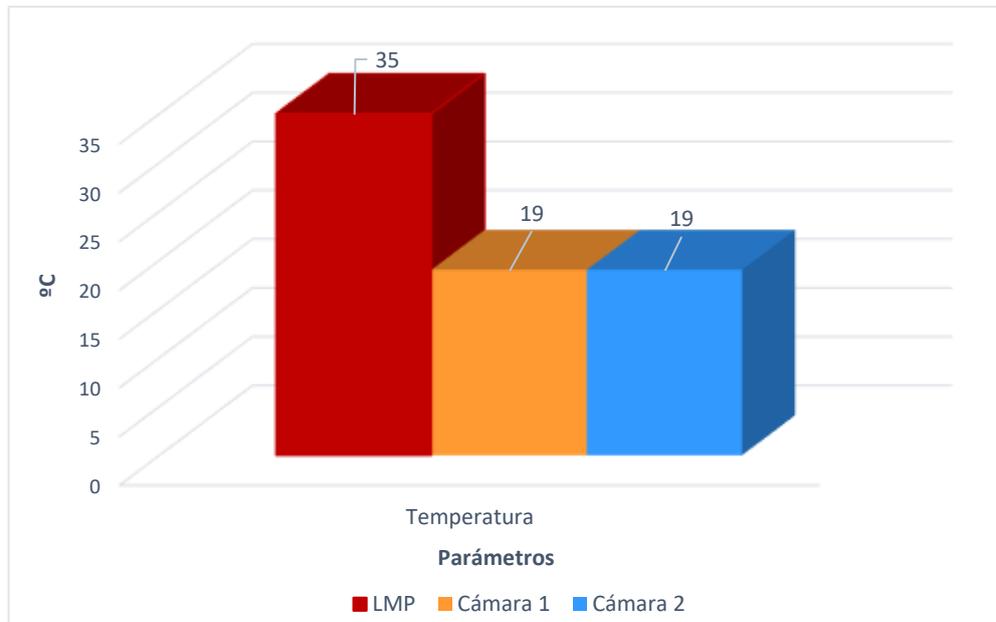


Figura 43. Comparación de temperatura con los LMP para efluentes de PTAR

En la figura 41, 42 y 43, se observa que los parámetros Coliformes Termotolerantes, pH y Temperatura se encuentran por debajo del rango establecido de los Límites Máximos Permisibles para efluentes de una PTAR del D.S. N° 003-2010-MINAM si se trata el agua eficientemente en ambas cámaras.

4.1.2. Discusión

- Generalmente, la tecnología MBBR para el tratamiento de aguas residuales se realiza de manera continua, ya que es sencilla de llevar a cabo (1). Sin embargo, para la presente investigación, se realizó *in Bach*, ya que, tanto el recurso (agua residual) como la información del tratamiento, fueron limitados.
- Quequezana (14), en su proyecto de investigación, hizo uso del Carrier PE04 con un área específica de $>800 \text{ m}^2/\text{m}^3$, obteniendo datos de remoción de DQO en 77.17% y DBO_5 en 90.50%. En contraste, esta investigación hizo uso del Carrier K3 con un área específica $> 500 \text{ m}^2/\text{m}^3$, obteniendo una remoción en la cámara 2 de DQO en 85.97% y DBO_5 en 97.70%. En ese sentido, este último es más eficiente para este tipo de aguas. Sin embargo, se debe considerar que, al tener una mayor área específica, se requerirá mayor cantidad de aire para la movilidad del carrier y su autolimpieza en el sistema, lo que puede constituir una gran desventaja. Por ello, se debe tener en consideración el tipo de Carrier que se ha de utilizar (50).
- Mendoza y Rodríguez (51), en su investigación, lograron en el día 30 la estabilización del reactor, diferente al actual proyecto que alcanzó un nivel

de estabilidad en el día 43, para la cámara 1, y en el día 22, para la cámara 2. Además, se observó la presencia de protozoarios y flocs, debido a las condiciones ambientales como temperatura, pH, oxígeno disuelto y control de luz solar.

- Para seleccionar el tipo de tratamiento, es importante identificar el índice de biodegradabilidad del agua residual. Esta se puede cuantificar mediante la relación entre la DBO₅ y DQO. Pastor (52) indica que, si la relación entre la DBO₅ y DQO es mayor que 0.4, el tipo de agua es biodegradable, considerando como índice de biodegradabilidad 0.44. En ese sentido, sería un agua adecuada para este tipo de tratamiento.
- La temperatura es un parámetro de gran significancia para los procesos microbiológicos (15). En el presente proyecto, se obtuvo una temperatura promedio de 18°C desde el inicio hasta el final del tratamiento. Esto permitió el crecimiento y desarrollo de microorganismos. Datos similares fueron los reportados por Quequezana, el cual manejó temperaturas de 20°C en los diferentes TRH. El clima fue uno de los factores que influyó en el descenso de temperatura para ambos proyectos; por esa razón, se implementó un aislamiento térmico (14).
- El pH se encuentra relacionado con la temperatura, cuyo rango adecuado para el crecimiento de los microorganismos debe oscilar entre 6.5 – 8.5 (15). En base a ello, el pH, en el presente experimento, se mantuvo en un promedio de 8, desde el inicio hasta el final del tratamiento. Esto significa que las aguas fueron óptimas. Estos resultados son similares a lo reportado por Quequezana, cuyo proyecto mantuvo un pH de 7.4, cifra adecuada para el crecimiento de microorganismos (14).
- La DBO se define como la cantidad de oxígeno necesaria para descomponer la materia orgánica. En la presente investigación, se obtuvo una remoción de 97.26% y 97.70% de la cámara 1 y 2, respectivamente. Esto es diferente a lo reportado por Quequezana (14), quien alcanzó una remoción de 49.47%, 71.11% y 90.50% a las 6, 8 y 10 horas, respectivamente.
- Los SST tienen gran importancia debido a que buscan conocer la cantidad de sólidos que se encuentran en suspensión. En la presente investigación, se muestra un porcentaje de remoción de 89.54% y 93.48% para la cámara 1 y 2, respectivamente. Esto es distinto a lo reportado por Quequezana (14), quien obtuvo un porcentaje de remoción del 92,73% con TRH de 10 horas.
- Los aceites y grasas son elementos estables y difíciles de descomponer por las bacterias en las aguas residuales. Por lo tanto, deben ser removidos antes

del tratamiento o generarán problemas en el proceso de descomposición de la materia orgánica (1). En la presente investigación, se muestra un porcentaje de remoción de 92.03% y 98.48%, diferente a lo reportado por Quequezana (14), quien obtuvo un porcentaje de remoción del 51,85% de aceites y grasas a las 6, 8 y 10 horas del tratamiento.

- Para la remoción de la materia orgánica, la concentración del oxígeno disuelto (OD) debe ser mayor a 2 mg/L, lo que permitirá una buena oxigenación, una mejor calidad de agua y posibilitará el desarrollo de microorganismos aeróbicos (53). En este proyecto se mantuvo un OD de 6.40 mg/L y 6.20 mg/L para la cámara 1 y 2, respectivamente.
- Amaro Cabrera y Montes Barrera (13), en el tratamiento de aguas residuales por el método de lodos activados continuos que llevaron a cabo en su investigación, obtuvieron un valor tratado de 5.4×10^4 NMP/100ml en coliformes termotolerantes (CT). En comparación, en el presente proyecto, con el método MBBR, se obtuvieron 13 NMP/ml y 110 NMP/100 ml en las cámaras 1 y 2, respectivamente. Ello quiere decir que la tecnología MBBR tiene mayor eficiencia respecto a la reducción de CT. Esto se debe a que, en un tratamiento de lodos activados, los microorganismos se mantienen suspendidos, mientras que en el tratamiento con tecnología MBBR, los microorganismos se encuentran circulando por todo el reactor adheridos a carriers, debido al movimiento de la oxigenación constante.
- El volumen de carrier es un factor importante para el tratamiento de aguas. Por ello, en la presente investigación, para la cámara 2, se utilizó el 30% del volumen total de 40 L, lo cual logró porcentajes de remoción superiores a lo alcanzado por Quequezana (14), quien utilizó 50% de carrier por cada cámara. Ello se debe a que el carrier, en menor cantidad, tiene mejor circulación en el reactor y el biofilm se adhiere en mayor cantidad.

CONCLUSIONES

- La elaboración del diseño experimental con tecnología MBBR para las aguas residuales del Camal Municipal de Cotahuasi es viable, lo cual la convierte en una alternativa idónea para el tratamiento de estas aguas.
- Los resultados de la caracterización del agua residual del Camal de Cotahuasi obtenidos en el punto de vertimiento directo (canal de acequia) indicaron los valores iniciales de coliformes termotolerantes 3.5×10^8 NMP/100 mL, DBO₅ 1978.3 mg/L, Aceites y Grasas 30.10 mg/L, Sólidos Suspendidos Totales 660.0 mg/L, DQO 4531.0 mg/L, Temperatura de 22 y pH 7.5. En suma, se perciben concentraciones elevadas de DBO₅ y DQO, lo cual indica la presencia de materia orgánica.
- Se logró diseñar un reactor a escala de laboratorio con un tratamiento aeróbico, el cual no generó olores. Para ello, se construyó una estructura rectangular de dos compartimentos con un volumen de 20 L cada uno. En la cámara 1, se añadió el 50% de carrier del volumen total, con un tratamiento de 54 días y una aireación mayor con respecto a la segunda cámara. Así mismo, en la cámara 2, se añadió el 30% de carrier del volumen total, con un tratamiento de 33 días.
- El porcentaje de remoción de la cámara 2 demostró mejores resultados con respecto a la cámara 1. Se obtuvieron los siguientes valores: 104.1 mg/L de DBO₅ (97.7%), 277.5 mg/L de DQO (85.97%), <0.50 mg/L de Aceites y Grasas (98.34%), 43.0 mg/L de Sólidos Suspendidos Totales (93.48%). Sin embargo, el parámetro de Coliformes Termotolerantes de ambas cámaras fue similar. Esto significa que se alcanzaron los mejores resultados de porcentaje de remoción (99.99%), en cuanto a la temperatura y pH en ambas cámaras, lo cual posibilitó el crecimiento y desarrollo de microorganismos.
- Los resultados obtenidos con respecto a las dos cámaras demostraron que cumplen con la normativa D.S N° 010-2019-VIVIENDA “Valores Máximos Admisibles para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario”.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un sistema de tratamiento terciario como desinfección (cloración, radiación ultravioleta y ozonización) para así eliminar microorganismos que representen algún riesgo para la salud.
- Se sugiere realizar un test de jarras para la coagulación y floculación, que permita la eliminación de sólidos en suspensión.
- Se recomienda realizar una caracterización de los lodos generados en el tratamiento de aguas industriales para comprobar si le puede dar un valor agregado como fertilizante.
- Para evitar el crecimiento de microorganismos ajenos al tratamiento, se propone tener en consideración la luz solar, porque puede generar la aparición de microalgas; además, la temperatura del agua afectará el desarrollo de los microorganismos.
- Se propone dar mantenimiento a las mangueras difusoras para evitar la obstrucción del paso de aire y evitar malos olores.
- Se recomienda realizar pruebas de comparación con otros medios de soporte (carrier).
- Se exhorta a profundizar la investigación, ya que la tecnología de MBBR para este tipo de agua residual de camal no es muy común y no se cuenta con bibliografía específica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. JARAMILLO, A. *Bioingeniería de Aguas Residuales. Teoría y Diseño*. Segunda Edición. Colombia: ACODAL, 2016. ISBN 978-958-96548-2-8.
2. ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud (OMS). Saneamiento. 2022 [fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/sanitation>
3. SISTEMA Nacional de Información Ambiental (SINIA). Estadística Ambiental. [fecha de consulta: 14 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/informacion/estadisticas>
4. ESPINOZA, S. Alternativas de tratamiento de aguas residuales del camal municipal del distrito de Tután. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Chiclayo: Universidad de Lambayeque, 2017. [fecha de consulta: 3 de enero de 2021]. Disponible en: <http://repositorio.udl.edu.pe/handle/UDL/111>
5. INSTITUTO Nacional de Estadística e Informática (INEI). Arequipa. Resultados definitivos. 2018 [fecha de consulta: 14 de abril de 2023]. Disponible en: https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1551/04TOMO_01.pdf
6. GRUPO INTERSAT. Agua en el planeta. 2020 [fecha de consulta: 06 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://funcagua.org.gt/agua-en-el-planeta/>
7. ARANGO, A. Crisis mundial del agua. *Producción + Limpia*. Julio, 2013, 8 (2), 7–8. ISSN 1909-0455
8. SERVICIO Nacional de Sanidad Agraria en el Perú (SENASA). Estado situacional de los mataderos con respecto a la autorización sanitaria. [fecha de consulta: 10 de octubre de 2022]. Disponible en: https://servicios.senasa.gob.pe/SIGIAWeb/ino_consultasmatadero.html
9. RIQUELME, C. Optimización de un biorreactor de lecho móvil (MBBR) para la biodegradación de un efluente proveniente de la industria de celulosa Kraft. Tesis (Título de Biología). Concepción: Universidad de Concepción, 2006. 44 pp. [fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://www.eula.cl/giba/wp-content/uploads/2017/09/tesis-claudio-parra-2006.pdf>
10. CANTARERO, A. Estudio de un sistema Moving Bed Bioreactor (MBBR) con carriers fabricados en impresión 3D para la optimización del tratamiento de aguas residuales textiles. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Barcelona: Escola de Camins, 2019. 45 pp. [fecha

de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/171247/TFM%20Alberto%20Cantarero?sequence=1&isAllowed=y>

11. GUTIERREZ, D. y F. GARCÍA. Diseño y operación de un reactor de lecho móvil aerobio para tratamiento de agua residual doméstica. Tesis (Título de Ingeniería Civil). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2018. 60 pp. [fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10654/18000>

12. REYES, W. Optimización del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante la implementación del sistema MBBR en la provincia Caylloma - AQUIAFIL. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad Nacional Mayor de San Marcos, 2020. 120 pp. [fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12672/15532>

13. AMARO, K. y L. MONTES. Evaluación de la eficiencia de la superficie de contacto en el sistema de tratamiento de lodos activados continuos de la planta piloto de la FIARN - UNAC. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales). Lima: Universidad Nacional del Callao, 2018. 191 pp. [fecha de consulta: 15 de diciembre de 2021]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3246>

14. QUEQUEZANA, K. Diseño experimental de un reactor de biopelícula de lecho móvil para el tratamiento secundario de las aguas residuales domésticas del distrito de Yarabamba, Arequipa 2017. Tesis (Título en Ingeniería Ambiental). Arequipa: Universidad Alas Peruanas, 2018. 315 pp. [fecha de consulta: 20 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12990/7864>

15. HUAYNACHO, R. y M. LARICO. Diseño y construcción de un reactor de biopelícula adherida a carriers en lecho fluidizado con coagulación para la evacuación de su remoción de DBO5 y DQO en aguas residuales domésticas del Distrito de Mollendo-Islay. Tesis (Título en Ingeniería Química). Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín, 2021. 90 pp. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/20.500.12773/13908>

16. MINISTERIO de VIVIENDA. Modifica Norma Técnica OS.090 - Planta de Tratamiento de aguas Residuales. 2009. [fecha de consulta: 15 de marzo de 2022]. Disponible en: https://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_022.pdf

17. ORGANISMO de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA). Fiscalización ambiental en aguas residuales. 2014 [fecha de consulta: 11 de abril de 2022]. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

18. ESPIGARES, M. y J. PÉREZ. Aguas residuales. Composición. En: Universidad de Salamanca. Módulo [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: https://cidta.usal.es/cursos/edar/modulos/edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
19. METCALF, L., EDDY, H. y TCHOBANOGLOUS, G. *Wastewater engineering: treatment, disposal, and reuse*. Tercera Edición. New York: McGraw-Hill, 1991. ISBN 978-0-07-041690-1.
20. BERMEO, M. *Tratamiento de aguas residuales: Técnicas convencionales*. Segunda Edición. Guayaquil: Grupo Compás, 2016. ISBN 978-9942-13-872-9.
21. RAMALHO, R. *Tratamiento de aguas residuales*. Segunda Edición. Canadá: Reverte, 1996. ISBN 978-84-291-7975-0.
22. ROMERO, J. *Tratamiento de aguas residuales: Teoría y principios de diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, 2001. ISBN 958-8060-13-3.
23. JUDD, S. y C. JUDD. *The MBR book: Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Amsterdam: Elsevier, 2006. ISBN 978-1-85617-481-7.
24. TORRES, J. Aplicación de la tecnología de lechos inundados en la descontaminación de las aguas residuales de la industria conservera. Tesis (Grado de Doctor en Ingeniería Civil). Granada: Universidad de Granada, 2007. 526 pp. [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10481/1431>
25. LAPO, B. Estudio de medios de soporte para crecimiento bacteriano aplicado al tratamiento biológico aerobio de aguas residuales. Tesis (Magíster en Ingeniería Ambiental). Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2014. 105 pp. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/8397/1/CD-5734.pdf>
26. WATER Environment Federation (ed.). *Biofilm reactors. WEF manual of practice*. New York: WEF Press/ McGraw Hill, 2011. ISBN 978-0-07-173707-4.
27. MASIC, A. Investigation of a biofilm reactor model with suspended biomass. Tesis (Doctorado en Matemática). Sweden: Lund University. 2013. 89 pp. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en: <https://portal.research.lu.se/en/publications/investigation-of-a-biofilm-reactor-model-with-suspended-biomass>

28. ORGANIZACIÓN Mundial de la Salud (OMS). *Guías para la calidad del agua de consumo humano: cuarta edición que incorpora la primera adenda*. 2018 [fecha de consulta: 06 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/272403>
29. MORENO, E. Oxidación catalítica de hollín y tolueno utilizando óxidos mixtos de ce-mn como catalizadores. Trabajo de Grado (Magíster en Ciencias con orientación en Ingeniería Ambiental). Nuevo León: Universidad Autónoma de Nuevo León, 2020. 146 pp. [fecha de consulta: 30 de mayo de 2022]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/21988>
30. NOTIJENCK. Determinación rápida de la carga orgánica: mitos y verdades. [fecha de consulta: 06 de junio de 2023]. Disponible en: <https://www.notijenck.com.ar/notas/determinacion-rapida-de-la-carga-organica-mitos-y-verdades>
31. MINISTERIO del Ambiente (MINAM). Aprende a prevenir los efectos del mercurio Módulo 3: Agua y Alimento. 2016. [fecha de consulta: 06 de junio de 2023]. Disponible en: <http://localhost:8080/xmlui/handle/123456789/95>
32. CHAMORRO, J. Tecnología MBBR e IFAS, algo más que una cuestión de plástico. 2019 [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/tecnologia-mbbr-e-ifas-algo-mas-que-cuestion-plastico>
33. REBAZA, R. y B. RODRÍGUEZ. Biodepuración parcial de arsénico de aguas contaminadas usando biorreactor de lecho móvil (MBBR) con carga bacteriana extremófila - Punta de Bombón, Arequipa 2013. Tesis (Ingeniería Biotecnológica). Arequipa: Universidad Católica de Santa María, 2013. 149 pp. [fecha de consulta: 28 de abril de 2022]. Disponible en: <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/4322>
34. GOBIERNO del Perú. Valores Máximos Admisibles (VMA) [fecha de consulta: 02 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.gob.pe/12808-valores-maximos-admisibles-vma>
35. MINISTERIO DEL AMBIENTE (MINAM). Estándar de Calidad Ambiental. 2019 [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.gob.pe/institucion/minam/informes-publicaciones/308391-estandar-de-calidad-ambiental>
36. INDUANÁLISIS. DBO y DQO | Publicaciones | Induanalisis, Laboratorio, monitoreo, consultoría y equipo [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/dbo_y_dqo_31

37. OBSERVATORIO Regional Ambiental y de Desarrollo Sostenible del Río Bogotá. ¿Qué es una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales y cómo beneficia al Río Bogotá? [fecha de consulta: 05 de diciembre de 2022]. Disponible en: <http://www.orarbo.gov.co/es/comunidad/noticias/que-es-una-planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales-y-como-beneficia-a-el-rio-bogota>
38. CEGARRA, J. *Metodología de la investigación científica y tecnológica*. Madrid: Díaz de Santos, 2011. ISBN 978-84-9969-027-8.
39. DEL CID, A. MÉNDEZ, R. y SANDOVAL, F. *Investigación: Fundamentos y Metodología*. Segunda Edición. México, D.F.: Pearson Educación, 2011. ISBN 978-607-442-705-9.
40. CORTÉS, M. y M. IGLESIAS. *Generalidades sobre metodología de la investigación*. México: Universidad Autónoma del Carmen, 2005. ISBN 978-968-6624-87-8.
41. NICOMEDES, E. *Tipos de investigación*. Universidad Santo Domingo de Guzmán. Módulo. [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: <http://repositorio.usdg.edu.pe/bitstream/USDG/34/1/Tipos-de-Investigacion.pdf>
42. HERNÁNDEZ, R. y C. FERNÁNDEZ. *Metodología de la investigación*. Sexta edición. México D.F.: McGraw-Hill Education, 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.
43. OTZEN, T. y C. MANTEROLA. Técnicas de muestreo sobre una población a estudio. *International Journal of Morphology* [en línea]. Marzo 2017, 35 (1), 227-232. [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. ISSN 0717-9502. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-95022017000100037>
44. ANALYTICAL Laboratory. IE.22-18716: Informe de Ensayo. Lima, 2022.
45. FRC Systems. Biological MBBR. [fecha de consulta: 18 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://www.frcsystems.com/wp-content/uploads/2021/09/Biological-MBBR.pdf>
46. ROSHAN, Perú Ingeniería. Multiparamétrico con portasondas múltiple. Medida simultánea de pH, CE y OD – Cable m : 4 m – Roshan Perú. [fecha de consulta: 02 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://roshanperu.com/producto/hi98194/>
47. ISOPLAST. Planchas EPS. Isoplast. [fecha de consulta: 02 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://isoplast.cl/productos-eifs/126-planchar-eps.html>

48. TAILOY. Cartul Colorline 38 Negro Canson 150G. [fecha de consulta: 02 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://www.tailoy.com.pe/cartul-colorline-38-negro-canson-150g-15907030.html>
49. ØDEGAARD, H. Advanced compact wastewater treatment based on coagulation and moving bed biofilm processes. *Water Science and Technology* [en línea]. Diciembre 2000. 42(12), 33-48. [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.2166/wst.2000.0235>
50. FLOWEN. Curso Operación de plantas compactas de tratamiento MBBR - OneDrive. [fecha de consulta: 21 de diciembre de 2022]. Disponible en: <https://onedrive.live.com/?authkey=%21AE03Lw8FrSSrn%2Do&cid=B60BAA2347915F62&id=B60BAA2347915F62%215088&parId=B60BAA2347915F62%215083&o=OneUp>
51. MENDOZA, M. y J. RODRÍGUEZ. Reactor aerobio con medio de soporte fijo utilizando botellas de Pet. *Espacio I+D, Innovación más desarrollo* [en línea]. Octubre, enero 2016-2017, 5 (12), 104-115. [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. ISSN: 2007-6703. Disponible en: <https://doi.org/10.31644/IMASD.12.2016.a07>
52. PASTOR, J. Índice de Biodegradabilidad. *El Agua*. 2020 [fecha de consulta: 03 de febrero de 2023]. Disponible en: <https://sistemajpii.blogspot.com/2020/05/indice-de-biodegradabilidad.html>
53. WANG, X., et al. Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor. *Process Biochemistry* [en línea]. Abril 2006, 41 (4), 824–828. [fecha de consulta: 05 de noviembre de 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.10.015>

ANEXOS

ANEXO 1

Matriz de Consistencia

PROBLEMÁTICA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p>Problema General</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo realizar un diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi – La Unión – Arequipa 2022? <p>Problemas Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la caracterización del agua residual provenientes del camal municipal de Cotahuasi? - ¿Cómo realizar la experimentación a escala de 	<p>Objetivo General</p> <ul style="list-style-type: none"> - Elaborar un diseño experimental para el tratamiento secundario de las aguas residuales provenientes del camal municipal de Cotahuasi con tecnología MBBR. <p>Objetivos Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Determinar las características del agua residual proveniente del Camal municipal de Cotahuasi. - Realizar la experimentación a escala de laboratorio con la tecnología MBBR. - Evaluar la remoción de contaminantes al final del 	<p>Hipótesis General</p> <ul style="list-style-type: none"> - El tratamiento secundario con tecnología MBBR permite descontaminar las aguas residuales provenientes del Camal Municipal de Cotahuasi. <p>Hipótesis Específicas</p> <ul style="list-style-type: none"> - La caracterización de las aguas residuales del Camal Municipal de Cotahuasi muestra una alta contaminación. - Es probable realizar el diseño del reactor con tecnología MBBR a escala de laboratorio. 	<p>Variable Independiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Implementación de tecnología MBBR. <p>Variable Dependiente</p> <ul style="list-style-type: none"> - Agua residual Tratada 	<p>X</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cantidad de Carrier's - Densidad del Carrier - Volumen de reactor - Volumen de agua <p>Y</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aceites y grasas - DBO - DQO - SST - Temperatura - pH - Nitrógeno Total - Fósforo Total 	<p>Tipo de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - El presente trabajo de investigación es Aplicada <p>Nivel de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - El nivel de la investigación es explicativo <p>Diseño de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - El diseño de la presente investigación es experimental. <p>Método de Investigación</p> <ul style="list-style-type: none"> - El método de la presente investigación es hipotético – deductivo y el método que complementa al proyecto es el método analítico <p>Población</p> <ul style="list-style-type: none"> - La población para el presente trabajo de investigación está representada por el

<p>laboratorio con la tecnología MBBR?</p> <ul style="list-style-type: none"> - ¿Cuál es la remoción de contaminantes después del proceso del tratamiento secundario? - ¿El agua tratada cumplirá con la normatividad vigente de Valores Máximos Admisibles (VMA)? 	<p>tratamiento secundario.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Comparar el agua tratada de la tecnología MBBR con la normativa vigente de Valores Máximos Admisibles (VMA). 	<ul style="list-style-type: none"> - El tratamiento secundario la tecnología MBBR remueve eficientemente los contaminantes. - Las aguas tratadas resultantes del tratamiento secundario con la tecnología MBBR cumplen con la normativa vigente de Valores Máximos Admisibles. 	<p>conjunto de aguas residuales provenientes de camales que se encuentran en la provincia de Arequipa.</p> <p>Muestra</p> <ul style="list-style-type: none"> - La muestra que se considera para el proyecto de investigación está constituida por 40 - 50L de agua residual recolectada del camal municipal de Cotahuasi.
--	---	--	---

ANEXO 2

Panel Fotográfico de Lugar de Toma de muestra del Agua residual



Figura 44. Área de matanza de animales



Figura 45. Camal y Pozo de descarga de Aguas Residuales



Figura 46. Tuberías de transporte de Aguas Residuales



Figura 47. Zona de descarga y Toma de muestras de Agua Residual del Camal Municipal de Cotahuasi



Figura 48. Toma de muestra de Agua Residual del Camal Municipal



Figura 49. Adición de preservantes a nuestra de Agua Residual del Camal



Figura 50. Toma de Temperatura y pH de la muestra de Agua Residual del Camal

ANEXO 3

Panel fotográfico de la Implementación MBBR



Figura 51. Adaptación del Pre Tratamiento del Agua Residual "Cámara de Rejas"



Figura 52. Trampa de Grasas Convencional



Figura 53. Prueba en vacío del Reactor de Cámara 1 y 2



Figura 54. Prueba con Carriers en Cámara 1



Figura 55. Prueba con Carriers en Cámara 2



Figura 56. Carriers al 30% y 50% - Cámara 2 y 1



Figura 57. Agregado de Agua Residual a Cámara 2



Figura 58. Agregado de Agua Residual a Cámara 1



Figura 59. Inicio de Operación de Cámara 1 y 2

ANEXO 4

Panel fotográfico de Control de procesos



Figura 60. Toma de Temperatura y pH



Figura 61. Toma de Temperatura y pH de la cámara 1 con Multiparámetro



Figura 62. Toma de Temperatura y pH de la cámara 2 con Multiparámetro



Figura 63. Análisis de Turbidez Inicial (Sin Tratamiento)



Figura 64. Análisis de Turbidez Intermedia



Figura 65. Análisis de Turbidez Final

ANEXO 5

Panel fotográfico de resultados finales



Figura 66. Formación de Biofilm (Cámara 1 y 2)



Figura 67. Toma de Muestra Final (Cámara 1 y 2)



**Figura 68. Muestra de Color del Agua Residual
(Agua Inicial, Cámara 1 y 2)**



Figura 69. Microscopio Binocular

Anexo 6

Solicitud de autorización para la toma de muestra

Solicito: Autorización para hacer uso de agua residual del camal de Cotahuasi para elaboración de tesis para optar el título profesional de ingeniero ambiental.

Sr. Jorge Luis Velasquez Llerena
Alcalde de la Provincia de la Unión

Yo, Tito Luque Alexander Fermin, Quispe Yucra Rosa Gisela y Mayta Ccapa Thania Patricia, identificado/a con DNI N.º 72171325, 73194898 y 77286417 respectivamente, ante usted con el debido respeto nos presentamos y exponemos:

Que, queremos hacer uso de las aguas residuales del camal de Cotahuasi para la elaboración de nuestra tesis "Diseño experimental del tratamiento secundario con tecnología MBBR para aguas residuales provenientes del camal municipal de Cotahuasi - La Unión - Arequipa" con la finalidad de optar el título profesional de Ingeniero Ambiental en la universidad Continental, además, dicho proyecto puede beneficiar al distrito de Cotahuasi proponiendo una solución para este tipo de aguas que no reciben ningún tratamiento.

Por tal motivo, solicito autorización para hacer uso de las aguas residuales para nuestra experimentación.

Ruego a usted acceder a nuestra petición.

Arequipa, 30 de setiembre del 2022


Alexander Tito Luque
72171325


Rosa Quispe Yucra
73194898


Thania Mayta Ccapa
77286417


MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LA UNIÓN

Jorge Luis Velásquez Llerena
ALCALDE

ANEXO 8

Informe de ensayo de caracterización del Agua Residual Inicial



LABORATORIO DE ENSAYO
ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE
ACREDITACION INACAL-DA
CON REGISTRO N° LE - 096



INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18716

N° Id.: 0000062393

I. DATOS DEL SERVICIO

1.-RAZON SOCIAL	: ROSA QUISPE YUCRA
2.-DIRECCIÓN	: ASOC. ASOPIA MZ A LT 11 JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO, AREQUIPA
3.-PROYECTO	: DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGÍA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CAMAL MUNICIPAL DE COTAHUASI - LA UNION - AREQUIPA 2022
4.-PROCEDENCIA	: NO INDICA
5.-SOLICITANTE	: ROSA QUISPE YUCRA
6.-ORDEN DE SERVICIO N°	: 0000005377-2022-0000
7.-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8.-MUESTREADO POR	: EL CLIENTE
9.-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2022-11-09

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1.-PRODUCTO	: Aguas
2.-NÚMERO DE MUESTRAS	: 1
2.-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2022-10-24
3.-PERÍODO DE ENSAYO	: 2022-10-24 al 2022-11-09


Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211462

Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R.L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Cañao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel.:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3, Bellavista, Cañao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E LL9 COOP SIDSUR
P (+073) 616843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18716

N° Id.: 0000062393

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate, Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017.	Biochemical Oxygen Demand (BOD): 5-Day BOD Test.
Acetres y Grasas ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520 B, 23 rd Ed. 2017.	Oil and Grease: Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method.
Sólidos Suspendidos Totales ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 23 rd Ed. 2017.	Solids: Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Demanda Química de Oxígeno ¹⁾	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017.	Chemical Oxygen Demand, Closed Reflux, Colorimetric Method

¹⁾ "SMEWW" : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA

²⁾ Ensayo acreditado por el IAS

INFORME DE ENSAYO N°: IE-22-18716

N° Id.: 0000062393

IV. RESULTADOS

ITEM				1
CÓDIGO DE LABORATORIO:				M-22-58526
CÓDIGO DEL CLIENTE:				P1
COORDENADAS:				E:0726660
UTM WGS 84:				N:8317399
PRODUCTO:				Agua Residual
SUB PRODUCTO:				Agua Residual Industrial
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:				NO APLICA
FECHA y HORA DE MUESTREO:				23-10-2022 12:28
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (FMP) ²	NMP/100mL	NA	1,8	350 000 000,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (*)	mg/L	0,4	2,0	1 978,3
Acetres y Grasas (*)	mg/L	0,30	0,50	30,10
Sólidos Suspendidos Totales (*)	mg/L	2,0	5,0	660,0
Demanda Química de Oxígeno (*)	mg/L	2,0	5,0	4 531,0

¹⁾ Los resultados obtenidos corresponde a métodos que han sido acreditados por el INACAL - DA.

²⁾ Ensayo acreditado por el IAS

L.C.M.: Limite de cuantificación del método, *¹⁾ Menor que el L.C.M.

L.D.M.: Limite de detección del método, *¹⁾ Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"

ANEXO 9

Informe de análisis de Nitrógeno y Fósforo Total



UNIVERSIDAD CATÓLICA SAN PABLO

RUC: 20327988413

Urb. Campaña Paisajista 5/N Quinta Vivanco - Barrio de San Lázaro

Teléfono: 54 - 605600 anexo 251

ÁREA A CARGO: LABORATORIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA AMBIENTAL

Arequipa, 06 de enero del 2023

I. DATOS DEL SERVICIO

INFORME DE ENSAYOS - N.º 23-01	
Razón social:	Thania Patricia Mayta Coapa
RUC/DNI:	77286417
Dirección:	-

II. DATOS DE ITEMS DE ENSAYO

Producto:	Agua residual industrial tratada- Camal
Número de muestras:	1
Fecha de análisis	02/01/2023

Los resultados en el presente documento están relacionados solo con las muestras ensayadas. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Está terminantemente prohibida la reproducción parcial o total de este documento sin autorización de la UCFP.

III. MÉTODOS DE ENSAYOS UTILIZADOS

N.º	Elemento	Método	Rango
1	N-NH ₃	Ensayo para la determinación de nitrógeno como amonio en aguas por colorimetría, método Salicilato HACH 8155.	0,01 - 50 mg/L
2	P-PO ₄	Fósforo reactivo disuelto en agua por el método del ácido ascórbico	0,01 - 2,5 mg/L
3	DBO	Ensayo de demanda bioquímica de oxígeno Prueba de 5-Días, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23 rd Ed. 2017	0,01-1000 mg/L
4	DQO	Ensayo de demanda química de oxígeno en, Método colorimétrico, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 rd Ed. 2017	0,01 - 10000mg/L

IV. RESULTADOS

N.º	MUESTRA	ENSAYO	RESULTADO	
1	Agua Residual tratada	N-NH ₃	mg/L	34,5
		P-PO ₄	mg/L	27,45
		DBO	mg/L	370
		DQO	mg/L	284,5

"FIN DE INFORME"

ANEXO 10

Registro de Control de T°, pH, Oxígeno Disuelto y Turbidez

REGISTRO DE TEMPERATURA - pH- OXIGENO DISUELTO - TURBIDEZ					
CÁMARA 1					
DIA	T	pH	OD	TURBIDEZ	OBSERVACIONES
	°C		mg/L	NTU	
1	18.5	7.2	6.27	262	Medición con Multiparametro y turbidimetro
2	18	7	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
3	18	7	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
4	17	7	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
5	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
6	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
7	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
8	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
9	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
10	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
11	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
12	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
13	16	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
14	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
15	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
16	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
17	16	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
18	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
19	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
20	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
21	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
22	17.8	7.8	6.42	-	Medición con Multiparametro
23	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
24	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
25	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
26	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
27	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
28	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
29	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
30	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
31	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
32	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
33	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
34	17.7	8.17	6.4	-	Medición con Multiparametro
35	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH

36	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
37	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
38	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
39	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
40	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
41	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
42	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
43	18	8	-	16.2	Medición con Turbidimetro, Termometro y papel indicador pH
44	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
45	18.3	8.2	6.48	-	Medición con Multiparametro
46	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
47	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
48	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
49	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
50	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
51	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
52	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
53	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
54	17.8	8.13	6.4	6.77	Medición con Multiparametro y turbidimetro

REGISTRO DE TEMPERATURA - pH- OXIGENO DISUELTO - TURBIDEZ					
CÁMARA 2					
DIA	T	pH	OD	TURBIDEZ	OBSERVACIONES
	°C		mg/L	NTU	
1	18.1	7.7	6.17	262	Medición con Multiparametro
2	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
3	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
4	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
5	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
6	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
7	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
8	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
9	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
10	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
11	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
12	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
13	18.2	8.15	6.2	-	Medición con Multiparametro
14	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
15	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
16	17.5	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
17	17	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
18	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
19	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
20	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
21	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
22	18	8	-	39.5	Medición con Turbidimetro, Termometro y papel indicador pH
23	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
24	18.4	8.13	6.21	-	Medición con Multiparametro
25	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
26	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
27	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
28	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
29	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
30	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
31	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
32	18	8	-	-	Medición con Termometro y papel indicador pH
33	17.8	8.1	6.2	10.5	Medición con Multiparametro y turbidimetro

ANEXO 11

Cadena de custodia del análisis final del Agua Residual



CADENA DE CUSTODIA - MATRIZ AGUA

ALAB
LABORATORIO

Fecha del cliente: 05-09-2023

Orden de servicio: P-2023-459

Plan de Muestreo: C-23-4423

Informe de ensayo: IE-23-840

Procedencia o lugar de muestreo:

Nombre del cliente: Roca Gisela Quispe Juca

Dirección: Roca Gisela Quispe Juca, como Titular, Edificio 1323@hotmail.com/974757918

Procedencia: Bando de emergencia del municipio de Gualaquiza, cantón Gualaquiza, provincia Gualaquiza, Ecuador

Punto de muestreo / Estación	Código de Muestreo	Muestro	Clasificación		Ubicación	N° Frascos		Preservante	PARAMETROS DE BTU						OBSERVACIONES
			Grupo	Sub-grupo		Combinados (f/m)	V		F	T° (°C)	pH	CE (µmhos/cm)	OD (mg/L)	Cloro Libre (mg/L)	
1	CA	P-23-01-2023 H-11:44	NR	Industrial	N 8182486 E 229376	4	4	H ₂ SO ₄	19	8					
2	CA	P-23-01-2023 H-12:45	NR	Industrial	N 8182486 E 229376	4	4	H ₂ SO ₄	19	8					
3															
4															
5															
6															
7															
8															

Descripción de equipo utilizado:

N°	Nombre del equipo
1	
2	
3	
4	

Muestreado por: Alejandro Tito Luque

Fecha: 23-01-2023

Firma: [Firma]

Clasificación de la Matriz Agua, Ref: NTP 214.042

AN	Agua Natural	SI	NO
AM	Agua Minera	SI	NO
AR	Agua Residual	SI	NO
AS	Agua de Superficie	SI	NO
AT	Agua de Tercera Clase	SI	NO
AW	Agua de Segunda Clase	SI	NO
AX	Agua de Primera Clase	SI	NO
AY	Agua de Tercera Clase	SI	NO
AZ	Agua de Segunda Clase	SI	NO
AA	Agua de Primera Clase	SI	NO

Observaciones / Comentarios:

ANEXO 12

Informe de análisis final de Agua Residual



INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-890

N° Id.: 000069078

I. DATOS DEL SERVICIO

1-RAZON SOCIAL	: ROSA QUISPE YUCRA
2-DIRECCIÓN	: Asoc. Asopia Mz A Lt 11 José Luis Bustamante y Rivero, Arequipa
3-PROYECTO	: DISEÑO EXPERIMENTAL DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO CON TECNOLOGIA MBBR PARA AGUAS RESIDUALES PROVENIENTES DEL CANAL MUNICIPAL DE COTAHUASI - LA UNION - AQP
4-PROCEDENCIA	: NO INDICA
5-SOLICITANTE	: ROSA QUISPE YUCRA
6-ORDEN DE SERVICIO N°	: 000000247-2023-0000
7-PROCEDIMIENTO DE MUESTREO	: NO APLICA
8-MUESTREADO POR	: MUESTRA Y DATOS PROPORCIONADO POR EL CLIENTE SEGUN CADENA DE CUSTODIA
9-FECHA DE EMISIÓN DE INFORME	: 2023-01-31

II. DATOS DE ÍTEMS DE ENSAYO

1-PRODUCTO	: Agua Residual
2-NÚMERO DE MUESTRAS	: 2
3-FECHA DE RECEP. DE MUESTRA	: 2023-01-23
4-PERÍODO DE ENSAYO	: 2023-01-23 al 2023-01-31

Liz Y. Quispe Quispe
Jefe de Laboratorio
CIP N° 211662



Los resultados contenidos en el presente documento sólo están relacionados con los ítems ensayados. No se debe reproducir el informe de ensayo, excepto en su totalidad, sin la aprobación escrita de Analytical Laboratory E.I.R. L. Los resultados de los ensayos no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce. Su adulteración o su uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones civiles y penales en la materia.

SEDE PRINCIPAL
Av. Guardia Chalaca 1877,
Bellavista, Callao P (+511)
7175810 / Anexo 112 Cel:
940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
Prolongación Zarumilla Mz
D2, Lt3, Bellavista, Callao
P (+511) 7130636
Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
Mz. E Lt.9 COOP SIDSUR
P (+073) 615843
Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
Calle Los Ebanos Mz G Lt 17 Urb.
Miraflores II Etapa - Ref. Costado
del colegio San Ignacio de Loyola. P
(+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pag. 1 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-890

N° Id.: 0000069078

III. MÉTODOS Y REFERENCIAS

TIPO DE ENSAYO	NORMA DE REFERENCIA	TÍTULO
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) 2	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 F.2, 23rd Ed. 2017.	Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group, Escherichia coli Procedure Using Fluorogenic Substrate, Simultaneous Determination of Termotolerant Coliforms and E.coli.
Demanda Bioquímica de Oxígeno ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24th Ed. 2022.	Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test.
Acetres y Grasas ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5520B, 24th Ed. 2022.	Oil and Grease by Liquid-Liquid, Partition-Gravimetric Method
Sólidos Suspendidos Totales ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 24th Ed. 2022.	Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C.
Demanda Química de Oxígeno ²	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2022.	Chemical Oxygen Demand by Closed Reflux, Colorimetric Method.

¹SMEWW : Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

² Ensayo acreditado por el IAS

SEDE PRINCIPAL
 Av. Guardia Chalaca 1877,
 Bellavista, Callao P (+511)
 7175810 / Anexo 112 Cel.:
 940 598 572
www.alab.com.pe

SEDE ZARUMILLA
 Prolongación zarumilla Mz
 D2, Lt5 , Bellavista, Callao.
 P (+511) 7130636
 Cel.: 932646460
www.alab.com.pe

SEDE AREQUIPA:
 Mz. E LT9 COOP SIDSUR
 P (+073) 616843
 Cel.: 932646642
www.alab.com.pe

SEDE PIURA:
 Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
 Miraflores II Etapa - Ref. Costado
 del colegio San Ignacio de Loyola. P
 (+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág 2 de 3

INFORME DE ENSAYO N°: IE-23-890

N° Id.: 0000080078

IV. RESULTADOS

ITEM	1		2		
CÓDIGO DE LABORATORIO:	M-23-02746		M-23-02747		
CÓDIGO DEL CLIENTE:	C 1		C 2		
COORDENADAS:	E:0229376		E:0229376		
UTM WGS 84:	N:8182488		N:8182488		
PRODUCTO:	Agua Residual		Agua Residual		
SUB PRODUCTO:	Agua Residual Industrial		Agua Residual Industrial		
INSTRUCTIVO DE MUESTREO:	NO APLICA				
FECHA y HORA DE MUESTREO:	23-01-2023 11:44		23-01-2023 12:15		
ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	L.C.M.	RESULTADOS	
Coliformes Fecales (Termotolerantes) (NMP) ¹	NMP/100mL	NA	1,8	13,0	110,0
Demanda Bioquímica de Oxígeno ²	mg/L	0,4	2,0	124,2	104,1
Aceites y Grasas ²	mg/L	0,30	0,50	2,40	<0,50
Sólidos Suspendedos Totales ²	mg/L	2,0	5,0	69,0	43,0
Demanda Química de Oxígeno ²	mg/L	2,0	5,0	331,6	277,5

¹ Ensayo acreditado por el IAS

 L.C.M.: Límite de cuantificación del método, "<"= Menor que el L.C.M.
 L.D.M.: Límite de detección del método, "<"= Menor que el L.D.M.

V. OBSERVACIONES

Los resultados se aplican a la muestra cómo se recibió.

"FIN DE DOCUMENTO"
SEDE PRINCIPAL
 Av. Guardia Chaleca 1877,
 Bellavista, Callao P (+511)
 7175810 / Anexo 112 Cel:
 940 598 572
www.alab.com.pe
SEDE ZARUMILLA
 Prolongación zarumilla Ntz
 D2, Lt3 , Bellavista, Callao
 P (+511) 7130636
 Cel.: 932646460
www.alab.com.pe
SEDE AREQUIPA:
 Mz. E LL9 COOP SIDSUR
 P (+073) 616843
 Cel.: 932646642
www.alab.com.pe
SEDE PIURA:
 Calle Los Ebanos Mz G LT 17 Urb.
 Miraflores II Etapa - Ref. Costado
 del colegio San Ignacio de Loyola. P
 (+073) 542335 Cel.: 919 475 133
www.alab.com.pe

Pág.3 de 3

ANEXO 13

Certificado de Calibración de Multiparámetro



**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO
POR EL ORGANISMO A2LA CON CERTIFICADO #6032.01
SEGÚN NTP-ISO/IEC 17025:2017**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0029-2022

Expediente : 00127

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-03-11

1. **Solicitante** : MONECO S.A.C.
2. **Dirección** : MZ. D - LT. 8 - URB. VILLA EL CONQUISTADOR II - ALTO SELVA ALEGRE - AREQUIPA - AREQUIPA
3. **Instrumento** : **MULTIPARÁMETRO (Sonda de pH)**
 Marca : HANNA
 Modelo : HI98194
 Número de serie : 5100045101
 Serie del electrodo : K3448473
 Identificación : EMA-MUL-01
 Procedencia : Rumania
 Intervalo de medida : 0 a 14 pH
 Resolución : 0,01 pH
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2022-03-11
6. **Método de calibración** :
 La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-020 "Procedimiento para la calibración de medidores de pH". Segunda Edición. 2017. INACAL.

Los resultados presentados corresponden solo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. Trazabilidad :

Se utilizó las soluciones tampones patrones de pH:

pH	N° Lote	Certificado de Análisis	Incertidumbres (pH)
4,007	CC721421	4280-12172020	0,011
6,995	CC729852	4281-12451546	0,011
10,009	CC720358	4282-12147180	0,011

Un termómetro patrón de código PTT-001, con Certificado de Calibración N° LT-010-2021

Meyer Vitelobos Bravo
Responsable de Masa y Volumen

8. Condiciones ambientales :

Temperatura Ambiental :	Inicial 24,8 °C	Final 24,9 °C
Humedad Relativa :	63,2 % h.r.	64,1 % h.r.

9. Resultados :

INDICACIÓN DEL PHMETRO (pH)	SOLUCIÓN TAMPÓN (BUFFER) PATRÓN (pH)	ERROR (pH)	INCERTIDUMBRE (pH)
4,10	4,007	0,093	0,015
7,09	6,995	0,095	0,015
10,10	10,009	0,091	0,015

Valor de la solución tampón patrón = Indicación del pHmetro - Error .

Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .

La incertidumbre de la medición se da con un nivel de confianza aproximado del 95 % con un factor de cobertura $k = 2$.

10. Observaciones :

La indicación del pHmetro es el promedio de 3 mediciones.

Antes del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 3,98 pH ; 7,05 pH y 10,45 pH respectivamente .

Después del ajuste las lecturas del equipo para los patrones 4,007 pH; 6,995 pH y 10,009 pH fueron 4,10 pH; 7,09 pH y 10,10 pH respectivamente .

El Coeficiente de correlación obtenido es (1,000) y se encuentra dentro de los límites establecidos "mayor a 0,995 y menor a 1,005" según el procedimiento de calibración.

Se colocó una etiqueta autoadhesiva en el instrumento con la indicación "CALIBRADO" y N° 001694 .

(FIN DEL DOCUMENTO)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQA-0030-2022

Expediente : 00127

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-03-11

1. **Solicitante** : MONECO S.A.C.
2. **Dirección** : MZ. D - LT. 8 - URB. VILLA EL CONQUISTADOR II - ALTO SELVA ALEGRE - AREQUIPA - AREQUIPA
3. **Instrumento** : **MULTIPARAMETRO (Medidor de conductividad)**
Marca : HANNA
Modelo : HI98194
Serie : 5100045101
Serie del electrodo : K3448473
Procedencia : Rumania
Código de identificación : EMA-MUL-01
Intervalo de Indicación : 0 µS/cm a 200 mS/cm
Resolución : 1 µS/cm; 0,001 mS/cm; 0,01 mS/cm; 0,1 mS/cm; 1 mS/cm
Ubicación : No indica
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Físicoquímica de ALAB E.I.R.L.
5. **Fecha de calibración** : 2022-03-11
6. **Método de calibración** :
 La calibración se realizó por comparación con material de referencia certificado según el procedimiento PC-022 "Procedimiento para la calibración de Conductímetros" Primera Edición, 2014, INDECOPI.
7. **Trazabilidad** :

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

Valor Certificado a 25 °C	N° de lote	Certificado de Análisis	Incertidumbre (k=2)
5,03 µS/cm	4109G85	-	0,26 µS/cm
10,03 µS/cm	4109D70	-	0,26 µS/cm
1414,0 µS/cm	2110H39	-	5,8 µS/cm

Código	Instrumento Patrón	Certificado o Informe de calibración
PTT-001	Termómetro digital de incertidumbre 0,0212°C a 0,0278°C	LTE-010-2021

8. **Condiciones de calibración** :

	Inicial	Final
Temperatura ambiental :	25,2 °C	25,3 °C
Humedad relativa :	66,2 % H.R.	66,4 % H.R.



Meyler Villalobos Bravo
Responsable del laboratorio de Físicoquímica

9. Resultados :

Valor del Certificado	Lectura promedio del equipo	Error	Incertidumbre
5,03 $\mu\text{S/cm}$	4 $\mu\text{S/cm}$	-1,03 $\mu\text{S/cm}$	0,63 $\mu\text{S/cm}$
10,03 $\mu\text{S/cm}$	10 $\mu\text{S/cm}$	-0,03 $\mu\text{S/cm}$	0,64 $\mu\text{S/cm}$
1414 $\mu\text{S/cm}$	1318 $\mu\text{S/cm}$	-96 $\mu\text{S/cm}$	13 $\mu\text{S/cm}$

Valor Certificado = Lectura del Equipo - Error

10. Observaciones :

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° 001694.
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25°C .
- Las incertidumbres de medición expandidas reportadas son las incertidumbres de medición estándares multiplicadas por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFQ-0016-2022

Expediente : 00127

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-03-11

1. **Solicitante** : MONECO S.A.C.
2. **Dirección** : MZ. D - LT. 8 - URB. VILLA EL CONQUISTADOR II - ALTO SELVA ALEGRE - AREQUIPA - AREQUIPA
3. **Instrumento** : **MULTIPARÁMETRO (Medidor de OD)**
Marca / Fabricante : HANNA
Modelo : HI98194
Serie : 5100045101
Serie de la sonda : K3448473
Procedencia : Rumania
Código de identificación : EMA-MUL-01
Intervalo de Indicación : 0,00 mg/L a 50,00 mg/L
Resolución : 0,01 mg/L
4. **Lugar de calibración** : Laboratorio de Fisicoquímica de ALAB
5. **Fecha de calibración** : 2022-03-11

6. **Método de calibración :**
 La Calibración se realizó por comparación de la indicación del equipo contra Material Estandar de valor nominal conocido.

7. **Trazabilidad :**
 Se utilizó una solución cero oxígeno (2 componentes), código de producto HI7040L.

Producto	Marca	N° Lote	Expiración
HI7040-1	Hanna Instruments	3163	2023-07
HI7040-2	Hanna Instruments	3222	2023-07

8. **Condiciones de calibración :**

Temperatura ambiental : 25,6 °C 25,8 °C

Humedad relativa : 63 % H.R. 64,0 % H.R.

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.



Meyler Villalobos Bravo
Responsable del laboratorio de Fisicoquímica

9. Resultados :

Valor referencia (mg/L)	Lectura promedio del instrumento (mg/L)	Error promedio encontrado (mg/L)	Incertidumbre (mg/L)
0,00	0,45	0,45	0,12
8,57	7,97	-0,60	0,12

Valor referencia (%)	Lectura promedio del instrumento (%)	Error promedio encontrado (%)	Incertidumbre (%)
0,0	0,4	0,4	1,2
100,0	103,4	3,4	1,2

$$\text{Valor de referencia} = \text{Lectura del Instrumento} - \text{Error}$$

- Se colocó en el instrumento una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO" y N° 001694.
- Los resultados son emitidos para la temperatura de referencia de 25 °C .
- La incertidumbre de medición expandida reportada es la incertidumbre de medición estándar multiplicada por el factor de cobertura k=2 de modo que la probabilidad de cobertura corresponde aproximadamente a un nivel de confianza del 95 %.

(FIN DEL DOCUMENTO)

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LT-0031-2022

Expediente : 127

Página 1 de 2

Fecha de emisión : 2022-03-12

1. Solicitante : MONECO S.A.C.

Dirección : MZ. D - LT. 8 - URB. VILLA EL CONQUISTADOR II - ALTO SELVA ALEGRE - AREQUIPA - AREQUIPA

2. Instrumento calibrado : **TERMÓMETRO CON INDICACIÓN DIGITAL (MULTIPARAMETRO)**

INDICADOR

Marca : HANNA INSTRUMENTS

Modelo : HI98194

N° de serie : 05100045101

Código : EMA-MUL-01 (*)

Alcance : -5 °C a 105 °C

Resolución : 0,01 °C

Procedencia : Rumania

Tipo de Sensor : Termistor

3. Lugar de calibración : En el laboratorio de Temperatura de ALAB E.I.R.L.

4. Fecha de calibración : 2022-03-11

5. Método de calibración :

La calibración se realizó por comparación directa tomando como referencia PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales", Segunda Edición, 2012, INDECOPI

6. Trazabilidad :

Los resultados de la calibración realizada tienen trazabilidad a los patrones nacionales del INACAL - DM, en concordancia con el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI) y el Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP)

Código	Descripción	Certificado de calibración
PTT-014	Termómetro Digital de incertidumbre 0,017 C a 0,044 C	LT-213-2021 / INACAL-DM
PTT-026	Termómetro Digital de incertidumbre 0,017 C a 0,044 C	LT-214-2021 / INACAL-DM



Randy C. Santiago Jurado
Responsable de Laboratorio de
Temperatura y Humedad

Av. Guardia Chalaca N° 1877 Bellavista - Callao
Telf. 01-717 5802 / 01-717 5803 / Cel. 981768628
www.alab.com.pe

Los resultados presentados corresponden sólo al ítem calibrado y se refieren al momento y condiciones en que se realizaron las mediciones y no deben utilizarse como certificado de conformidad con normas de producto.

El certificado de calibración es un documento oficial de interés público, su adulteración o uso indebido constituye delito contra la fe pública y se regula por las disposiciones penales y civiles en la materia. Sin perjuicio de lo señalado, dicho uso puede configurar por sus efectos una infracción a las normas de protección al consumidor y las que regulan la libre competencia.

Al usuario le corresponde disponer en su momento la ejecución de una nueva calibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

ALAB E.I.R.L. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

Este certificado de calibración es trazable a patrones nacionales o internacionales, los cuales realizan las unidades de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Este certificado de calibración no podrá ser reproducido parcialmente, excepto con autorización expresa por escrito de ALAB E.I.R.L.

El certificado de calibración no es válido sin la firma del responsable técnico de ALAB E.I.R.L.

7. Condiciones de Calibración :

Tiempo de estabilización : 10 min

Profundidad de inmersión : 7 cm

Temperatura ambiental Inicial : 21,7 °C Final : 22,2 °C

Humedad relativa Inicial : 57,0 % h.r. Final : 60,0 % h.r.

8. Resultados de la Calibración :

SENSOR DE N° SERIE: K3448473			
Indicación del termómetro °C	Temperatura convencionalmente verdadera °C	Corrección °C	Incertidumbre °C
10,04	10,01	-0,03	0,12
20,02	20,01	-0,01	0,12
25,05	25,01	-0,04	0,12

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
TCV = Indicación del termómetro + corrección

9. Observaciones :

- Se colocó una etiqueta autoadhesiva con la indicación "CALIBRADO"; N° 001694.
- Antes de la calibración no se realizó ningún tipo de ajuste.
- La incertidumbre expandida de la medición se ha obtenido multiplicando la incertidumbre estándar de la medición por el factor de cobertura $k = 2$ que, para una distribución normal corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente 95 %.
- (*) Código de identificación indicado en una etiqueta adherida al instrumento.
- El sensor de Modelo: HI7698194 y N° Serie: K3448473; forma parte de un multiparámetro.

FIN DEL DOCUMENTO



CERTIFICATE OF ANALYSIS
 Complies with **ISO 17034, ISO Guide 31,**
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4280-12172020
Description : Buffer 4.005 pH
Catalog Number : ML13170, **Lot :** CC721421
Certificate Date : 20 Apr 2021 **Expiration Date :** 20 Apr 2023
Certified Value : 4.007 pH **U:** ±0.011 pH (k=2) at 25°C

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.050 mol/kg H2O potassium hydrogen phthalate, and germicide.

Marisa Elms
 Marisa Elms, Technical Manager

Nicol Rodriguez
 Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ton Meter	658R067-N023		
pH Reference Material 4.005	E1115820	23 Nov 2023	158-20
Digital Thermometer	102008443	22 Feb 2022	4000-11972359
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 36.00%RH 24.90°C 1020mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2005-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
 Complies with **ISO 17034, ISO Guide 31,**
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	4.001	4.001	4.001	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002
19	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.002	4.003
20	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003	4.003
21	4.003	4.003	4.003	4.004	4.004	4.004	4.004	4.004	4.004	4.004
22	4.004	4.004	4.004	4.004	4.004	4.004	4.005	4.005	4.005	4.005
23	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.005	4.006	4.006	4.006
24	4.006	4.006	4.006	4.006	4.006	4.006	4.006	4.007	4.007	4.007
25	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.007	4.008	4.008	4.008
26	4.008	4.008	4.008	4.008	4.008	4.008	4.008	4.009	4.009	4.009
27	4.009	4.009	4.009	4.009	4.009	4.010	4.010	4.010	4.010	4.010
28	4.010	4.010	4.010	4.010	4.011	4.011	4.011	4.011	4.011	4.011

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials – Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials – General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
 Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
 ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4281-12451546
Description : Buffer 7.000 pH
Catalog Number : ML13171, **Lot :** CC729852
Certificate Date : 15 Jul 2021 **Expiration Date :** 15 Jul 2023
Certified Value : 6.995 pH **U:** ±0.011 pH (k=2) at 25°C

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.029 mol/kg H2O disodium hydrogen phosphate, 0.021 mol/kg H2O potassium dihydrogen phosphate, and germicide.

Marisa Dims

Marisa Dims, Technical Manager

Nicol Rodriguez

Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ion Meter	65BR067-M023		
pH Reference Material 7.000	E1206121	16 May 2024	061-21
Digital Thermometer	102008443	22 Feb. 2022	4000-11972359
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 44.00%RH 24.80°C 1022mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2006-AQ-HOU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
 Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
 ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	7.019	7.019	7.018	7.018	7.017	7.017	7.017	7.016	7.016	7.016
19	7.015	7.015	7.014	7.014	7.014	7.013	7.013	7.013	7.012	7.012
20	7.011	7.011	7.011	7.010	7.010	7.009	7.009	7.009	7.008	7.008
21	7.008	7.008	7.007	7.007	7.007	7.006	7.006	7.005	7.005	7.005
22	7.004	7.004	7.004	7.003	7.003	7.003	7.002	7.002	7.002	7.002
23	7.001	7.001	7.001	7.000	7.000	7.000	6.999	6.999	6.999	6.998
24	6.998	6.998	6.997	6.997	6.997	6.996	6.996	6.995	6.995	6.995
25	6.995	6.995	6.994	6.994	6.994	6.994	6.993	6.993	6.993	6.992
26	6.992	6.992	6.992	6.991	6.991	6.991	6.990	6.990	6.990	6.990
27	6.989	6.989	6.989	6.989	6.988	6.988	6.988	6.987	6.987	6.987
28	6.987	6.986	6.986	6.986	6.986	6.985	6.985	6.985	6.985	6.984

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT 01825-2020-AQ-HDU-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



This certificate indicates traceability to standards provided by (NIST) National Institute of Standards and Technology and/or a National Standards Laboratory.

Certificate No. : 4282-12147180
Description : Buffer 10.012 pH
Catalog Number : ML13172, **Lot :** CC720358
Certificate Date : 13 Apr 2021 **Expiration Date :** 13 Apr 2023
Certified Value : 10.009 pH **U: ±0.011 pH (k=2) at 25°C**

Certification measurements are performed under ISO 17034, A2LA accreditation no. 1750.02. They are traceable to recognized national and international standards via an unbroken chain of comparisons. pH is defined as the negative logarithm of the hydrogen ion activity.

MEASUREMENT: Minimum twelve (12) 100 ml samples were measured from this lot. The pH of each sample was determined using a pH meter and electrode.

UNCERTAINTY: The certified value is given as the average of the measured samples. The reported expanded uncertainty (U) is determined from the measurement variation from sample to sample, change due to shelf life, and uncertainty of the measurement process. The value of uncertainty is multiplied by k=2, which for a normal distribution corresponds to a coverage probability of approximately 95%. Uncertainty is calculated in accordance with the ISO "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement".

METHOD: The certified reference material is produced and analyzed by Control Company. The certified reference material is comprised of deionized water, 0.025 mol/kg H2O sodium hydrogen carbonate, and 0.025 mol/kg H2O sodium carbonate.

Maria Lins
 Maria Lins, Technical Manager

Nicol Rodriguez
 Nicol Rodriguez, Quality Manager

Traceability: Standards and Equipment Used

Description	Serial Number	Due Date	Traceable Reference
pH/Ion Meter	658R067-N023		
pH Reference Material 10.000	E1404120	25 Mar 2023	041-20
Digital Thermometer	102008443	22 Feb 2022	4000-11972359
pH Electrode	15293-F18		

Laboratory Environment Conditions: 34.00%RH 24.80°C 1010mBar

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (A2LA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-01805-2009-AQ-HOU-AMAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



CERTIFICATE OF ANALYSIS
 Complies with ISO 17034, ISO Guide 31,
 ISO Guide 35, and ISO 9001
TRACEABLE® CERTIFIED REFERENCE MATERIAL



Temperature Correction Information:

Use the chart below only for making absolute measurements. That is, measurements without any automatic temperature correction (temperature coefficient set to 0).

°C	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
18	10.081	10.080	10.079	10.078	10.077	10.076	10.074	10.073	10.072	10.071
19	10.070	10.069	10.068	10.067	10.066	10.065	10.064	10.063	10.062	10.060
20	10.059	10.058	10.057	10.056	10.055	10.054	10.053	10.052	10.051	10.050
21	10.049	10.048	10.047	10.046	10.045	10.044	10.043	10.042	10.041	10.040
22	10.039	10.038	10.037	10.036	10.035	10.034	10.033	10.032	10.031	10.030
23	10.029	10.028	10.027	10.026	10.025	10.024	10.023	10.022	10.021	10.020
24	10.019	10.018	10.017	10.016	10.015	10.014	10.013	10.012	10.011	10.010
25	10.009	10.008	10.007	10.006	10.005	10.004	10.003	10.002	10.001	10.000
26	9.999	9.998	9.998	9.997	9.996	9.995	9.994	9.993	9.992	9.991
27	9.990	9.989	9.988	9.987	9.986	9.986	9.985	9.984	9.983	9.982
28	9.981	9.980	9.979	9.978	9.977	9.976	9.976	9.975	9.974	9.973

The above data are derived values based upon IUPAC data (Pure and Applied Chemistry 74, 2169-2200) and data/algorithm obtained using a temperature controlled calibration bath.

Shown on the chart is temperature (in the far left column) in whole degrees. Shown across the top row is temperature in tenths of a degree. Using a thermometer, measure the temperature of this certified reference material. Locate the measured temperature in whole numbers on the far left column. Follow across the row to the temperature in tenths of a degree. At the intersection is the certified reference material value at that specific temperature. Standardize the meter using that value.

Example: Measured temperature is 24.5°C. Find 24°C in the far left column, find the row 0.5°C. Where 24°C and 0.5°C intersect, read the value in pH.

CONTROL COMPANY 12554 Galveston RD Suite B230 Webster TX USA 77598
Phone 281 482-1714 Fax 281 482-9448 sales@control3.com www.traceable.com

Control Company is an ISO 17034:2016 Certified Reference Material (CRM) Producer Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.02). This certificate fulfills the requirements of ISO Guide 31:2015 (Reference Materials - Contents of Certificates and Labels), ISO 17034:2016 "Quality System Guidelines for the Production of Reference Materials", and ISO Guide 35:2017 "Certification of Reference Materials - General and Statistical Principles". Control Company is an ISO/IEC 17025:2017 Calibration Laboratory Accredited by American Association for Laboratory Accreditation (AZLA Certificate No. 1750.01). Control Company is ISO 9001:2015 certified by DNV GL (Certificate No. CERT-011995-2020-AQ-180U-ANAB). Traceable® is a registered trademark of Control 3 Inc.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Informe de Calibración

LT - 010 - 2021

Laboratorio de Termometría

Página 1 de 4

Expediente	1043785	<p>Este informe de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrologías a solicitud de los interesados; promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	
Dirección	Av. Guardia Chalaca N° 1877 - Bellavista - Callao	
Instrumento de Medición	TERMOMETRO DE INDICACION DIGITAL	
Intervalo de Indicación	-50,000 °C a 150,000 °C	
Resolución	0,0001 °C ; 0,001 °C ; 0,01 °C ; 0,1 °C	
Marca	TRACEABLE	
Modelo	61220-601 (para el indicador); 10025-680 (para el sensor)	
Procedencia	NO INDICA	
Número de Serie	160256575 (para el indicador); 130058259 (para el sensor)	
Elemento Sensor	No especificado	
Fecha de Calibración	2021-08-12 al 2021-08-17	

Este informe de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Informes sin firma digital y sello carecen de validez.

Responsable del área

Responsable del laboratorio



Dirección de Metrología

Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima - Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología
Laboratorio de Termometría

Informe de Calibración LT – 010 – 2021

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración por comparación siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" (2da Edición Diciembre 2012)

Lugar de Calibración

Laboratorio de Termometría
Calle De la Prosa 150, San Borja - Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C ± 2 °C
Humedad Relativa	59 % ± 5 %

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrología	Indicador digital con dos sensores de platino de 100 ohm (Sensor 11 y Sensor 12) con incertidumbres del orden desde 12,0 mK hasta 24,0 mK	LT-031-2021 Febrero 2021

Observaciones

Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).
El termómetro presenta errores mayores al error máximo permitido, el cual es de $\pm 0,05$ °C; según su manual del instrumento de medición.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Informe de Calibración LT – 010 – 2021

Página 3 de 4

Resultados de Medición

INDICACIÓN DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCIÓN (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
-49,781	-44,6779	5,1031	0,0226
-0,141	-0,0139	0,1271	0,0212
49,999	50,0013	0,0023	0,0250
100,603	100,0100	-0,5930	0,0273
149,986	146,1009	-3,8851	0,0278

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

- Nota 1.-** La profundidad de inmersión del sensor fue de 12 cm aproximadamente .
Nota 2.- Tiempo de estabilización no menor a 10 minutos .
Nota 3.- La calibración se realizó con resolución de 0,001 °C a pedido del solicitante.
Nota 4.- Los resultados mostrados se relacionan únicamente con el instrumento descrito en la página 1 del presente documento de calibración.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Informe de Calibración LT – 010 – 2021

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPÍ mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metroológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LT - 213 - 2021

Laboratorio de Termometría

Página 1 de 4

Expediente	1043620	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metroológicas a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	
Dirección	Av. Guardia Chalaca N° 1877 - Bellavista - Callao	
Instrumento de Medición	TERMOMETRO DE INDICACION DIGITAL	
Intervalo de Indicación	-80 °C a 300 °C	
Resolución	0,001 °C	
Marca	FLUKE	
Modelo	1552A-Ex	
Procedencia	ESTADOS UNIDOS	
Número de Serie	3204035	
Elemento Sensor	Una termorresistencia de platino de 100 Ω	
Fecha de Calibración	2021-08-24 al 2021-08-26	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.

	Responsable del área	Responsable del laboratorio
		
Dirección de Metrología	<small>Firmado digitalmente por GUSPE DUSPILIMA Silly Benno FAU 2960202015.pdf Fecha: 2021-08-23 10:18:02.</small>	<small>Firmado digitalmente por CALZADO CANTENO Juan Ricardo FAU 2080202015.pdf Fecha: 2021-08-27 14:43:48</small>
Dirección de Metrología	Dirección de Metrología	Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima - Perú
Telf.: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web: www.inacal.gob.pe

Puede verificar el número de certificado en la página:
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/dm/verificar/>



INACAL

Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 213 – 2021

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración por comparación siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" (2da Edición Diciembre 2012)

Lugar de Calibración

Laboratorio de Termometría
Calle De la Prosa 150, San Borja - Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C ± 2 °C
Humedad Relativa	58 % ± 5 %

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrología	Indicador digital con 2 sensores de platino de 100 ohm (sensor 11 y sensor 12) con incertidumbres del orden desde 12,0 mK hasta 27,8 mK	LT-031-2021 Febrero 2021
Patrones de primarios de FLUKE	Termómetro de Resistencia de Platino de 100 ohm con Incertidumbre del orden desde 6,0 mK hasta 9,0 mK	B9A04071 Octubre 2019
		B9A04072 Octubre 2019
Patrones primarios del NIST - Estados Unidos	Puente termométrico de resistencias con incertidumbre del orden de $0,073 \times 10^{-6}$	685/290240-17 Setiembre 2017

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de la Dirección de Metrología - INACAL. Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 213 – 2021

Página 3 de 4

Resultados de Medición

INDICACION DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCION (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
-59,929	-59,965	-0,036	0,020
-40,012	-40,010	0,002	0,018
-0,025	-0,012	0,013	0,017
99,995	99,996	0,001	0,027
200,059	200,062	0,003	0,033
290,462	289,927	-0,535	0,044

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

Nota 1.- La profundidad de inmersión del sensor fue de 25 cm aproximadamente .

Nota 2.- Tiempo de estabilización no menor a 10 minutos .

Nota 3.- Los resultados mostrados se relacionan únicamente con el instrumento descrito en la página 1 del presente documento de calibración.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 213 – 2021

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPi mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metrológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología

Certificado de Calibración

LT - 214 - 2021

Laboratorio de Termometría

Página 1 de 4

Expediente	1043620	<p>Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI)</p> <p>La Dirección de Metrología custodia, conserva y mantiene los patrones nacionales de las unidades de medida, calibra patrones secundarios, realiza mediciones y certificaciones metrologías a solicitud de los interesados, promueve el desarrollo de la metrología en el país y contribuye a la difusión del Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú. (SLUMP).</p> <p>La Dirección de Metrología es miembro del Sistema Interamericano de Metrología (SIM) y participa activamente en las Intercomparaciones que éste realiza en la región.</p> <p>Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones el usuario está obligado a recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.</p>
Solicitante	ANALYTICAL LABORATORY E.I.R.L.	
Dirección	Av. Guardia Chalaca N° 1877 - Bellavista - Callao	
Instrumento de Medición	TERMOMETRO DE INDICACION DIGITAL	
Intervalo de Indicación	-80 °C a 300 °C	
Resolución	0,001 °C	
Marca	FLUKE	
Modelo	1552A-Ex	
Procedencia	ESTADOS UNIDOS	
Número de Serie	4563002	
Elemento Sensor	Una termorresistencia de platino de 100 Ω	
Fecha de Calibración	2021-08-24 al 2021-08-26	

Este certificado de calibración sólo puede ser difundido completamente y sin modificaciones. Los extractos o modificaciones requieren la autorización de la Dirección de Metrología del INACAL. Certificados sin firma digital y sello carecen de validez.



Responsable del área



Firmado digitalmente por DIUSPTE
DIUSPTE004-0001-0001-0001
2000020015-0001
Fecha: 2021-08-27 20:19:55

Dirección de Metrología

Responsable del laboratorio



Firmado digitalmente por CALDADO CANTERO
Jose Manuel FALZ
0000000000-0001
Fecha: 2021-08-27 14:43:45

Dirección de Metrología

Instituto Nacional de Calidad - INACAL
Dirección de Metrología
Calle Las Camelias N° 817, San Isidro, Lima - Perú
Tel: (01) 640-8820 Anexo 1501
Email: metrologia@inacal.gob.pe
Web www.inacal.gob.pe

Puede verificar el número de certificado en la página:
<https://aplicaciones.inacal.gob.pe/itm/verificar/>



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología
Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 214 – 2021

Página 2 de 4

Método de Calibración

Calibración por comparación siguiendo el procedimiento INDECOPI-SNM PC-017 "Procedimiento para la Calibración de Termómetros Digitales" (2da Edición Diciembre 2012)

Lugar de Calibración

Laboratorio de Termometría
Calle De la Prosa 150, San Borja - Lima

Condiciones Ambientales

Temperatura	23 °C ± 2 °C
Humedad Relativa	58 % ± 5 %

Patrones de referencia

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
Patrones de referencia de la Dirección de Metrología	Indicador digital con 2 sensores de platino de 100 ohm (sensor 11 y sensor 12) con incertidumbres del orden desde 12,0 mK hasta 27,8 mK	LT-031-2021 Febrero 2021
Patrones de primarios de FLUKE	Termómetro de Resistencia de Platino de 100 ohm con Incertidumbre del orden desde 6,0 mK hasta 9,0 mK	B9A04071 Octubre 2019
		B9A04072 Octubre 2019
Patrones primarios del NIST - Estados Unidos	Puente termométrico de resistencias con incertidumbre del orden de 0,073 x 10 ⁻⁶	685/290240-17 Setiembre 2017

Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de la Dirección de Metrología - INACAL. Las temperaturas convencionalmente verdaderas mostradas en los resultados de medición son las de la Escala Internacional de Temperatura de 1990 (International Temperature Scale ITS-90).



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad
Metrología
Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 214 – 2021

Página 3 de 4

Resultados de Medición

INDICACION DEL TERMOMETRO (°C)	TEMPERATURA CONVENCIONALMENTE VERDADERA (°C)	CORRECCION (°C)	INCERTIDUMBRE (°C)
-59,924	-59,965	-0,041	0,020
-40,004	-40,010	-0,006	0,018
-0,029	-0,012	0,017	0,017
99,982	99,996	0,014	0,027
200,048	200,062	0,014	0,033
290,390	290,046	-0,344	0,044

La temperatura convencionalmente verdadera (TCV) resulta de la relación:
 $TCV = \text{Indicación del termómetro} + \text{corrección}$

- Nota 1.-** La profundidad de inmersión del sensor fue de 25 cm aproximadamente .
Nota 2.- Tiempo de estabilización no menor a 10 minutos .
Nota 3.- Los resultados mostrados se relacionan únicamente con el instrumento descrito en la página 1 del presente documento de calibración.



INACAL
Instituto Nacional
de Calidad

Metrología

Laboratorio de Termometría

Certificado de Calibración LT – 214 – 2021

Página 4 de 4

Incertidumbre

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar combinada por el factor de cobertura $k=2$. La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la Incertidumbre en la Medición", segunda edición, julio del 2001 (Traducción al castellano efectuada por Indecopi, con autorización de ISO, de la GUM, "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement", corrected and reprinted in 1995, equivalente a la publicación del BIPM JCGM:100 2008, GUM 1995 with minor corrections "Evaluation of Measurement Data - Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement").

La incertidumbre expandida de medición fue calculada a partir de los componentes de incertidumbre de los factores de influencia en la calibración. La incertidumbre indicada no incluye una estimación de variaciones a largo plazo.

Recalibración

Los resultados son válidos en el momento de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

DIRECCION DE METROLOGIA

El Servicio Nacional de Metrología (actualmente la Dirección de Metrología del INACAL), fue creado mediante Ley N° 23560 el 6 enero de 1983 y fue encomendado al INDECOPI mediante Decreto Supremo DS-024-93 ITINCI.

El 11 de julio 2014 fue aprobada la Ley N° 30224 la cual crea el Sistema Nacional de Calidad, y tiene como objetivo promover y garantizar el cumplimiento de la Política Nacional de Calidad para el desarrollo y la competitividad de las actividades económicas y la protección del consumidor.

El Instituto Nacional de Calidad (INACAL) es un organismo público técnico especializado adscrito al Ministerio de Producción, es el cuerpo rector y autoridad técnica máxima en la normativa del Sistema Nacional de la Calidad y el responsable de la operación del sistema bajo las disposiciones de la ley, y tiene en el ámbito de sus competencias: Metrología, Normalización y Acreditación.

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con diversos Laboratorios Metroológicos debidamente acondicionados, instrumentos de medición de alta exactitud y personal calificado. Cuenta con un Sistema de Gestión de la Calidad que cumple con las siguientes Normas internacionales vigentes ISO/IEC 17025; ISO 17034; ISO 27001 e ISO 37001; con lo cual se constituye en una entidad capaz de brindar un servicio integral, confiable y eficaz de aseguramiento metrológico para la industria, la ciencia y el comercio brindando trazabilidad metrológicamente válida al Sistema Internacional de Unidades SI y al Sistema Legal de Unidades de Medida del Perú (SLUMP).

La Dirección de Metrología del INACAL cuenta con la cooperación técnica de organismos metrológicos internacionales de alto prestigio tales como: el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) de Alemania; el Centro Nacional de Metrología (CENAM) de México; el National Institute of Standards and Technology (NIST) de USA; el Centro Español de Metrología (CEM) de España; el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) de Argentina; el Instituto Nacional de Metrología (INMETRO) de Brasil; entre otros.

SISTEMA INTERAMERICANO DE METROLOGIA- SIM

El Sistema Interamericano de Metrología (SIM) es una organización regional auspiciado por la Organización de Estados Americanos (OEA), cuya finalidad es promover y fomentar el desarrollo de la metrología en los países americanos. La Dirección de Metrología del INACAL es miembro del SIM a través de la subregión ANDIMET (Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela) y participa activamente en las Intercomparaciones realizadas por el SIM.