

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota

TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Milagros de los Angeles Santacruz Corrales

ASESOR

Mg. Sc. Ever Núñez Bustamante

CHOTA – PERÚ

2025

CONSTANCIA DE

ORIGINALIDAD

El que suscribe, asesor de tesis Mg. Sc. Ever Núñez Bustamante, hace constar que el informe de tesis titulado "Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota", elaborado por el bachiller Milagros de los Angeles Santacruz Corrales, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias, ha sido sometido a un sistema de detección de similitud, a fin de verificar su originalidad y garantizar la autenticidad de su contenido.

Como resultado de la evaluación, el documento presenta un índice de similitud del 18%, sin considerar la bibliografía; por lo tanto, cumple con el criterio de evaluación de originalidad establecido en el REGLAMENTO DE GRADOS Y TÍTULOS DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA, aprobado mediante RESOLUCIÓN DE COMISIÓN ORGANIZADORA N° 770-2025-UNACH.

Se expide la presente constancia a solicitud de la interesada, para los fines que estime convenientes.

Chota, 14 de abril de 2025


Atentamente,


Ever Núñez Bustamante
ING. AGRÓNOMO
CIP. 140643

MARZO-2026

 INFORMES 2025

 FINALES

 Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3495768597

Fecha de entrega

2 mar 2026, 1:48 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 mar 2026, 2:18 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_MILAGROS_SANTACRUZ_CORRALES_2026...docx

Tamaño del archivo

8.4 MB

102 páginas

19.096 palabras

111.757 caracteres




18% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)

Fuentes principales

- 18%  Fuentes de Internet
- 8%  Publicaciones
- 6%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

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

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

Fuentes principales

- 18% Fuentes de Internet
- 8% Publicaciones
- 6% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1	Internet	
	hdl.handle.net	2%
2	Internet	
	repositorio.unc.edu.pe	1%
3	Internet	
	repositorio.unh.edu.pe	<1%
4	Internet	
	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
5	Internet	
	repositorio.ulvr.edu.ec	<1%
6	Internet	
	repositorio.unach.edu.pe	<1%
7	Internet	
	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
8	Internet	
	repositorio.unah.edu.pe	<1%
9	Internet	
	repositorio.unjfsc.edu.pe	<1%
10	Internet	
	repositorio.udh.edu.pe	<1%
11	Internet	
	repositorio.lamolina.edu.pe	<1%

12	Internet	dspace.unitru.edu.pe	<1%
13	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
14	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
15	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
16	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
17	Internet	repositorio.upt.edu.pe	<1%
18	Internet	alicia.concytec.gob.pe	<1%
19	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
20	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
21	Internet	portaluni.unach.edu.pe	<1%
22	Internet	www.coursehero.com	<1%
23	Internet	1library.co	<1%
24	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
25	Trabajos del estudiante	unasam	<1%

26	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%
27	Internet	www.repositorio.usac.edu.gt	<1%
28	Internet	www.slideshare.net	<1%
29	Internet	repositorio.ug.edu.ec	<1%
30	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
31	Trabajos del estudiante	Universidad Europea de Madrid	<1%
32	Internet	repositorioacademico.upc.edu.pe	<1%
33	Internet	vitela.javerianacali.edu.co	<1%
34	Internet	docplayer.es	<1%
35	Internet	passagetonirvana.com	<1%
36	Internet	ribuni.uni.edu.ni	<1%
37	Publicación	Valencia Padilla, Mery Julith. "Desafío en el Rol Rector del Ministerio de Vivienda, ...	<1%
38	Internet	digibug.ugr.es	<1%
39	Internet	repositorio.unicesar.edu.co	<1%

40	Internet	repositorio.unprg.edu.pe	<1%
41	Internet	repositorio.utea.edu.pe	<1%
42	Internet	dspace.ucuenca.edu.ec	<1%
43	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
44	Internet	Marín Pérez, María, Universitat Autònoma de Barcelona. Departament d'Enginyer...	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad De Cuenca	<1%
46	Internet	repositorio.oefa.gob.pe	<1%
47	Internet	redi.unjbg.edu.pe	<1%
48	Publicación	Sosa Rodriguez, Fabiola Sagrario. "La eficacia en la prestacion de los servicios de ...	<1%
49	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
50	Internet	ambiental.unam.mx	<1%
51	Internet	copladem.edomex.gob.mx	<1%
52	Internet	livrosdeamor.com.br	<1%
53	Internet	riaa.uaem.mx	<1%

54	Internet	tesis.unap.edu.pe	<1%
55	Internet	tesis.usat.edu.pe	<1%
56	Publicación	Alfredo Cuecuecha Mendoza. "The effect of remittances on financial literacy in M...	<1%
57	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Autonoma de Chota	<1%
58	Trabajos del estudiante	Universidad de Guayaquil	<1%
59	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%
60	Internet	scholarsjournal.net	<1%
61	Internet	www.academia.edu	<1%
62	Internet	www.colibri.udelar.edu.uy	<1%
63	Trabajos del estudiante	consultoriadeserviciosformativos	<1%
64	Internet	riunet.upv.es	<1%
65	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
66	Trabajos del estudiante	ufidelitas	<1%
67	Publicación	"Reacondicionamiento de edificios de oficinas mediante la integración de la agric...	<1%

68	Trabajos del estudiante	Escuela Superior Politécnica del Litoral	<1%
69	Publicación	Flor Angela Meza Pinedo. "EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE UN VERMIFILTRO C...	<1%
70	Trabajos del estudiante	Universidad Continental	<1%
71	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo	<1%
72	Trabajos del estudiante	Universidad Privada del Norte	<1%
73	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica de los Andes	<1%
74	Trabajos del estudiante	Wageningen University	<1%
75	Internet	repositorio.uaaan.mx	<1%
76	Internet	repositorio.uisek.edu.ec	<1%
77	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
78	Publicación	Lilliam Enriqueta Hidalgo Benites. "Investigación formativa en planes curriculare...	<1%
79	Internet	aprenderly.com	<1%
80	Internet	biblioteca.espam.edu.ec	<1%
81	Internet	dspace.ufasta.edu.ar	<1%

82	Internet	www.conftool.pro	<1%
83	Publicación	Adrianzen Flores, Miryam Angelica Farfan Sanchez , Daniana Catherine Gives Cal...	<1%
84	Publicación	Barreda Del Arroyo, Victor Atilio. "Evaluación del proceso biofotofenton en las ag...	<1%
85	Publicación	GHANDY CORPORACION DE INGENIEROS SOCIEDAD COMERCIAL DE RESPONSABILIDAD...	<1%
86	Publicación	Humberto Siguayro, José Pasapera, Carmen Villanueva, Yanet Coila, Cesar Gamar...	<1%
87	Trabajos del estudiante	Universidad Técnica De Cotopaxi	<1%
88	Internet	centrosuragraria.com	<1%
89	Internet	issuu.com	<1%
90	Internet	pabloraulfernandez.blogspot.com	<1%
91	Internet	prezi.com	<1%
92	Internet	revistas.upel.edu.ve	<1%
93	Internet	revistas.upt.edu.pe	<1%
94	Internet	www.ecorfan.org	<1%
95	Internet	www.gadcolta.gob.ec	<1%

96	Internet	www.researchgate.net	<1%
97	Internet	www.terra.com.mx	<1%
98	Publicación	"Modulation of attention by motor interaction: A study in a visual discrimination ...	<1%
99	Publicación	Yesmi Patricia Ahumada-Santos, Maria Elena Báez-Flores, Sylvia Paz Díaz-Camach...	<1%
100	Internet	anfei.mx	<1%
101	Internet	bibliotools.utc.edu.ec	<1%
102	Internet	bioren.cl	<1%
103	Internet	dspace.unach.edu.ec	<1%
104	Internet	repositorio.unae.edu.ec	<1%
105	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
106	Internet	repository.udistrital.edu.co	<1%
107	Internet	ri-ng.uaq.mx	<1%
108	Internet	tesis.unsm.edu.pe	<1%
109	Internet	www.colson.edu.mx	<1%

110	Internet	www.fundacad.org.co	<1%
111	Internet	www.mdpi.com	<1%
112	Internet	www.proz.com	<1%
113	Internet	www.sayulitalife.com	<1%
114	Publicación	Jara Huaranca, Rolando Rody. "Aplicación del método de electro-Fenton para el t...	<1%
115	Publicación	Jesús Godifredo Calvo. "Estudio de la eliminación/recuperación de nitrógeno en el...	<1%
116	Trabajos del estudiante	MOODLE IZTAPALAPA	<1%
117	Publicación	Oscar Cabezuelo Gandía. "Diseño y síntesis de nuevos fotocatalizadores para el tr...	<1%
118	Publicación	Rojas, Pamela Ameghino. "Ecotecnologías de Aprovechamiento hídrico Para Vivie...	<1%
119	Internet	doczz.es	<1%
120	Internet	es.scribd.com	<1%
121	Internet	idus.us.es	<1%
122	Internet	repositorio.continental.edu.pe	<1%
123	Internet	repositorio.uap.edu.pe	<1%

124	Internet	repositorio.unemi.edu.ec	<1%
125	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
126	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
127	Internet	revistas.uach.cl	<1%
128	Internet	worldwidescience.org	<1%
129	Internet	www.ciudad.org.pe	<1%
130	Internet	www.cm.colpos.mx	<1%
131	Internet	www.dspace.uce.edu.ec	<1%
132	Internet	www.e-participa.org	<1%
133	Internet	www.lapaz.bo	<1%
134	Internet	www.revistas.sqperu.org.pe	<1%
135	Internet	www.scribd.com	<1%
136	Internet	www.sk-zayton.com	<1%



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

REG. N° 017-2026-FCA

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N.º 556-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
M. Sc. Olegario Heiner Cabrera Cabrera	Presidente
M. Sc. Roxana Mabel Sempértegui Rafael	Secretario
M. Sc. Miguel Ángel Mendoza Solís	Vocal

De la tesis titulada:

Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota

Que ha sustentado el(los) Bachiller (es):

Nombres y apellidos	DNI
Milagros De Los Angeles Santacruz Corrales	71572807

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forestal y Ambiental

Acuerdan por:

Unanimidad Mayoría

Aprobar Desaprobar

Otorgando la calificación de:

<input type="checkbox"/>	Aprobado
<input type="checkbox"/>	Excelente
<input checked="" type="checkbox"/>	Bueno
<input type="checkbox"/>	Regular

Desaprobado

Colpa Matara 28 de enero del 2026

M. Sc. Olegario Heiner Cabrera Cabrera
Presidente

M. Sc. Roxana Mabel Sempértegui Rafael
Secretario

M. Sc. Miguel Ángel Mendoza Solís
Vocal

Mg. Sc. Ever Núñez Bustamante
Asesor

Dedicatoria

Con profundo amor y gratitud, a mi madre Rosa, por su entrega incondicional, fortaleza y constante motivación, que han sido mi mayor impulso para seguir adelante.

A mi abuela Ylda, por sus sabios consejos, su ejemplo de perseverancia y el cariño que siempre me ha brindado, valores que han guiado mi camino académico y personal.

Asimismo, extendiendo esta dedicatoria hacia mi familia, por su permanente apoyo, comprensión y confianza durante todo este proceso.

Agradecimientos

Agradezco a Dios por otorgarme fortaleza y conocimiento para sobresalir esta etapa. Asimismo, expreso mi profundo agradecimiento a mi madre Rosa, a mi abuela Ylda y a toda mi familia, por su apoyo absoluto y constante motivación.

Expreso mi sincero agradecimiento al Mg. Sc. Ever Nuñez Bustamante mi asesor de tesis, por su paciencia, compromiso y orientación constante, así como por la amistad depositada en mí, los cuales fueron fundamentales para hacer posible la culminación de este compromiso.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	x
Abstract.....	xi
CAPÍTULO I. Introducción.....	12
1.1. Planteamiento del problema.....	12
1.2. Formulación del problema.....	14
1.3. Justificación.....	14
1.4. Objetivos.....	15
1.4.1. <i>Objetivo general</i>	15
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i>	15
CAPÍTULO II. Marco Teórico.....	16
2.1. Antecedentes.....	16
2.2. Bases teórico - científicas.....	22
2.3. Marco conceptual.....	45
2.4. Hipótesis.....	47
2.5. Operacionalización de variables.....	47
CAPÍTULO III. Marco metodológico.....	49
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	49
3.2. Diseño de investigación.....	49
3.3. Método de investigación.....	49
3.4. Población, muestra y muestreo.....	53
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	55
3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	56
3.7. Cálculo de la eficiencia de remoción de los biodigestores.....	56
3.8. Aspectos éticos.....	57

CAPÍTULO IV. Resultados y Discusión	58
4.1. Resultados	58
CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones	80
5.1. Conclusiones	80
5.2. Recomendaciones	81
CAPÍTULO VI. Referencias.....	83
CAPÍTULO VII. Anexos	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Rangos de temperatura para el proceso anaerobio.....	27
Tabla 2 Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR	44
Tabla 3 Operacionalización de variables	48
Tabla 4 Puntos de muestreo de las aguas residuales domésticas	50
Tabla 5 Condiciones climáticas de los puntos de muestreo.....	50
Tabla 6 Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo	55
Tabla 7 Temperatura del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes.....	58
Tabla 8 ANOVA para la variable temperatura en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.	59
Tabla 9 pH del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes	60
Tabla 10 ANOVA para la variable potencial de hidrogeno (pH) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.	61
Tabla 11 DQO del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes.....	62
Tabla 12 ANOVA para la variable demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.	63
Tabla 13 DBO ₅ del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes.....	64
Tabla 14 ANOVA para la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.	65
Tabla 15 CTt del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes	67
Tabla 16 ANOVA para la variable coliformes termotolerantes (CTt) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento	67
Tabla 17 Resultados de los monitoreos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados.....	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Componentes del biodigestor autolimpiable	40
Figura 2 Mapa de ubicación de los puntos de muestreo	51
Figura 3 Medias de temperatura (C°) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento	59
Figura 4 Medias de potencial de hidrogeno (pH) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento	61
Figura 5 Medias de la demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento	63
Figura 6 Medias de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento	66
Figura 7 Medias de los coliformes termotolerantes (CTt) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento	68
Figura 8 Comportamiento de la temperatura durante el monitoreo del efluente en los biodigestores.	69
Figura 9 Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH) durante el monitoreo del efluente en los biodigestores.....	71
Figura 10 Comportamiento de la DQO después del tratamiento en los biodigestores.	73
Figura 11 Eficiencia de remoción de DQO después del tratamiento en biodigestores.....	74
Figura 12 Comportamiento de DBO ₅ después del tratamiento en los biodigestores.....	75
Figura 13 Eficiencia de remoción de DBO ₅ después del tratamiento en los biodigestores	76
Figura 14 Comportamiento de los CTt después del tratamiento en los biodigestores.....	77
Figura 15 Eficiencia de remoción de CTt después del tratamiento en los biodigestores	78
Figura 16 Toma de muestra en la localidad de Colpamayo.....	90
Figura 17 Toma de muestra en la localidad de Cochabamba	90
Figura 18 Limpieza de biodigestor para la toma de muestras en la localidad El Paraíso.....	91
Figura 19 Toma de muestra para laboratorio Colpamayo	91

Figura 20 Coordenadas UTM de los biodigestores	93
Figura 21 DS N.° 003-2010-MINAM	94
Figura 22 DS N.° 003-2010-MINAM	95
Figura 23 Resultados laboratorio regional del agua primer muestreo DBO ₅ y DQO.....	96
Figura 24 Resultados laboratorio regional del agua primer muestreo CTt.....	97
Figura 25 Resultados laboratorio regional del agua segundo muestreo DBO ₅ y DQO.....	98
Figura 26 Resultados laboratorio regional del agua segundo muestreo CTt	99
Figura 27 Resultados laboratorio regional del agua tercer muestreo DBO ₅ y DQO	100
Figura 28 Resultados laboratorio regional del agua tercer muestreo CTt	101
Figura 29 Resultados laboratorio regional del agua cuarto muestreo DBO ₅ y DQO	102
Figura 30 Resultados laboratorio regional del agua cuarto muestreo CTt	103

Resumen

El tratamiento de aguas residuales domésticas constituye un componente fundamental para la protección ambiental, la salud pública y la protección de los recursos hídricos. En este contexto, el presente estudio analizó el efecto de la altitud sobre el desempeño de biodigestores instalados en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chot, la investigación se desarrolló en tres localidades ubicadas a diferentes niveles altitudinales: El Paraíso (2963 m s. n. m.), Colpamayo (2345 m s. n. m.) y Cochabamba (1704 m s. n. m.). En cada zona se efectuaron cuatro campañas de monitoreo durante los meses de marzo, junio, octubre y noviembre del año 2024. Las variables evaluadas tanto en el ingreso como en la salida del sistema fueron potencial de hidrógeno (pH), temperatura, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolerantes. Los valores promedio de temperatura registrados fueron 13,78 °C, 17,43 °C y 20,88 °C, mientras que el pH medio alcanzó 6,98; 7,45 y 7,00 para El Paraíso, Colpamayo y Cochabamba, respectivamente. En cuanto a la eficiencia de remoción, los mejores resultados se lograron en Colpamayo, con reducciones de 82,0 % en DBO₅, 81,3 % en DQO y 98,9 % en coliformes termotolerantes. Por el contrario, los menores porcentajes se observaron en Cochabamba, con valores de 42,1 %, 48,0 % y 72,0 % respectivamente. Al disentir los resultados con los Límites Máximos Permisibles vigentes, se evidenció que las concentraciones de DBO₅ y DQO no alcanzaron plenamente los valores exigidos por la normativa, los coliformes termotolerantes superaron los estándares establecidos en las tres localidades evaluadas, registrándose el mayor valor en Cochabamba (64×10^6 NMP/100 mL) y el menor en Colpamayo (27×10^4 NMP/100 mL). En consecuencia, se determinó que la altitud influye de manera significativa en el rendimiento de los biodigestores, afectando la capacidad de remoción de contaminantes.

Palabras claves: Eficiencia, Altitud, Biodigestor, Parámetros, Aguas residuales

Abstract

The treatment of domestic wastewater is vitally important for protecting the environment, public health, and water resources. In this regard, this research evaluated the influence of altitude on the treatment efficiency of biodigesters in basic sanitation units with hydraulic flushing in the province of Chota. Three locations were considered: El Paraíso (2963 m.a.s.l.), Colpamayo (2345 m.a.s.l.), and Cochabamba (1704 m.a.s.l.). Four monitoring sessions were carried out per location in March, June, October, and November 2024. The parameters evaluated in the influent and effluent were pH, temperature (T°), biochemical oxygen demand (BOD_5), chemical oxygen demand (COD), and thermotolerant coliforms (CTt). According to the average values evaluated, the average T° was 13.78 °C, 17.43 °C, and 20.88 °C, and the average pH was 6.98, 7.45, and 7.00 for the locations of El Paraíso, Colpamayo, and Cochabamba, respectively. The maximum removal efficiencies for BOD_5 , COD, and CTt were found in the town of Colpamayo, at 82.0%, 81.3%, and 98.9%, respectively, and the minimum removal efficiencies were found in the town of Cochabamba, at 42.1%, 48.0%, and 72.0%, respectively. In relation to the Maximum Permissible Limits (MPL), the parameters Biochemical Oxygen Demand (BOD_5) and Chemical Oxygen Demand (COD) did not fully comply with the established values. Likewise, the concentrations of thermotolerant coliforms exceeded the permissible limits in all the locations evaluated, with the maximum value recorded in Cochabamba (64×10^6 NMP/100 mL) and the minimum value in Colpamayo (27×10^4 NMP/100 mL). It was concluded that altitude significantly influences the efficiency of contaminant removal in biodigesters in basic sanitation units with hydraulic drag. However, the treatment system must be improved to comply with the corresponding regulations.

Keywords: Efficiency, Altitude, Biodigester, Parameters, Wastewater

CAPÍTULO I. Introducción

1.1. Planteamiento del problema

El recurso hídrico es uno de los bienes más manejados para el desarrollo en las actividades del hombre, tanto industrial como social, necesitándose 3000 L de agua diarios para la generación de los productos esenciales para su alimentación ya sea en actividades agrícolas, pecuarias y en la industria de procesamiento de alimentos (FAO, 2008). Las aguas residuales no tratadas se están utilizando cada vez más para el riego en la agricultura urbana y periurbana e incluso en las áreas rurales desencadenado una gran escasez hídrica amenazando el abastecimiento para la salud pública, la aptitud del entorno ambiental y la seguridad alimentaria (Díaz et al., 2012). Debido a que estas aguas han experimentado alteraciones en sus parámetros fisicoquímicos y biológicos por la acción del hombre que, al introducir contaminantes, formas de energía o al inducir condiciones que alteran su calidad (Díaz et al., 2012 y OEFA, 2014).

La disposición inadecuada de aguas residuales es actualmente un tema que causa contaminación ambiental; el 70% de los efluentes urbanos e industriales que se desechan en el Perú no son tratados, simbolizando un peligro para la salud de la población (Larios et al., 2015).

Las aguas residuales que son resultado de usos domésticos o trabajos industriales que no son tratadas, no deben ser evacuadas a fuentes naturales ni reutilizadas en la agricultura; sin embargo, en el Perú la mayor parte no recibe tratamiento y se vierten directamente en los cauces naturales, al mar y en algunos casos se utiliza con fines agrícolas (Fernández, 2011).

En el Perú se estima que aproximadamente 13 200 ha de áreas verdes y tierras agrícolas son regadas con un caudal de 7,8 m³/s de aguas residuales tratadas, de las cuales 12 567 ha (95 %) se ubican en la región costa, mientras que 311 ha corresponden a la sierra y 314 ha a la selva (Moscoso, 2016). Esta distribución evidencia una marcada concentración del reúso de aguas residuales en las zonas costeras, donde la escasez hídrica y la alta demanda agrícola esto

hace indispensable la utilización de fuentes hídricas complementarias. En este escenario, la reutilización de efluentes previamente depurados constituye una alternativa estratégica para disminuir la demanda sobre las reservas de agua superficial y subterránea, así como para fomentar un manejo más racional y sostenible del recurso hídrico.

Por ello, resulta fundamental fortalecer los métodos de procedimiento, monitoreo y control de calidad del agua reutilizada, asegurando que los parámetros microbiológicos y fisicoquímicos se mantengan dentro de límites permisibles y que el uso agrícola se realice bajo criterios de seguridad y sostenibilidad ambiental.

Gran parte de las localidades rurales del Perú no cuentan con sistemas adecuados para la gestión de aguas residuales domésticas, siendo eliminadas en el suelo y fuentes naturales sin ningún tipo de pretratamiento (Domínguez y Rojas, 2019), contaminando el ambiente e incidiendo negativamente en la salud humana, la ejecución de los métodos de procedimiento de aguas residuales según las condiciones climáticas son claves, como lo establece el Reglamento Nacional De Edificaciones el mismo que recomienda que a temperaturas menores de 15°C es poco recomendable implementar unidades básicas de saneamiento (UBS) (MVCS, 2006).

La operatividad y eficacia del manejo de aguas residuales en biodigestores penderá de su diseño, mantenimiento, condiciones climáticas, por tanto, es preciso realizar un control del efluentes y afluente mediante monitores constante de los valores de control que permitan valorar la calidad del agua con los límites máximos permisibles determinados en el D. S N.º 003-2010-MINAM, por ello la investigación valoró la influencia de la altitud en el comportamiento del pH, temperatura; y eficiencia de remoción de la DBO₅, DQO y CTt en aguas residuales alternadas en biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico agua en la provincia de Chota.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es la influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota?

1.3. Justificación

En la actualidad el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento tiene como prioridad implementar proyectos de saneamiento con el fin de garantizar un ambiente saludable y una mejor disposición de vida para la población en general, por ello se vienen instalando a nivel nacional UBS con arrastre hidráulico, los mismos que funcionan bajo condiciones climáticas diferentes, cuya temperatura presente a diferentes altitudes puede inferir en el comportamiento de la actividad bacteriana y por ende en la separación de edificadoras en el agua tratada.

Chota se localiza en la ladera oriental de los Andes, con una elevación promedio cercana a los 2 388 msnm, lo que le confiere un clima templado caracterizado por temperaturas medias anuales alrededor de los 17 °C. Estas condiciones altitudinales y térmicas influyen directamente en los procesos ambientales y biológicos que se despliegan en la zona, incluyendo los mecanismos de tratamiento de aguas residuales. A lo largo de esta gradiente altitudinal se han instalado UBS, cuyos sistemas de tratamiento funcionan bajo condiciones anaerobias, la variación de temperatura asociada a las diferencias de altitud puede afectar la actividad microbiana dentro de los biodigestores y, por ende, repercutir en la validez de la pérdida de valor biológico de edificadores en las aguas residuales tratadas.

Esta exploración es necesaria como actualmente no se cuenta con suficiente evidencia técnica local que permita conocer con claridad cómo la variación de altitud y temperatura influye en el desempeño real de los biodigestores instalados en las UBS, lo cual puede generar

incertidumbre sobre su eficiencia, su sostenibilidad y el cumplimiento de la normativa ambiental, especialmente en zonas rurales con condiciones climáticas diversas.

Por otro lado, esta investigación permite entender la operación de los biodigestores y su potencialidad en el tratamiento de aguas residuales en zonas rurales que no refieren con el servicio de alcantarillado. El mismo que servirá para la determinación de acciones de las autoridades responsables respecto a la ejecución de este tipo de procesos de manejo.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de biodigestores en unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota.

1.4.2. Objetivos específicos

- Medir los parámetros pH, temperatura y las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolerantes (CTt) en el afluente y efluente de los biodigestores a 3 niveles de altitud.
- Determinar la eficiencia de remoción, de los biodigestores en cuanto a los parámetros DBO₅, DQO y CTt.
- Comparar las concentraciones de la DBO₅, DQO y CTt del efluente de los biodigestores con el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales.

CAPÍTULO II. Marco Teórico

2.1. Antecedentes

2.1.1. Internacionales

Ligy et al. (2020) en su estudio titulado Valoración del desempeño de un biodigestor anaeróbico con deflectores para el tratamiento de aguas negras, evaluaron el funcionamiento de biodigestores anaeróbicos con deflectores instalados en distintas localidades del sur de India. El análisis incluyó parámetros de control que influyen directamente en la calidad del recurso hídrico tales como DQO, DBO₅, Sólidos Suspendedos Totales (SST) y coliformes fecales como indicadores de contaminación microbiológica. Los resultados evidenciaron que la eficiencia máxima de exclusión de DQO osciló entre 70 y 75 %, mientras que la DBO₅ presentó reducciones entre 68 y 80 %, y los SST entre 55 y 75 %. Asimismo, los autores señalaron que la eficiencia del sistema variaba en función del número de usuarios conectados y de las condiciones específicas de instalación, el estudio destacó que el diseño con deflectores internos favoreció una mejor distribución hidráulica del flujo, incrementando el tiempo de retención y optimizando los procesos de digestión anaerobia. Sin embargo, se identificó que factores como la carga orgánica afluente, la temperatura ambiental y el mantenimiento periódico influyeron significativamente en el rendimiento del biodigestor. Se concluyeron que estos sistemas representan una elección viable para el tratamiento disgregado de aguas residuales domésticas en zonas rurales o periurbanas, siempre que se garantice un adecuado dimensionamiento hidráulico y una operación controlada que evite sobrecargas orgánicas.

Cubillos et al. (2018) evaluaron la eficiencia de un digestor tubular anaerobio equipado con un sistema de separación de fases, diseñado para la separación simultánea de compuestos orgánicos y amoníaco presentes en aguas residuales provenientes de la actividad porcina, mediante un estudio piloto de caso. Entre las variables fisicoquímicas consideradas se

incluyeron pH, la temperatura del efluente, la conductividad eléctrica, la DBO₅, DQO, así como los sólidos totales en suspensión, la división volátil de los sólidos suspendidos y los sólidos sedimentables, se contemplaron indicadores complementarios relacionados con la calidad del agua residual, tales como la reunión de materia orgánica biodegradable y la caracterización de las fracciones sólidas concurrentes en el efluente, con el propósito de evaluar de manera integral el comportamiento del sistema de tratamiento. Con base en estos hallazgos, este tipo de tecnología representa una alternativa viable para pequeños productores, al contribuir significativamente a mitigar el impacto ambiental generado por el manejo inadecuado de estiércol porcino, el estudio resalta que la implementación de digestores anaerobios con separación de fases no solo mejora la calidad del efluente, sino que también favorece el aprovechamiento de subproductos como el biogás.

Do Amaral et al. (2014) en su estudio Tratamiento de efluentes porcinos mediante digestión anaeróbica a diferentes tasas de carga. tuvieron como objetivo determinar la capacidad de un digester anaeróbico con flujo ascendente cargado con efluente porcino y operado a temperaturas mesófilas, en este estudio se evaluaron los siguientes parámetros DQO, sólidos volátiles y capacidad de producción de biogás en tres etapas y obtuvieron como resultados que la remoción de DQO en la etapa 1 fue de 2.69 g/L, en la etapa 2 fue de 3.16 g/L y en la etapa 3 fue de 5,89 g/L y la remoción de materia orgánica fue de 75.85%, 66.36% y 32,31% en cada una de las etapas respectivamente y llegaron a la conclusión que el aumento de la carga de materia orgánica establecido en el afluente en el digester mostró una alta capacidad máxima de generación de biogás por solido volátil agregado.

Lansing et al. (2008) en su estudio Tratamiento de residuos y calidad del biogás en digestores agrícolas de procesos pequeños tuvieron como objetivos determinar las tipologías significativas de las aguas residuales en proceso de tratamiento y evaluar la variabilidad de los parámetros de calidad del agua y la concentración de metano entre biodigestores, en los

resultados observaron que los biodigestores estudiados redujeron un 79% a 91% la materia orgánica y los sólidos y el DQO disminuyó de 2970 mg/L a 472 mg/L, es decir, el 84.1% y el DBO5 disminuyó de 467 mg/L a 96.2 mg/L es decir un 79.4% y se concluyó que el contenido de materia orgánica y sólidos fueron reducidos consistentemente y la producción de metano en los biodigestores trae consigo beneficios ambientales y sociales indirectos como reducción de la deforestación, menores horas dedicadas a la recolección de leña, eliminar la necesidad de comprar propano para cocinar, reducción de emisiones de GEI y otros más.

2.1.2. Nacionales

Cayllahua, (2024), analizó el desempeño de un biodigestor autolimpiable instalado en una Unidad Básica de Saneamiento, con el objetivo de determinar su eficacia en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Para ello, evaluó parámetros físico-químicos y microbiológicos como DBO₅, DQO, sólidos totales, aceites y grasas, coliformes termotolerantes, temperatura y pH, comparando los resultados obtenidos con los LMP establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM. Los resultados evidenciaron una reducción moderada de la carga orgánica, registrándose aproximadamente 55 % de remoción en DBO₅ y cerca de 66 % en DQO, lo que indica un nivel de tratamiento parcial del afluente. Sin embargo, aunque algunos parámetros como el pH y la temperatura se conservaron dentro de los valores permitidos por la normativa, otros indicadores no lograron alcanzar los estándares exigidos para su vertimiento. En función de estos hallazgos, si bien el biodigestor presentó capacidad de reducción de contaminantes, su rendimiento no fue suficiente para responder el desempeño integral de la normativa ambiental vigente. Por ello, se sugiere la necesidad de optimizar el sistema o incorporar etapas complementarias de tratamiento que consientan mejorar la calidad final del efluente.

Domínguez y Rojas (2019) realizaron una evaluación técnica del funcionamiento de biodigestores autolimpiables implementados en sistemas de saneamiento con arrastre

hidráulico, con el propósito de determinar su rendimiento en la purificación de aguas residuales de origen doméstico, el estudio se orientó a examinar el comportamiento operativo de estas unidades en condiciones reales de uso. Para la valoración del desempeño se analizaron variables de naturaleza fisicoquímica y microbiológica, entre ellas DBO₅, DQO, concentración de sólidos en suspensión y presencia de bacterias indicadoras de contaminación fecal. Los resultados evidenciaron niveles importantes de remoción, destacando aproximadamente 73 % en DQO y 71 % en DBO₅, lo que demuestra una rebaja significativa de la materia orgánica presente en el afluente. Estos valores reflejan un adecuado desempeño del sistema en términos de depuración primaria, especialmente en la reducción de compuestos biodegradables, al comparar las concentraciones finales del efluente con los LMP establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, se determinó que los parámetros evaluados se encontraban dentro de lo permitido por la normativa ambiental vigente. En consecuencia, los biodigestores autolimpiables constituyen una alternativa técnicamente viable para el tratamiento descentralizado de aguas residuales, particularmente en zonas rurales donde las condiciones climáticas y la limitada infraestructura sanitaria dificultan la implementación de sistemas convencionales.

Mejía y Pérez, (2015), analizaron el desempeño de un biodigestor prefabricado destinado al tratamiento de efluentes domésticos domésticas en la subestación eléctrica de Cotaruse, ubicada en la región Apurímac. En su evaluación consideraron indicadores fisicoquímicos y microbiológicos tales como pH, DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales, coliformes termotolerantes, además de temperatura y concentración de aceites y grasas, con el fin de determinar el nivel de depuración alcanzado por el sistema. Los resultados obtenidos fueron contrastados con los LMP estandarizados en la normativa del D.S N.º 003-2010-MINAM. Del análisis comparativo se evidenció que ciertos parámetros críticos, particularmente la DBO, la DQO y los coliformes termotolerantes, excedían los valores

permitidos por la normativa ambiental vigente, el efluente generado no cumplía con las condiciones necesarias para su descarga directa en cuerpos receptores naturales, el estudio puso en evidencia que, aunque el biodigestor presentó cierta capacidad de reducción de contaminantes, el tratamiento resultó insuficiente para garantizar la calidad ambiental requerida, lo que sugiere la necesidad de implementar procesos complementarios o mejorar las condiciones operativas del sistema para optimizar su rendimiento.

Ajahuana et al. (2008) realizaron una valoración del desempeño de un sistema anaerobio de tratamiento primario implementado mediante un biodigestor para el manejo de aguas residuales domésticas. El objetivo principal fue establecer el nivel de eficiencia del sistema en la depuración del efluente y examinar su viabilidad para el riego de cultivos de tallo alto y bajo. Para el análisis se incluyeron variables fisicoquímicas y microbiológicas, entre ellas pH, sólidos totales, turbidez, conductividad eléctrica, coliformes totales, coliformes fecales, DBO₅ y DQO. Los resultados mostraron una reducción importante de la carga contaminante, con valores cercanos al 65 % de remoción en DBO₅ y aproximadamente 50 % en DQO, se observó una ligera variación en el pH y una alta eficiencia en la eliminación de coliformes totales, cercana al 99 %, lo cual refleja una mejora significativa en las condiciones microbiológicas del efluente. A partir de estos resultados, el agua tratada mediante el biodigestor cumplía con condiciones favorables para su reaprovechamiento en actividades agrícolas, destacaron que la implementación de esta tecnología representa una opción factible en zonas rurales con limitada infraestructura sanitaria convencional, ya que contribuye tanto a la gestión adecuada de las aguas residuales como al uso eficiente del recurso hídrico, promoviendo prácticas agrícolas bajo criterios de sostenibilidad y control sanitario.

2.1.3. Regionales

Goicochea, (2022), desarrolló una investigación orientada a analizar cómo la altitud influye en la eficacia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodigestores

autolimpiables, considerando como principales parámetros de evaluación la DBO, los coliformes termotolerantes (CTT), la temperatura y el pH. Los resultados evidenciaron que el biodigestor ubicado a 2645 m s. n. m. presentó una remoción de 24,52 % en DBO y 97,62 % en CTT, mientras que el instalado a 3135 m s. n. m. alcanzó una remoción de 18,77 % en DBO y 35 % en CTT. Estos hallazgos exponen una disminución en la eficiencia de remoción a mayor altitud, lo cual podría estar asociado a las bajas temperaturas ambientales que afectan la actividad metabólica de los microorganismos responsables de la degradación biológica, se observó que las variaciones térmicas influyen directamente en la velocidad de los procesos anaerobios dentro del biodigestor, se concluye que la altitud es un factor terminante en el beneficio del sistema, por lo que se deben considerar ajustes técnicos o periodos de retención mayores en zonas altoandinas para optimizar el tratamiento.

2.1.4. Locales

Mego, (2023), desarrolló la investigación sobre la Eficiencia de separación de parámetros químicos y la relación de la eficiencia en la generación de reducción de coliformes fecales en biodigestores instalados en Cabracancha”, se analizó el desempeño operativo de los biodigestores ubicados en el sector uno de dicha localidad. La exploración tuvo como objetivo principal determinar la capacidad de estos sistemas para disminuir la carga contaminante presente en aguas residuales domésticas, específicamente en términos de DBO₅, DQO y SST. Además de los parámetros principales, se evaluaron variables complementarias como temperatura y potencial de hidrógeno (pH), con el propósito de caracterizar las condiciones fisicoquímicas bajo las cuales operaban los biodigestores. Los resultados evidenciaron una temperatura media de 16,74 °C y un pH promedio de 8,23, lo cual indica un entorno ligeramente alcalino, favorable para determinados procesos biológicos anaerobios. Respecto a la eficiencia del tratamiento, se reportaron porcentajes de remoción de 77,84 % para DBO₅, 79,76 % para DQO y 89,32 % para SST, lo que demuestra una reducción considerable de la

carga orgánica y de los sólidos suspendidos. No obstante, pese a estos niveles de disminución, las concentraciones finales del efluente no cumplieron con los LMP establecidos en el D.S. N.º 003-2010-MINAM, restringiendo su vertimiento directo al ambiente. En consecuencia, aunque el biodigestor presenta un rendimiento aceptable como tratamiento primario, se requiere la implementación de procesos adicionales que permitan garantizar el cumplimiento normativo.

2.2. Bases teórico - científicas

2.2.1. Saneamiento básico

Se entiende toda acción destinada al mejoramiento y mantenimiento de las condiciones sanitarias en el ámbito domiciliario, en fuentes y sistemas que suministren agua para uso y consumo humano o industrial (desde su captación hasta la toma del usuario), desinfección del recurso hídrico con tal fin; disposición sanitaria de excretas humanas sin riesgos ni efectos nocivos sobre la salud humana ni impacto ambiental negativo; manejo saludablemente adecuado de los desechos sólidos (escombros) normales (CONAGUA, 2011).

El saneamiento básico puede definirse como la integración de medidas, infraestructuras y servicios destinados a asegurar niveles adecuados de higiene en la población, a través del acceso seguro al agua potable, la cosecha y tratamiento de aguas residuales, la administración responsable de desechos sólidos y el control de agentes transmisores de enfermedades. Su propósito fundamental es disminuir la incidencia de patologías asociadas al agua y al ambiente, limitar la degradación del entorno y elevar las condiciones de bienestar de la comunidad, especialmente en sectores rurales y áreas urbano-marginales donde las limitaciones sanitarias son más evidentes.

Además, el fortalecimiento del saneamiento básico constituye un componente esencial para el desarrollo sostenible, ya que contribuye a la protección de los recursos hídricos, la disminución de la contaminación y la mejora de la calidad de vida, la adecuada planificación,

implementación y mantenimiento de estos sistemas permiten consolidar entornos saludables, reducir brechas sociales y responder el acceso equitativo a servicios básicos fundamentales para la salud pública.

Se define como saneamiento al acceso y uso de servicios e bases que sirven para eliminación de orina y excreciones humanas, además, el saneamiento es necesario para la salud ya que previene infecciones y ayuda al mantenimiento del bienestar de la sociedad (Organización Mundial de la Salud [OMS], 2019).

2.2.2. Aguas residuales

Constan de dos componentes un componente líquido y otro sólido que es llamado lodo (Reynolds, 2002). Son aguas que presentan material en suspensión y componentes disueltos; pueden ser de origen orgánico e inorgánico, de sólidos suspendidos y coloidales, de carbono orgánico, de nitrógeno amoniacal, nitrógeno orgánico, nitritos y nitratos, bacterias, virus, además contienen materia orgánica e inorgánica que se mide como DBO5 (demanda bioquímica) y DQO (demanda química) (Silva et al., 2008).

Las aguas residuales se precisan como aquellas corrientes líquidas que han sido alteradas en su calidad original debido a actividades domésticas, industriales, comerciales o agrícolas, incorporando contaminantes físicos, químicos y biológicos que modifican sus características naturales, estas aguas pueden contener altos valores de materia orgánica biodegradable, compuestos inorgánicos, nutrientes como nitrógeno y fósforo, microorganismos patógenos y sustancias potencialmente tóxicas, cuya presencia genera riesgos sanitarios y ambientales si no reciben un tratamiento conveniente antes de su disposición final.

Desde lo ambiental, las aguas residuales simbolizan una de las principales fuentes de contagio de cuerpos receptores como ríos, lagos y suelos, ya que incrementan la carga orgánica y provocan técnicas como la eutrofización y la descuento del oxígeno disuelto, su gestión

implica la diligencia de sistemas de tratamiento orientados a la remoción de contaminantes, reducción de la DBO₅ y DQO, eliminación de sólidos suspendidos y control microbiológico, con el objetivo de efectuar con los estándares de calidad ambiental y proteger la salud pública.

Además, desde una perspectiva técnica, la caracterización de las aguas residuales resulta esencial para el diseño y dimensionamiento adecuado de los sistemas de tratamiento, ya que parámetros como la DBO₅, la DQO, determinar el nivel de contaminación y la eficiencia requerida en cada etapa del proceso, la ausencia de tratamiento o la operación deficiente de las plantas de tratamiento puede generar descargas que alteren significativamente la calidad del cuerpo receptor, afectando los ecosistemas acuáticos, sometiendo la biodiversidad y comprometiendo los usos potenciales del agua, tales como riego, consumo humano indirecto o recreación.

2.2.3. Tipos de aguas residuales

- Aguas negras: éstas son procedentes de excretas de los seres humanos, de la higiene personal, de los residuos de cocina y de la limpieza del hogar, estas contienen altos niveles de microorganismos y materia orgánica, además de trazas de grasas, detergentes, jabones y lejía. Debido a su composición, las aguas negras representan un importante riesgo sanitario y ambiental cuando no reciben un tratamiento adecuado, ya que pueden generar contaminación de fuentes superficiales y subterráneas, proliferación de olores desagradables y propagación de enfermedades de origen hídrico, su manejo requiere la aplicación de sistemas de tratamiento orientados a la reducción de la carga orgánica y la eliminación de microorganismos patógenos antes de su disposición final o posible reutilización (Espigares y Pérez, 2003).
- Aguas grises: son aquellas originadas por actividades de higiene y limpieza doméstica (baños, lavandería, cocina), sin incluir residuos del inodoro ni excretas

humanas, y se consideran un tipo de aguas residuales con menor carga patógena que las aguas negras, No obstante, aunque presentan menor riesgo microbiológico, las aguas grises pueden contener concentraciones significativas de detergentes, grasas, aceites, restos de alimentos y productos químicos de uso doméstico, los cuales pueden alterar la calidad del suelo y de los cuerpos de agua si no se gestionan adecuadamente (OMS, 2016).

- Aguas blancas: estas provienen de la atmosfera y pueden ser lluvia, hielo o nieve, también de la limpieza o riego de espacios públicos, calles y parques (Espigares y Pérez, 2003).
- Aguas residuales industriales: estas proceden de plantas, fábricas o instalaciones industriales que envían aguas domésticas y contienen una variedad de detergentes, grasas, aceites (incluidos los lubricantes), ácidos y otros productos basados en vegetales, animales, químicos, gérmenes o minerales dependiendo del tipo de actividad específica realizada por la industria (Espigares y Pérez, 2003).
- Aguas residuales agrícolas: son provenientes de las acciones realizadas en la agricultura en las zonas rurales, en cuanto a su origen, utilizan el agua que provienen de la zona urbana y están destinadas el riego agrícola ya sea con tratamiento previo o sin él (Espigares y Pérez, 2003).

2.2.4. Características principales de las aguas residuales

Presentan una constitución compleja que varía según su origen y las actividades que les dieron lugar, lo que determina su comportamiento y el nivel de impacto que pueden generar en el ambiente, su estudio requiere un análisis integral que permita identificar sus propiedades más relevantes y comprender cómo influyen en los procesos de tratamiento:

2.2.4.1. Características físicas.

- **Sólidos totales:** Es todo elemento que sobra como residuo de evaporación, estos provienen del uso de las industrias, del uso doméstico, aguas subterráneas y de aguas de infiltración de pozos locales (César y Vásquez, 2003).

Según Adjovu et al. (2023), la determinación de sólidos totales se realiza mediante un método gravimétrico, es importante porque permite estimar la carga edificadora de las aguas residuales, evaluar la eficiencia de los procesos de tratamiento (como sedimentación, filtración y tratamiento biológico) y evaluar el grado del cumplimiento de estándares ambientales de vertimiento. Concentraciones elevadas de sólidos pueden afectar negativamente la operación de las plantas.

- **Temperatura:** Es un importante parámetro por su efecto en la vida del agua y en la aplicación del agua. Las temperaturas elevadas anormalmente pueden causar un indeseable crecimiento de hongos y plantas acuáticas (Osorio et al., 2020).

Según Ahsan et al. (2005), se determina in situ durante la toma de muestra, se utiliza un termómetro digital o sonda multiparámetro previamente calibrada, introducida directamente en el efluente hasta obtener una lectura estable. La medición es clave porque influye directamente en la actividad microbiana y en la velocidad de las reacciones químicas involucradas en el tratamiento de aguas residuales, afectando la eficiencia de remoción de contaminantes. Estudios experimentales han demostrado que variaciones en la temperatura modifican el rendimiento de los procesos de tratamiento, por lo que su monitoreo resulta indispensable en el análisis de la calidad.

Tabla 1*Rangos de temperatura para el proceso anaerobio*

Régimen térmico	Rango de temperatura (°C)	Características del proceso anaerobio	Libro
Psicrófilo	< 20 °C	Actividad biológica muy baja; digestión lenta; común en climas fríos sin calefacción.	Speece (1996)
Submesófilo	20 – 30 °C	Actividad moderada; menor eficiencia que mesófilo; usado en sistemas rurales de baja carga.	Metcalf y Eddy (2014)
Mesófilo	30 – 38 °C	Régimen más estable y más usado; alta remoción de DBO y DQO; buena resistencia a choques.	Metcalf y Eddy (2014)
Mesófilo alto	38 – 45 °C	Mayor cinética que mesófilo clásico, pero con menor estabilidad.	Von Sperling (2007)
Termófilo	50 – 57 °C	Alta velocidad de reacción; mayor producción de biogás; sensible a variaciones de carga.	Speece (1996)
Hipertermófilo	> 60 °C	Uso limitado; principalmente experimental; requiere control estricto.	Von Sperling (2007)

Nota. Elaboración propia a partir de Speece (1996), Metcalf & Eddy (2014) y Von Sperling (2007).

- Color: el agua residual usualmente es gris, pero cuando las bacterias descomponen los compuestos orgánicos y el oxígeno disuelto disminuye a cero su color cambia a negro, cuando tiene esta coloración el agua residual es llamada séptica (Osorio et al., 2020).

La determinación del color en aguas residuales domésticas se realiza mediante análisis espectrofotométrico basado en normas estandarizadas. La medición del color es un parámetro físico esencial para evaluar la calidad de las aguas residuales, ya que la presencia de materia orgánica disuelta, compuestos coloidales y sustancias químicas vertidas en los desagües domésticos produce tonalidades características que pueden indicar el grado de contaminación (Osorio y Martínez, 2018).

- Olor: el olor se produce por los gases que resultan del proceso de revisión de materiales orgánicos, el agua residual séptica, en comparación con el agua residual reciente, tiene un olor potencialmente menos tolerable debido al azufre de hidrógeno generado por la reducción anaeróbica del resto no utilizado y los sulfitos parcialmente utilizados a través de estrechamientos directos o metabólicos frecuentes (Osorio et al., 2020).

El olor en las aguas residuales domésticas se determina mediante un enfoque sensorial basado en olfatometría, técnica que permite estimar la intensidad del olor a partir de la percepción humana controlada. La medición del olor resulta importante porque permite identificar condiciones de deterioro del efluente, evaluar el impacto ambiental y estimar posibles molestias a la población (Lewkowska et al., 2016).

- pH: es un indicador que expresa el nivel de acidez o basicidad presente en el agua y se determina a partir de la concentración de protones (H^+) en la solución. Sus valores se representan en una escala numérica que va de 0 a 14, en la cual el valor 7 corresponde a una condición neutra, este parámetro resulta fundamental en el análisis de aguas residuales, ya que permite establecer el comportamiento químico del medio y su influencia en los procesos de tratamiento, especialmente en aquellos de naturaleza biológica (Osorio et al., 2020).

Según Albuquerque et al. (2019), se determina mediante medición directa con un pH-metro calibrado, introduciendo el electrodo en la muestra hasta obtener un valor estable, con el fin de cuantificar la acidez o alcalinidad del efluente. Esta determinación es esencial porque el pH influye directamente en la actividad de las metodologías de tratamiento biológico y químico, ya que condiciones de pH fuera de rangos óptimos pueden inhibir la actividad microbiana y alterar reacciones de coagulación-floculación, afectando negativamente la remoción de contaminantes.

2.2.4.2. Características químicas

- **Materia orgánica:** Presente en las aguas residuales representa uno de los principales parámetros asociados a la contaggio, debido a que su degradación biológica implica un consumo significativo de oxígeno disuelto en los cuerpos receptores, lo que puede alterar el equilibrio de los ecosistemas acuáticos, esta fracción puede encontrarse tanto en estado soluble como en forma particulada, y su transformación está vinculada a procesos metabólicos microbianos que generan subproductos intermedios tales como ácidos orgánicos, compuestos nitrogenados y gases como el metano y el dióxido de carbono, indicadores como la DBO₅ y la DQO se utilizan como herramientas indirectas para estimar la cantidad de carga orgánica presente en el agua y para determinar el desempeño de los sistemas de depuración. Estos parámetros permiten evaluar el grado de oxidabilidad de los compuestos orgánicos y establecer el nivel de impacto potencial sobre el medio receptor. El control de la materia orgánica resulta fundamental en el diseño y operación de plantas de tratamiento, ya que concentraciones elevadas pueden generar olores desagradables, proliferación de microorganismos patógenos y procesos de eutrofización en fuentes superficiales. Por ello, la adecuada remoción de esta fracción constituye un objetivo

prioritario en cualquier esquema de saneamiento y gestión ambiental de aguas residuales (César y Vásquez, 2003).

2.2.4.3. Medida del contenido orgánico. Los métodos utilizados en laboratorio son:

- **DBO₅:** determina cuánto oxígeno contenido han utilizado los microorganismos durante el proceso de oxidación bioquímica y nos da una estimación de cuánto más se debe agregar para que el contenido orgánico se estabilice biológicamente (Oficina de Información Científica y Tecnológica para el Congreso de la Unión [INCYTU], 2019).

Según (Muñoz et al., 2000), se determina mediante el método estándar de incubación, donde se mide el oxígeno disuelto inicial y final en la muestra de agua residual después de cinco días de incubación a 20 °C, la medición es fundamental para evaluar el contenido de materia orgánica biodegradable, determinar el grado de contaminación y diagnosticar la eficacia de los tratamientos biológicos de aguas residuales.

- **DQO:** se utiliza para la estimación de la cantidad de materia orgánica, tanto en aguas residuales como naturales, la DQO es una medida que indica los contaminantes de descargas industriales (INCYTU, 2019).

Se determina mediante un procedimiento químico estandarizado en el cual se oxida toda la materia orgánica de la muestra con un agente fuerte, normalmente dicromato de potasio en medio ácido, y se mide el equivalente de oxígeno requerido para completar dicha oxidación, la medición es importante para valorar la carga contaminante total y control de procesos de tratamiento y comparar la efectividad de diferentes etapas del tratamiento, ya que la DQO suele ser mayor que la DBO₅ al incluir compuestos no fácilmente biodegradables (Muñoz et al., 2000).

- Gases: en el agua residual sin tratar los gases que usualmente se encuentran son el nitrógeno, anhídrido carbónico, oxígeno, metano, amoníaco, sulfuro de hidrogeno, estos tres últimos se originan de la degradación de la materia orgánica de las aguas residuales (Espigares y Pérez, 2003).

La determinación se realiza mediante la captura de muestras gaseosas en recipientes herméticos y su posterior análisis por cromatografía de gases (GC), este análisis se emplea para evaluar las condiciones de degradación de la materia orgánica y los procesos biológicos del sistema, así como para estimar el impacto ambiental de las emisiones y apoyar la optimización del tratamiento de aguas residuales (Daelman et al., 2013).

2.2.4.4. Características biológicas. En este apartado se considera el estudio de los organismos microscópicos que se hallan en las aguas residuales y aquellos que participan activamente en los procesos de depuración biológica.

- **Microorganismos:** Pueden clasificarse dentro de diversos grupos biológicos como vegetales microscópicos, protistas y formas animales simples. Dentro del grupo de los protistas se incluyen bacterias, hongos, protozoos y algas, los cuales cumplen un papel relevante en la transformación de la materia orgánica (Espigares y Pérez, 2003).

Los organismos presentes en las aguas residuales son detectados y cuantificados mediante métodos microbiológicos especializados, entre ellos la filtración a través de membranas y el aislamiento en medios de cultivo selectivos. Estas técnicas permiten determinar la presencia y concentración de microorganismos indicadores tales como coliformes totales, coliformes de origen fecal y *Escherichia coli*. Dichas pruebas tienen como finalidad medir el grado de contaminación fecal, valorar el posible impacto sanitario del efluente y comprobar el desempeño del tratamiento aplicado (Espigares y Pérez, 2003).

Dentro de los parámetros más utilizados para determinar la contaminación fecal en cuerpos hídricos se encuentran los coliformes totales y los coliformes termotolerantes, también conocidos como fecales, estos microorganismos poseen la capacidad de fermentar lactosa a temperaturas relativamente elevadas, característica que facilita su detección en pruebas microbiológicas y permite utilizarlos como referencia para evidenciar contaminación de procedencia intestinal en el recurso hídrico (Larrea et al., 2013).

El grupo de coliformes totales comprende una variedad amplia de bacterias que pueden encontrarse tanto en ambientes naturales como en el sistema digestivo de animales homeotermos, por lo que su presencia sugiere contaminación general, aunque no exclusivamente fecal, los coliformes termotolerantes muestran mayor especificidad hacia fuentes fecales, ya que su desarrollo a temperaturas elevadas está estrechamente vinculado a microorganismos de origen intestinal, lo que los convierte en un indicador más preciso del riesgo sanitario asociado al agua.

La detección de estos microorganismos en aguas superficiales o residuales constituye un indicador relevante de riesgo sanitario, ya que su presencia puede estar asociada a otros agentes patógenos como virus, bacterias y protozoarios responsables de enfermedades de origen hídrico, el monitoreo microbiológico resulta un componente esencial en la determinación de la aptitud del recurso hídrico y en la evaluación del cumplimiento de los criterios establecidos por la normativa ambiental vigente (Larrea et al., 2013).

2.2.5. Tratamiento de aguas residuales

El tratamiento de aguas residuales tiene como propósito reducir la carga de contaminantes presentes en el efluente previo a su descarga o posible reutilización, con el objetivo de disminuir los instrumentos hostiles sobre el entorno natural y la salud de la

población, en una primera etapa, los tratamientos primarios se orientan a la remoción de partículas sedimentables y materiales flotantes mediante procesos mecánicos como la decantación y el cribado, los tratamientos secundarios incorporan mecanismos biológicos que favorecen la degradación de la fracción orgánica biodegradable, generalmente a través de la diligencia metabólica de microorganismos que convierten los compuestos orgánicos en productos más estables.

Además de estas etapas, algunos sistemas incluyen tratamientos complementarios destinados a mejorar aún más la calidad del efluente, estas fases pueden enfocarse en la eliminación de nutrientes, la reducción de microorganismos patógenos o la remoción de compuestos específicos que no fueron completamente eliminados en las etapas previas, de esta manera, se busca efectuar con los estándares de calidad determinados por la normativa ambiental vigente.

La eficiencia global del tratamiento depende de diversos factores operativos, tales como el tiempo de retención hidráulica, la carga orgánica aplicada, las condiciones ambientales y el adecuado mantenimiento de las unidades de tratamiento, una correcta integración de los procesos físicos, químicos y biológicos permite optimizar la depuración del agua residual, garantizando un manejo sostenible del recurso hídrico y reduciendo el impacto ambiental asociado a su vertimiento (Bokova y Ryder, 2017).

2.2.4.5. Procesos físicos. Estos se utilizan específicamente para desinfectar, facilitando la eliminación de sustancias a través de potencias naturales como la gravedad y barreras físicas como coladores o luz ultravioleta (Arnáiz et al., 2000). Dentro de estos se encuentran el cribado, floculación, sedimentación, adsorción y filtración (Metcalf y Eddy, 2014).

Los procesos físicos constituyen la primera etapa en muchos sistemas de tratamiento, ya que permiten la separación de partículas sólidas y materiales suspendidos sin alterar

química su composición, estas operaciones se basan en principios mecánicos e hidráulicos que favorecen la remoción de sólidos gruesos, arenas y partículas sedimentables, reduciendo la carga contaminante inicial y protegiendo las unidades posteriores del sistema de tratamiento (Arnáiz et al., 2000).

Asimismo, la eficiencia de las técnicas físicas depende de factores como el tamaño de la partícula, la densidad de los sólidos, el tiempo de retención hidráulica y las condiciones de flujo dentro de las estructuras de tratamiento, aunque por sí solos no eliminan completamente la materia orgánica disuelta ni los microorganismos patógenos, estos procesos representan una etapa fundamental para mejorar el rendimiento de los tratamientos biológicos y químicos posteriores, optimizando así la calidad final del efluente (Metcalf y Eddy, 2014).

2.2.4.6. Procesos químicos. Los procesos químicos en el tratamiento de aguas residuales se orientan principalmente a la remoción de contaminantes específicos mediante reacciones controladas que modifican la composición del agua, entre sus aplicaciones más relevantes se encuentra la eliminación de metales pesados y la reducción de materia orgánica a través del uso de coagulantes como sales férricas o polielectrolitos, los cuales favorecen la formación de flóculos que posteriormente pueden ser separados del efluente (Sen et al., 2014), estos procesos permiten disminuir parcialmente la DBO y los sólidos suspendidos.

Dentro de las operaciones químicas más empleadas se incluyen la precipitación, la transferencia de gases, la adsorción y la desinfección, técnicas que contribuyen a mejorar la calidad final del efluente (Metcalf y Eddy, 2014). La precipitación facilita la remoción de compuestos disueltos mediante la formación de sólidos insolubles; la adsorción permite retener sustancias en la superficie de materiales específicos; y la desinfección reduce la carga microbiológica, garantizando mayor seguridad sanitaria antes de la descarga o reutilización del agua tratada.

Además, los procesos químicos suelen implementarse como etapas complementarias al tratamiento físico y biológico, especialmente cuando se requiere alcanzar estándares más estrictos de calidad. Su eficiencia depende de variables como el pH, la dosificación de reactivos y el tiempo de contacto, factores que deben ser cuidadosamente controlados para optimizar los resultados y evitar la generación excesiva de subproductos (Metcalf y Eddy, 2014).

2.2.4.7. Procesos biológicos. Los procesos biológicos constituyen una de las etapas fundamentales en las plantas de tratamiento (PTAR), ya que permiten la degradación de la materia orgánica mediante el ejercicio de microorganismos en condiciones controladas, en estos sistemas, bacterias y otros organismos transforman los compuestos orgánicos biodegradables en sustancias más estables, contribuyendo también a la estabilización de los lodos generados durante el proceso (Bokova y Ryder, 2017).

Dentro de las opciones de tratamiento biológico más empleadas se encuentran el sistema de lodos activados, las lagunas de equilibrio organizadas en anaerobias, discrecionales y de maduración, los filtros biológicos de percolación, los canales de oxidación, los reactores secuenciales por lotes (SBR) y los reactores anaerobios de flujo ascendente (UASB) (Metcalf y Eddy, 2014). Estas tecnologías basan su operación en el metabolismo de poblaciones microbianas que transforman la fracción orgánica contenida en el agua residual, permitiendo la disminución de indicadores como la DBO y la DQO, tanto en entornos urbanos como en áreas rurales.

El principio fundamental de estos sistemas radica en la actividad biológica controlada, donde los microorganismos traen la materia orgánica como fuente de energía y carbono, generando compuestos más estables y menos contaminantes, este proceso no solo contribuye a mejorar la calidad del efluente, sino que también favorece la estabilización de los lodos producidos durante el tratamiento.

Adicionalmente, la selección de la tecnología biológica más adecuada depende de factores como la carga orgánica, el caudal a tratar, la disponibilidad de terreno y los costos de operación y sustento, una correcta elección y gestión del sistema permiten optimizar el rendimiento del tratamiento y responder el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos para la descarga o reutilización del agua tratada.

El rendimiento de los sistemas biológicos depende de diversas variables operativas, entre ellas la temperatura del medio, la disponibilidad de oxígeno disuelto, el tiempo de permanencia del agua dentro del reactor y la carga orgánica suministrada, el manejo adecuado de estos factores permite optimizar la actividad de los microorganismos y alcanzar mayores niveles de remoción de contaminantes, consolidando estos procesos como una opción eficiente y ambientalmente sostenible para el tratamiento de efluentes domésticos, los sistemas biológicos pueden adaptarse a distintas escalas de operación, desde instalaciones comunitarias de pequeña capacidad hasta plantas municipales de mayor envergadura, esta flexibilidad tecnológica facilita su implementación en regiones con limitaciones económicas o geográficas, contribuyendo a ampliar la cobertura de saneamiento básico (Bokova y Ryder, 2017).

Por otro lado, la selección del tipo de tratamiento biológico debe considerar aspectos como la disponibilidad de terreno, los costos de operación y mantenimiento, así como las características del agua residual a tratar, una adecuada planificación técnica garantiza la estabilidad del proceso, la reducción efectiva de la carga contaminante y el cumplimiento de los estándares ambientales establecidos.

2.2.6. *Sistemas sin arrastre hidráulico*

Los sistemas sin arrastre hidráulico se caracterizan por emplear tecnologías secas o de mínima utilización de agua, donde las excretas son depositadas directamente en cámaras de almacenamiento o fosas diseñadas para su estabilización progresiva, entre las alternativas más

comunes se encuentran las letrinas tradicionales, letrinas ventiladas mejoradas y baños ecológicos secos, cuya implementación resulta adecuada en zonas donde el camino al agua es limitado o inexistente (Castro y Rojas, 2021).

Desde el punto de vista técnico, estos sistemas requieren un diseño apropiado que garantice la ventilación, el aislamiento del suelo y la protección frente a la infiltración de aguas pluviales, a fin de impedir la contaminación de fuentes hídricas subterráneas, su correcto funcionamiento depende de prácticas de uso y mantenimiento por parte de los usuarios, como la aplicación de material secante (ceniza o cal) en algunos modelos, lo que contribuye a reducir olores, humedad y proliferación de insectos.

Si bien los sistemas sin arrastre hidráulico representan una solución económica y de fácil implementación en áreas rurales dispersas, también presentan limitaciones asociadas a la capacidad de almacenamiento y a la necesidad de vaciado periódico, su selección debe considerar factores sociales, ambientales y culturales, asegurando que la tecnología adoptada sea compatible con las condiciones locales y contribuya a mejorar las condiciones de saneamiento básico.(Castro y Rojas, 2021).

2.2.7. Sistemas con arrastre hidráulico

El uso del agua en las Unidades Básicas de Saneamiento con arrastre hidráulico cumple una función esencial en el transporte y evacuación de las excretas hacia el sistema de tratamiento, facilitando su conducción a través de tuberías hasta el biodigestor u otra estructura sanitaria, este mecanismo permite reducir la acumulación directa de residuos en el entorno inmediato, contribuyendo a mejorar las condiciones higiénicas y disminuir la proliferación de vectores transmisores de enfermedades (Castro y Rojas, 2021).

Asimismo, el adecuado funcionamiento de estos sistemas depende de una disponibilidad mínima y constante de agua, ya que un suministro insuficiente puede afectar el

proceso de arrastre, generar obstrucciones y disminuir la eficiencia del tratamiento posterior, la planificación e implementación de las Unidades Básicas de Saneamiento deben considerar las características del abastecimiento hídrico local, así como prácticas de uso responsable que garanticen su sostenibilidad y correcto mantenimiento.(Castro y Rojas, 2021).

2.2.8. Unidades básicas de saneamiento (UBS)

Constituyen soluciones descentralizadas diseñadas principalmente para contextos rurales, cuyo objetivo es garantizar el acceso a servicios sanitarios mediante instalaciones domiciliarias complementadas con sistemas básicos de tratamiento de aguas residuales. Estas infraestructuras buscan fortalecer las condiciones higiénicas de la población, prevenir enfermedades de origen hídrico y mitigar el impacto ambiental derivado de la disposición inadecuada de excretas (Polo et al., 2019).

Su implementación responde a la necesidad de ofrecer alternativas técnicas adaptadas a las características sociales, económicas y geográficas de cada comunidad. Las UBS con arrastre hidráulico incorporan inodoros conectados a un sistema de evacuación, drenaje interno, lavamanos y espacio destinado para la higiene personal, incluyendo ducha. Además, cuentan con abastecimiento de agua y condiciones mínimas de iluminación, elementos que contribuyen a mejorar el confort y la salubridad en el entorno domiciliario (Michaud et al., 2012).

Desde el punto de vista técnico, estas unidades pueden estar asociadas a métodos de tratamiento como biodigestores, tanques sépticos o cámaras de infiltración, los cuales permiten la estabilización parcial de la materia orgánica antes de su disposición final, la selección del tipo de tratamiento depende de elementos como la disponibilidad de agua, la permeabilidad del suelo y la densidad poblacional, asegurando así un funcionamiento eficiente y sostenible.

Las UBS representan una estrategia clave dentro de los programas de saneamiento rural, ya que promueven la gestión integral de excretas y aguas residuales a nivel domiciliario, su

adecuada operación y mantenimiento requieren capacitación comunitaria y seguimiento técnico, garantizando la durabilidad de la infraestructura y el cumplimiento de estándares sanitarios y ambientales, la sostenibilidad de las Unidades Básicas de Saneamiento depende no solo de su diseño e instalación, sino también de la apropiación social por parte de los usuarios.

La colaboración activa de la comunidad en las etapas de planificación, construcción y mantenimiento favorece el uso adecuado de las instalaciones y reduce el riesgo de fallas operativas. En este sentido, los programas de educación sanitaria y sensibilización ambiental cumplen un rol fundamental para fortalecer hábitos de higiene, optimizar el consumo de agua y originar prácticas responsables en la disposición de residuos líquidos y sólidos, la implementación de las UBS contribuye al cumplimiento de metas nacionales e internacionales relacionadas con el acceso universal al saneamiento, especialmente en zonas con limitada cobertura de redes convencionales. Estas soluciones descentralizadas permiten cerrar brechas de infraestructura sanitaria, mejorar la calidad de vida y reducir la contaminación de fuentes superficiales y subterráneas (Polo et al., 2019).

2.2.9. Biodigestores

Los biodigestores autolimpiables son sistemas de tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas diseñados para facilitar la eliminación periódica de lodos acumulados sin requerir intervención técnica compleja, lo que los hace adecuados para contextos rurales o comunitarios. En estos sistemas, el efluente se somete a procesos de degradación biológica en ausencia de oxígeno, y la configuración del reactor y el flujo hidráulico permiten que los sólidos sedimentados sean expulsados progresivamente o capturados mediante dispositivos adicionales como biofiltros (Montes, 2018).

El biodigestor es un sistema que sirve para el saneamiento, principalmente en lugares que no cuentan con desagüe, y este sistema recibe el agua residual doméstica y le da tratamiento primario a través de un proceso de retención y estabilización anaerobia (Rotoplas, 2021).

Desde el punto de vista operativo, los biodigestores funcionan bajo el principio de la digestión anaerobia, proceso en el cual comunidades microbianas transforman la materia orgánica en compuestos más estables mediante etapas sucesivas como hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis. Durante este proceso se reduce la carga orgánica del efluente y se genera biogás como subproducto, compuesto principalmente por metano y dióxido de carbono, la implementación de biodigestores en zonas rurales representa una alternativa tecnológica de bajo costo y fácil mantenimiento, adecuada para comunidades con acceso limitado a sistemas convencionales de alcantarillado. Su correcta instalación y mantenimiento periódico permiten prolongar la vida útil del sistema y mejorar su eficiencia de remoción.

Figura 1

Componentes del biodigestor autolimpiable



Nota. Componentes del biodigestor autolimpiable, Rotoplas, (2018).

Los biodigestores operan mediante un mecanismo biológico conocido como digestión anaerobia, en el cual comunidades microbianas descomponen la fracción orgánica contenida en las aguas residuales en ausencia de oxígeno, durante este proceso, los compuestos orgánicos son transformados en productos aprovechables como biogás mezclado especialmente por metano y dióxido de carbono y en un efluente con mayor grado de estabilización.

Los biodigestores funcionan a través de un proceso biológico denominado digestión anaerobia, mediante el cual comunidades de microorganismos degradan la fracción orgánica presente en el agua residual en condiciones sin presencia de oxígeno. Durante esta transformación, los compuestos orgánicos son convertidos en subproductos valorizables, entre ellos el biogás integrado principalmente por metano y dióxido de carbono y un efluente con mayor estabilidad química y biológica.

La digestión anaerobia se desarrolla de forma progresiva a través de distintas etapas, en primer lugar, ocurre la hidrólisis, donde las moléculas complejas son descompuestas en estructuras más simples; posteriormente, en la acidogénesis, dichos compuestos se transforman en ácidos orgánicos y alcoholes. En la fase de acetogénesis se generan principalmente ácido acético, hidrógeno y dióxido de carbono, y finalmente, durante la metanogénesis, se produce metano como principal componente energético del biogás.

Este proceso biológico no solo permite disminuir la concentración de materia orgánica contaminante, sino que también favorece la generación de energía renovable y la obtención de un digestivo estabilizado que puede emplearse como acondicionador de suelos. Asimismo, el desempeño del sistema está influenciado por variables como la temperatura, el pH y el tiempo de retención, las cuales deben mantenerse dentro de rangos óptimos para asegurar una adecuada actividad microbiana y maximizar la eficiencia del tratamiento (Vutai et al., 2016).

Además, el desempeño del biodigestor depende de factores operativos como la temperatura, el tiempo de retención hidráulica, el pH y la carga orgánica aplicada. Un control adecuado de estas variables favorece la actividad de los microorganismos anaerobios y optimiza la producción de biogás, garantizando una mayor eficiencia en la reducción de contaminantes y una operación estable del sistema (Vutai et al., 2016).

2.2.10. Lodos

Los lodos son una mezcla de materia orgánica estabilizada y agua enlentecida por la red integrada de una red de alcantarillas compuesto principalmente por agua con inactividad microbiana metanogénica (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2011). El lodo que se generan en el proceso de tratamiento de aguas residuales son valiosos subproductos que sirven como fuente de nutrientes y acondicionador del suelo en la agricultura, pero también puede ser un riesgo ya que contienen una alta concentración de patógenos, principalmente parásitos (Moscoso, 2016).

Desde el punto de vista técnico, los lodos pueden clasificarse según su origen y grado de tratamiento en lodos primarios, secundarios y digeridos. Los lodos primarios provienen de procesos físicos de sedimentación y contienen elevada concentración de sólidos sedimentables; los secundarios se generan en tratamientos biológicos como lodos activados o biodigestión anaerobia, presentando mayor estabilización de la materia orgánica, en función de su composición, los lodos incluyen fracciones orgánicas biodegradables, compuestos húmicos, microorganismos, metales pesados y trazas de contaminantes emergentes, lo que condiciona su manejo, tratamiento y disposición final.

La gestión adecuada de los lodos es un componente fundamental dentro de los sistemas de saneamiento, ya que su volumen y características influyen directamente en los costos operativos y en el impacto ambiental del tratamiento de aguas residuales, procesos como

espesamiento, estabilización, deshidratación y compostaje permiten reducir su contenido de humedad, minimizar riesgos sanitarios y mejorar su potencial de aprovechamiento agrícola o energético. No obstante, su aplicación al suelo debe realizarse bajo criterios técnicos y normativos que garanticen la protección del ambiente y la salud pública.

Los lodos producidos en biodigestores autolimpiables, que funcionan bajo el principio de digestión anaerobia, corresponden a residuos estabilizados producto de la degradación biológica de compuestos orgánicos en condiciones sin presencia de oxígeno. Estos materiales se distinguen por contener una elevada proporción de materia orgánica transformada, fracciones sólidas totales y volátiles, así como concentraciones relevantes de nutrientes tales como nitrógeno y fósforo, , presentan características fisicoquímicas determinantes, entre ellas el pH y la relación carbono/nitrógeno, las cuales influyen en su comportamiento durante etapas posteriores de manejo y en su potencial aplicación como acondicionador de suelos o bioabono (Ribeiro et al., 2024).

2.2.11. Límites máximos permisibles (LMP)

Esta normativa da la medida de una magnitud o de su concentración, ya sea elemento o parámetro que puede ser físico, químico y biológico; tiradas bruscamente pueden causar problemas al medio ambiente creando un peligro para la vida (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2010).

Tabla 2*Límites máximos permisibles para los efluentes de PTAR*

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	10.000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

Nota. MINAM (2010)

2.2.12. Factores físicos y químicos que afectan el proceso anaerobio

Según Lorenzo y Obaya (2005), existen diversos parámetros tanto físicos como químicos que se encuentran en los procesos anaerobios y son los siguientes:

Factores físicos:

- **Temperatura:** no debe presentar cambios repentinos, el óptimo rendimiento de los procesos anaerobios se da cuando la temperatura se encuentra alrededor de los 35 °C porque las bacterias mesófilas, especialmente las metanogénicas, presentan su mayor actividad metabólica y enzimática a esta temperatura, lo que permite una degradación eficiente de la materia orgánica
- **Contenido en sólidos:** cuando existe menos del 10% de sólidos el proceso anaerobio normalmente se realiza de la mejor manera, esto indica que la biomasa debe tener un contenido de humedad alto.

Factores químicos:

- Composición del residual: define la materia orgánica e inorgánica disponible para el proceso.
- Acidez (pH): este parámetro indica la cantidad y el porcentaje de metano en el biogás, a través de la adición de nutrientes y parámetros de proceso se logra llegar al rango óptimo de pH que va de 6.6 – 7.6.
- Nutrientes: el contenido de nitrógeno, carbono, azufre, fósforo y ciertas sales minerales influyen en el desarrollo y en la actividad de las bacterias.
- Tóxicos: la presencia de N (NH_4^+ , NH_3), S (S^{2-}) en grandes cantidades en el proceso anaerobio se pueden convertir en tóxicos.
- Cargas orgánicas y tóxicas: no deben exceder los límites del proceso para evitar inhibición o fallo en la digestión.

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Saneamiento básico

Es un grupo de medidas que se pueden emplear en el medio ambiente con el propósito de reducir los riesgos para la salud, evitar enfermedades transmisibles y con ello lograr un mejor estado biológico humano constituido por tres pilares básicos tales como agua segura, saneamiento ambiental adecuado (disposición sanitaria de excreta) y gestión integral del manejo de sólidos (OMS y OPS, 2022).

2.3.2. Aguas residuales

Se pueden precisar como sustancias que a partir de la intervención humana son peligrosas y deben desecharse ya que sujetan grandes cantidades de sustancias y microorganismos (Espigares y Pérez, 2003).

2.3.3. *Demanda bioquímica de oxígeno*

Se realiza este proceso cuando la materia orgánica demanda oxígeno para descomponerse en cuerpos de agua, ya que un elevado contenido de materia orgánica ayuda al crecimiento de hongos y bacterias (Raffo y Ruiz, 2014).

2.3.4. *Demanda química de oxígeno*

Es una medida del agua que, químicamente, se define como la cantidad total de sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en forma de solución o suspendidas sobre ellas, capaces de ser oxidadas bajo condiciones ácidas y por efecto de agentes oxidantes. Se expresa en miligramos correspondientes a la de cantidad absoluta o fraccionaria orgánica depositada (Ramírez et al., 2008).

2.3.5. *Coliformes termotolerantes*

Existe un conjunto de bacterias llamadas coliformes fecales, que están presentes principalmente en el tracto gastrointestinal de los animales de sangre caliente. Aproximadamente el 90% de estas bacterias pertenecen al género *Escherichia* (Burga, 2019).

2.3.6. *Digestión anaerobia*

Una fermentación de materia orgánica con generación de metano en condiciones anaeróbicas para producir una mezcla gaseosa acreditada como biogás y una suspensión líquida que contiene los organismos u hongos encargados de la hidrólisis de la biomasa (Lorenzo y Obaya, 2005).

2.3.7. *Tratamiento de aguas residuales*

Es la mezcla de varios procesos físicos, químicos y biológicos puede devolver agua y residuos sólidos o lodos o biosólidos de mayor cantidad de acuerdo con parámetros estandarizados para cada país (Lizana, 2018).

2.3.8. Biodigestor

Es un reactor hermético en el que se almacena materia orgánica fermentable, como desechos vegetales y excrementos animales (incluidos humanos), regulando el agua para dar una fermentación anaeróbica, reduciendo las heces al mismo tiempo que se genera gas metano y fertilizantes de nitrógeno-fósforo-potasio de alto valor (Mejía y Pérez, 2015).

2.3.9. Tratamiento biológico

Se fundamenta en la actividad biológica de las bacterias para completar el ciclo de elementos en el suelo (C, N y P), que utiliza bacterias que se reproducen naturalmente en el medio ambiente, utilizando un sistema de ingeniería que requiere factores (Amy et al., 2017).

2.4. Hipótesis

H0: No existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de remoción de DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes (CTt) entre los biodigestores ubicados en los tres niveles de altitud evaluados en la provincia de Chota.

H1: Existen diferencias estadísticamente significativas en la eficiencia de remoción de DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes (CTt) entre al menos uno de los niveles de altitud, asociadas a las condiciones termodinámicas y cinéticas del proceso de digestión anaerobia.

2.5. Operacionalización de variables

Tabla 3

Operacionalización de variables

Variable	Objetivos	Definición operacional	Dimensiones	Parámetros de medición	Criterio de evaluación (LMP)	Unidad de medida
Variable independiente: Biodigestores a diferentes altitudes	- Medir los parámetros fisicoquímicos pH, temperatura y las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolerantes (CTt) en el afluente y efluente de los biodigestores a tres niveles de altitud.	La altitud corresponde a la elevación de un punto geográfico en relación con el nivel medio del mar, constituyendo un elemento físico del relieve que incide directamente en variables ambientales como temperatura, presión atmosférica y disponibilidad de oxígeno, factores que pueden influir en el desarrollo de procesos biológicos (Instituto Geográfico Nacional [IGN], 2018). En el presente estudio, esta variable fue operacionalizada como un dato cuantitativo continuo, registrado en metros sobre el nivel del mar (msnm) para cada una de las localidades donde se ubicaron los biodigestores analizados.	Localidades ✓ El Paraíso ✓ Colpamayo ✓ Cochabamba	Altitud ✓ 2963 m s. n. m. ✓ 2345 m s. n. m. ✓ 1704 m s. n. m.	-----	----
Variable dependiente: Eficiencia de remoción	- Determinar la eficiencia de remoción de los biodigestores en cuanto a los parámetros DBO ₅ , DQO y CTt. - Comparar las concentraciones de las DBO ₅ , DQO y CTt del efluente de los biodigestores con el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, Límites máximos permisibles para los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas o municipales.	Por su parte, la eficiencia de tratamiento se define como el grado de reducción de la carga contaminante alcanzado por un sistema de depuración, reflejando su desempeño en la disminución de compuestos orgánicos y microorganismos presentes en aguas residuales (Metcalf & Eddy, 2014).	Parámetros físicos	Temperatura (T°)	*T°<35	°C
			Parámetros químicos	Potencial de hidrogeno (pH) DQO DBO ₅	6.5<*pH<8.5 DQO<200 DBO ₅ <100	Unidad mg/L - % mg/L - %
			Parámetros microbiológicos	Coliformes termotolerantes (CTt)	CTt<10000	NMP/100mL - %

CAPÍTULO III. Marco metodológico

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo básica, cuyo nivel es descriptiva, por cuanto se centra en describir hechos para llegar a establecer su estructura o comportamiento, en cuanto a la profundidad del conocimiento, estos resultados de investigación son de un nivel intermedio (Fidias, 2006). Además, como menciona (Mego, 2023), en la investigación de tipo cuantitativa - descriptiva se siguen un conjunto de procedimientos que son ordenados y sirven para obtención, análisis e interpretación de información y así caracterizar el objeto de estudio.

3.2. Diseño de investigación

Para este estudio el diseño es no experimental ya que no se manipularon las variables y los fenómenos son observados tal cual ocurren (Arispe et al., 2020).

Se identificó tres biodigestores como puntos de monitoreo en las localidades de El Paraíso (2963 m s. n. m.), Colpamayo (2345 m s. n. m.) y Cochabamba (1704 m s. n. m.), donde se evaluaron los parámetros de pH, temperatura, DBO₅, DQO y CTt en el afluente y efluente.

3.3. Método de investigación

Para la ejecución de la investigación se aplicó el método analítico descriptivo mediante este se analizaron las muestras de agua, luego se describió y analizó la información recopilada.

3.3.1. Identificación de los puntos de muestreo

Fueron identificados, señalizados y codificados utilizando GPS (Global Positioning System), registrando cada punto con las coordenadas UTM y se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4*Puntos de muestreo de las aguas residuales domésticas*

Puntos de monitoreo	Coordenadas UTM - WGS84			
	Norte	Este	Altura	Localidad
Biodigestor 1	9283175	734651	1704	Cochabamba
Biodigestor 2	9276498	761668	2345	Colpamayo
Biodigestor 3	9270204	766591	2963	El Paraíso

3.3.2. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo

En la Figura 2 se observa los puntos de muestreo ubicados en las localidades de El Paraíso, Colpamayo y Cochabamba, pertenecientes a la provincia de Chota, departamento Cajamarca, los mismos que se encuentran a diferentes altitudes.

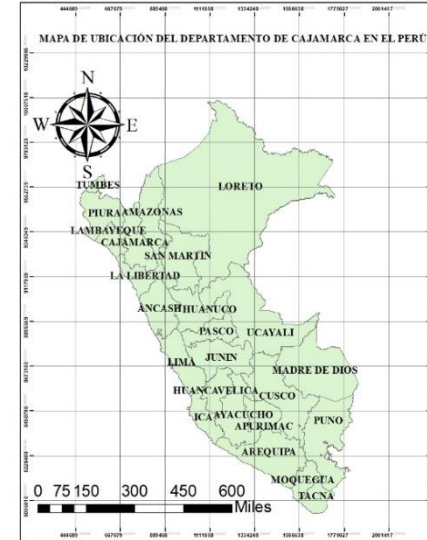
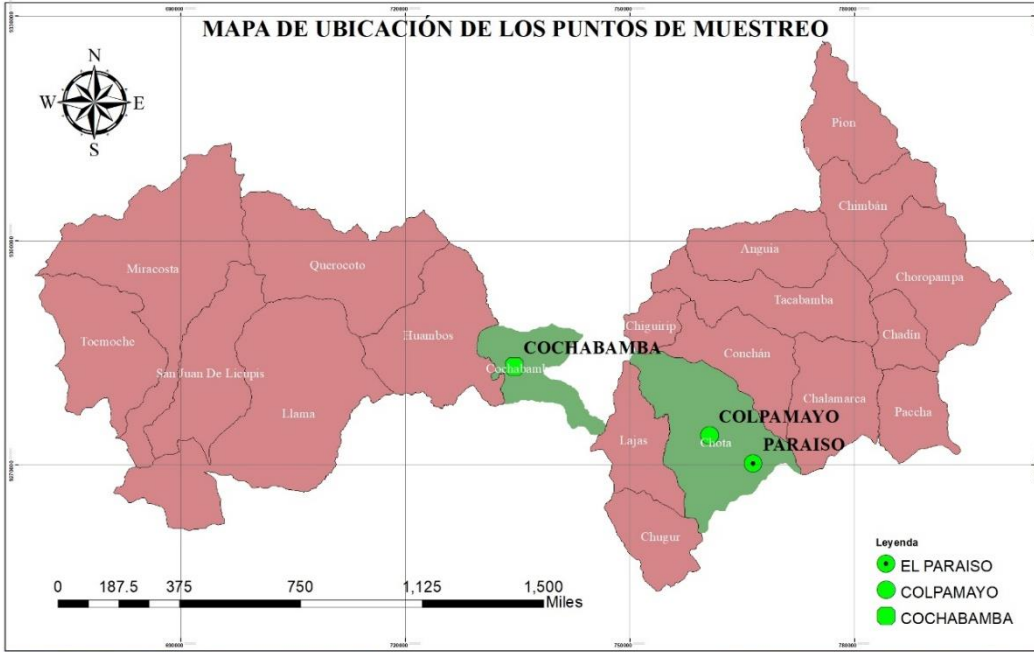
Tabla 5*Condiciones climáticas de los puntos de muestreo*

Localidad	Distrito	Distancia	Temperatura (°C) y humedad (%) promedio		Temperatura (°C) y humedad (%) en los días de muestreo									
					19/03/24	06/06/24	03/10/24	15/11/24						
Paraíso	Chota	30 min	13	78-80	13°C 64%	7°C 76%	17.4°C 65%	19.2°C 41%						
Colpamayo	Chota	15 min	14	75-80	19°C 66%	14°C 63%	17.6°C 82%	16.6°C 47%						
Cochabamba	Cochabamba	55 min	19	70-75	26°C 47%	21°C 70%	22°C 71%	24.5°C 22%						

En la Tabla 5 se observan los datos sobre la temperatura y humedad promedio que fueron obtenidos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Figura 2

Mapa de ubicación de los puntos de muestreo



El Paraíso 17M E: 766591 N: 9270204

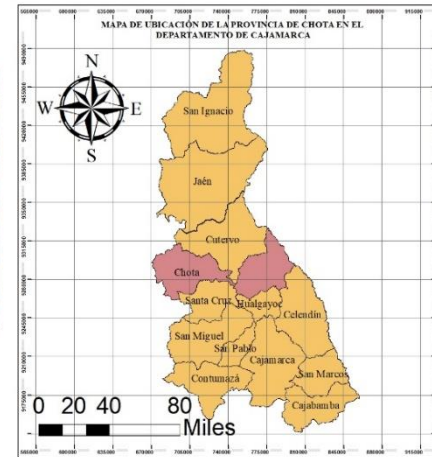


Colpamayo 17M E: 760757 N: 9273959



Cochabamba 17M E: 734651 N: 9283175

	UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE CHOTA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL Y AMBIENTAL MAPA DE UBICACIÓN DE LOS PUNTOS DE MUESTREO
	Elaborado por: Bach. Milagros De Los Angeles Santacruz Corrales
	Escala: 1:300,000
	DATUM: WGS - 84



3.3.3. *Parámetros*

Los indicadores fisicoquímicos determinados directamente en campo correspondieron a la temperatura y al potencial de hidrógeno (pH), para lo cual se utilizó un equipo multiparámetro modelo HI 9829 de Hanna Instruments. Por su parte, la cuantificación de la DBO₅, la DQO y los coliformes termotolerantes (CTt) se llevó a cabo en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, conforme a procedimientos analíticos estandarizados de reconocimiento internacional.

La DBO₅ se determinó mediante el ensayo de incubación por un período de cinco días, conforme a los procedimientos descritos en los *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 24^a edición (APHA, AWWA y WEF, 2023). La DQO fue cuantificada utilizando el método de reflujo cerrado con determinación colorimétrica. Por su parte, los coliformes termotolerantes se analizaron mediante la técnica de fermentación en tubos múltiples correspondiente al grupo coliforme, las evaluaciones se realizaron tanto en el afluente (agua residual no tratada) como en el efluente (agua residual tratada) procedente de los biodigestores, con la finalidad de evaluar el desempeño del sistema en la reducción de la carga contaminante.

Las muestras fueron recolectadas siguiendo procedimientos establecidos para garantizar su representatividad y evitar alteraciones en sus características fisicoquímicas y microbiológicas, durante el proceso de muestreo se consideraron aspectos como el uso de recipientes estériles para análisis microbiológicos, la conservación en condiciones de refrigeración y el traslado oportuno al laboratorio dentro de los tiempos máximos recomendados, asegurando así la confiabilidad de los resultados obtenidos.

Posteriormente, los datos generados en laboratorio fueron sistematizados y organizados para su análisis comparativo entre afluente y efluente, a partir de las concentraciones

registradas se calculó el porcentaje de remoción de cada parámetro evaluado, lo que permitió estimar el desempeño de los biodigestores bajo las condiciones operativas existentes y contrastar los resultados con los estándares establecidos en la normativa ambiental vigente.

3.3.4. Frecuencia de monitoreo

Las muestras fueron recolectadas durante 4 meses (marzo, junio, octubre y noviembre del 2024) tanto en el afluente como en el efluente del biodigestor.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

El universo de estudio estuvo conformado por el conjunto completo de biodigestores instalados en Unidades Básicas de Saneamiento con arrastre hidráulico, localizados en los centros poblados de El Paraíso, Colpamayó y Cochabamba, pertenecientes a la provincia de Chota.

3.4.2. Muestra

La muestra fueron 3 biodigestores instalados en tres altitudes diferentes en la provincia de Chota, en las localidades de El Paraíso (2963 m s. n. m.), Colpamayo (2345 m s. n. m.) y Cochabamba (1704 m s. n. m.). Para la selección de los biodigestores se basó en las aquellas viviendas con 5 habitantes permanentes. Se recolectaron 24 muestras durante un período de 4 meses en el afluente y efluente de los biodigestores.

3.4.3. Muestreo

Fue no probabilístico, este tipo de muestreo se realiza siguiendo criterios establecidos por expertos. El principal objetivo de su uso es obtener una muestra representativa y usarse para el análisis (los parámetros especificados) e indique un buen desempeño en términos de

eliminación de contaminantes (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2013).

El muestreo se realizó en tres puntos representativos del distrito y provincia de Chota: El Paraíso, Colpamayo y Cochabamba. Estos puntos fueron seleccionados considerando criterios de accesibilidad, representatividad del área de estudio.

La obtención de muestras se efectuó siguiendo procedimientos básicos de control de calidad, utilizando frascos limpios y estériles adecuados para análisis fisicoquímicos y microbiológicos. Durante el trabajo de campo, las muestras fueron rotuladas inmediatamente después de su recolección, consignando información relevante como código de muestra, nombre del punto de muestreo, fecha y hora de toma, garantizando así la correcta identificación y trazabilidad mediante un adecuado control de cadena de custodia.

Los parámetros temperatura y pH fueron medidos directamente en campo (in situ) mediante equipos portátiles previamente calibrados, con la finalidad de obtener valores representativos de las condiciones reales del agua al momento del muestreo. Posteriormente, las muestras fueron transportadas bajo condiciones adecuadas de conservación hasta el Laboratorio Regional del Agua, donde se realizó el análisis de los parámetros (DBO₅), (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTt), empleando los procedimientos estándar correspondientes.

El proceso de toma de muestras, así como su preservación, almacenamiento y traslado, se realizó siguiendo las disposiciones técnicas establecidas en el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las (PTAR), aprobado mediante Resolución Ministerial N.º 273-2013-VIVIENDA, de esta manera, se garantizó que las muestras fueran manipuladas bajo criterios estandarizados, asegurando su integridad y confiabilidad para los análisis posteriores en laboratorio.

Tabla 6

Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra (l)	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Fisicoquímico				
Temperatura	P, V	1000 mL	15 min
pH		50 mL	15 min
DBO₅	P, V	1000 mL	Refrigerar a 4°C Analizar lo más pronto posible o	48 horas
DQO	P, V	1000 mL	agregar H ₂ SO ₄ hasta pH < 2; refrigerar a 4°C	28 días
Microbiológico				
Coliformes T. (NMP)	V, esterilizado	250 mL	Refrigerar a 4°C Agregar tiosulfato en plantas con cloración	6 Horas

Nota. P = frasco de plástico, V = frasco de vidrio

Nota. MVCS, (2013).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Entre los instrumentos tenemos

Ficha de registro: Se empleó para consignar de manera sistemática la hora, fecha y las concentraciones de los parámetros evaluados durante el monitoreo, este instrumento permitió organizar la información obtenida tanto en campo como en laboratorio, garantizando la trazabilidad y el orden cronológico de los datos recolectado, facilitó la posterior sistematización

y procesamiento estadístico de la información, reduciendo el riesgo de errores de transcripción y asegurando la consistencia en el registro de resultados.

Cadena de custodia: Este instrumento se utilizó para documentar la ubicación georreferenciada de los puntos de monitoreo, así como la fecha y hora de recolección de las muestras que fueron remitidas a Cajamarca para su análisis, la cadena de custodia permitió mantener el control y seguimiento del traslado de las muestras, asegurando su integridad, correcta identificación y conservación durante el proceso de envío y recepción. Además, constituye un respaldo formal que valida la autenticidad de las muestras analizadas y la seguridad de los resultados obtenidos en el informe de ensayo.

Así mismo el multiparámetro HANNA HI 9829 y GPS.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se realizó mediante los programas estadísticos Microsoft Excel 2021 y Sisvar 5.6; se empleó estadística descriptiva y se realizó tablas, gráficos de los resultados. Se realizaron pruebas de normalidad y análisis de varianza (ANOVA) para las variables en estudio.

3.7. Cálculo de la eficiencia de remoción de los biodigestores

Para establecer la eficiencia de remoción en los biodigestores se calculó el % de eficiencias para cada uno de los parámetros observados con la siguiente fórmula (Cubillos et al., 2018):

$$E_R = \left(\frac{\text{Afluente} - \text{Efluente}}{\text{Afluente}} \right) * 100$$

Donde:

Er: Eficiencia de remoción

Afluente: carga según parámetro al ingreso

Efluente: carga según parámetro a la salida

3.8. Aspectos éticos

Durante la ejecución de la investigación se contemplaron principios éticos fundamentales que orientaron el manejo garante de la información y el progreso del estudio:

Confidencialidad: La identidad y los datos proporcionados por los usuarios de las viviendas donde se efectuó el muestreo fueron protegidos en todo momento, garantizando que no se divulgaría información personal sin la autorización correspondiente, los datos obtenidos fueron utilizados exclusivamente con fines académicos y científicos, evitando cualquier uso indebido o ajeno a los objetivos de la investigación.

De igual manera, se aseguró que los registros y resultados generados fueran almacenados de forma segura, restringiendo el acceso únicamente al equipo investigador, esto permitió salvaguardar la privacidad de los participantes y mantener la integridad de la pesquisa recopilada durante el trabajo de campo.

Originalidad: Los contenidos desarrollados en la presente investigación corresponden a producción propia, sustentada en datos obtenidos directamente en campo y respaldada por fuentes bibliográficas confiables y actualizadas, el trabajo se elaboró respetando las normas académicas vigentes y los criterios de citación establecidos, evitando la reproducción indebida de información.

Además, se garantizó el adecuado reconocimiento de autores y documentos consultados mediante el uso correcto de referencias, contribuyendo así a la transparencia académica y al respeto por la propiedad intelectual, este compromiso refuerza la credibilidad del estudio y su aporte científico.

CAPÍTULO IV. Resultados y Discusión

4.1. Resultados

4.1.1. Análisis de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos en 3 altitudes

4.1.1.1. Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C)

En la Tabla 7 se presentan los valores de temperatura del afluente de aguas residuales domesticas de los biodigestores en las tres localidades de estudio ubicadas a diferentes altitudes. Se observa una tendencia clara al incremento de la temperatura conforme disminuye la altitud. Los valores registrados en El Paraíso (2963 m s. n. m.) oscilaron entre 11.0 y 15.0 °C, en Colpamayo (1704 m s. n. m.) entre 15.3 y 18.7 °C, y en Cochabamba (1345 m s. n. m.) entre 20.2 y 22.0 °C, evidenciando que las zonas de menor altitud presentan mayores temperaturas en el afluente.

Tabla 7

Temperatura del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes

	El Paraíso	Colpamayo	Cochabamba
Afluente	15.0	18.7	22.0
	11.0	15.3	21.1
	13.9	17.1	20.2
	14.9	18.4	20.3

En la Tabla 8 se presenta el ANAVA para la temperatura en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento, donde se evidencia que hubo efectos significativos al ($p \leq 0.05$) del factor altitud (m s. n. m.). Resultados similares fueron reportados por Goicochea (2022), quien concluye que a menores altitudes los biodigestores presentan mejores condiciones térmicas, incrementando su eficiencia operativa.

Por tanto, las diferencias significativas encontradas en este estudio confirman que la altitud condiciona la temperatura del efluente y, de manera indirecta, el rendimiento del biodigestor.

Tabla 8

ANOVA para la variable temperatura en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.

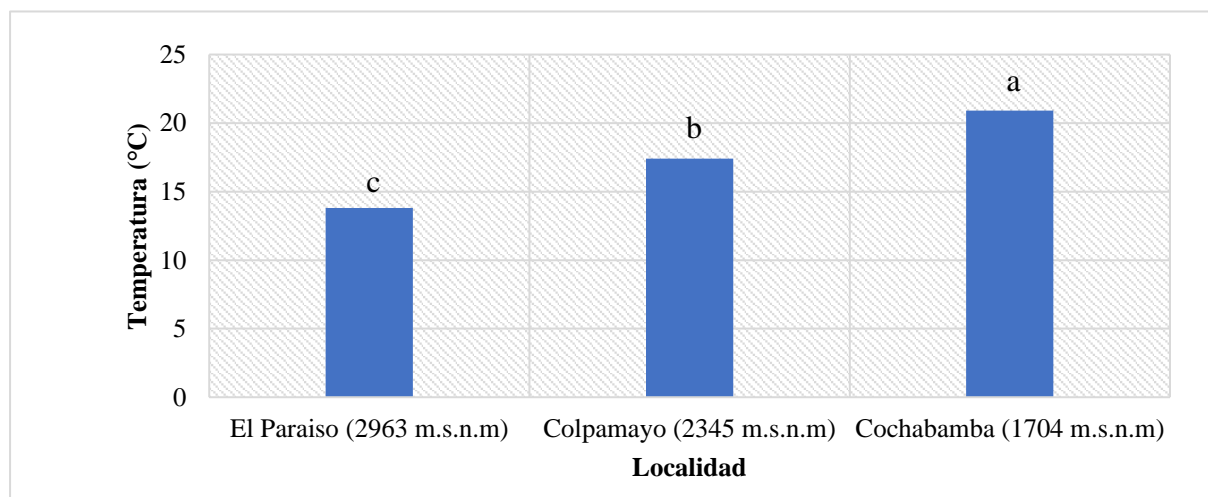
FV	GL	SC	CM	Fc	Pv
Altitud	2	100.8	50.4*	28.2	0.0001
Error	9	16.1	1.8		
CV			7.7		

* significativo al 5% de probabilidad según la prueba de F.

Nota. FV: Fuente de Variación, GL: Grados de Libertad, SC: Suma de Cuadrados, CM: Cuadrados medios, Fc: valor F, Pv: valor P, CV: Coeficiente de Variación

Figura 3

Medias de temperatura (°C) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento



Letras iguales en las barras no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En la Figura 3 se observa que a medida que fue disminuyendo la altitud de muestreo, la temperatura del agua tratada del efluente de biodigestores fue aumentando generando

diferencias estadísticas significativas. De este modo, la máxima temperatura fue de 21.7 °C, registrado a 1704 m s. n. m. en Cochabamba, y la mínima de 11.4 °C en la localidad de El Paraíso a 2963 m s. n. m.

4.1.1.2. Análisis de varianza (ANOVA) para el potencial de hidrógeno (pH)

En la Tabla 9 se presentan los valores de pH del afluente de aguas residuales domésticas de los biodigestores en las tres localidades de estudio ubicadas a diferentes altitudes. Se observa que los valores de pH fueron relativamente similares entre zonas, con registros que oscilaron entre 7.5 y 8.0 en El Paraíso (2963 m s. n. m.), entre 6.8 y 7.7 en Colpamayo (1704 m s. n. m.) y entre 7.2 y 8.0 en Cochabamba (1345 m s. n. m.), evidenciando valores cercanos a la neutralidad con ligera tendencia a alcalinidad.

Tabla 9

pH del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes

	El Paraíso	Colpamayo	Cochabamba
Afluente	7.5	7.7	7.9
	7.6	6.8	7.2
	7.8	7.7	8
	8	6.9	7.8

En la Tabla 10 se muestra en ANAVA para el pH en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento, así fue verificado que no hubo efectos significativos al ($p \leq 0.05$) del factor altitud (m s. n. m.). Estos resultados coinciden con lo reportado por Ajahuana et al. (2008) y Cayllahua (2024), quienes no encontraron diferencias significativas de pH en biodigestores ubicados en distintas condiciones geográficas. En consecuencia, se puede afirmar que la altitud no ejerce una influencia directa sobre el pH del efluente, siempre que el sistema mantenga una adecuada estabilidad operativa.

Tabla 10

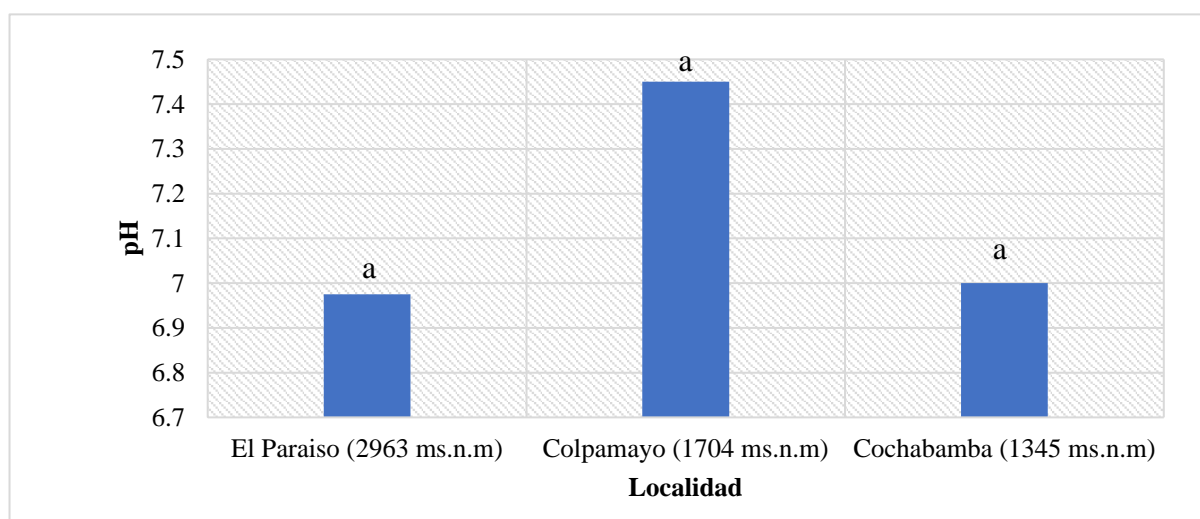
ANOVA para la variable potencial de hidrogeno (pH) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.

FV	GL	SC	CM	Fc	Pv
Altitud	2	0.57	0.29	2.87	0.109
Error	9	0.90	0.10		
CV			4.42		

* significativo al 5% de probabilidad según la prueba de F.

Figura 4

Medias de potencial de hidrogeno (pH) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento



Letras iguales en las barras no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

En la Figura 4 se observa que a diferentes altitudes de muestro, el pH del agua tratada presenta un comportamiento similar, no generando diferencias estadísticas significativas. De este modo, el máximo pH fue de 8.1, registrado a 2345 m s. n. m. en Colpamayo, y el mínimo de 6.7 en la localidad de El Paraíso a 2963 m s. n. m.

4.1.1.3. Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda química de oxígeno (DQO)

En la Tabla 11 se presentan los valores de Demanda Química de Oxígeno (DQO) del afluente de aguas residuales domésticas de los biodigestores en las tres localidades de estudio ubicadas a diferentes altitudes. Se observan diferencias notorias entre zonas, con concentraciones más bajas en El Paraíso (2963 m s. n. m.), cuyos valores oscilaron entre 227.7 y 721.4 mg/L, valores intermedios en Colpamayo (1704 m s. n. m.) entre 697.8 y 1259.3 mg/L, y las concentraciones más altas en Cochabamba (1345 m s. n. m.) con registros entre 810.5 y 2125.0 mg/L, evidenciando un incremento de la carga orgánica a menor altitud.

Tabla 11

DQO del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes

	El Paraíso	Colpamayo	Cochabamba
Afluente	278.4	697.8	810.5
	227.7	930.9	1873.7
	409.2	1259.3	1603.1
	721.4	835.7	2125.0

En la Tabla 12 se presenta el análisis de varianza para la demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento, donde se evidencia que hubo efectos significativos al ($p \leq 0.05$) del factor altitud (m s. n. m.). Los resultados concuerdan con Cubillos et al. (2018) y Mego (2023), quienes reportaron mayores porcentajes de remoción de DQO en biodigestores ubicados en zonas de menor altitud. Por tanto, las diferencias significativas encontradas confirman que la altitud, a través de la temperatura, condiciona el desempeño del biodigestor en la remoción de la DQO.

Tabla 12

ANOVA para la variable demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.

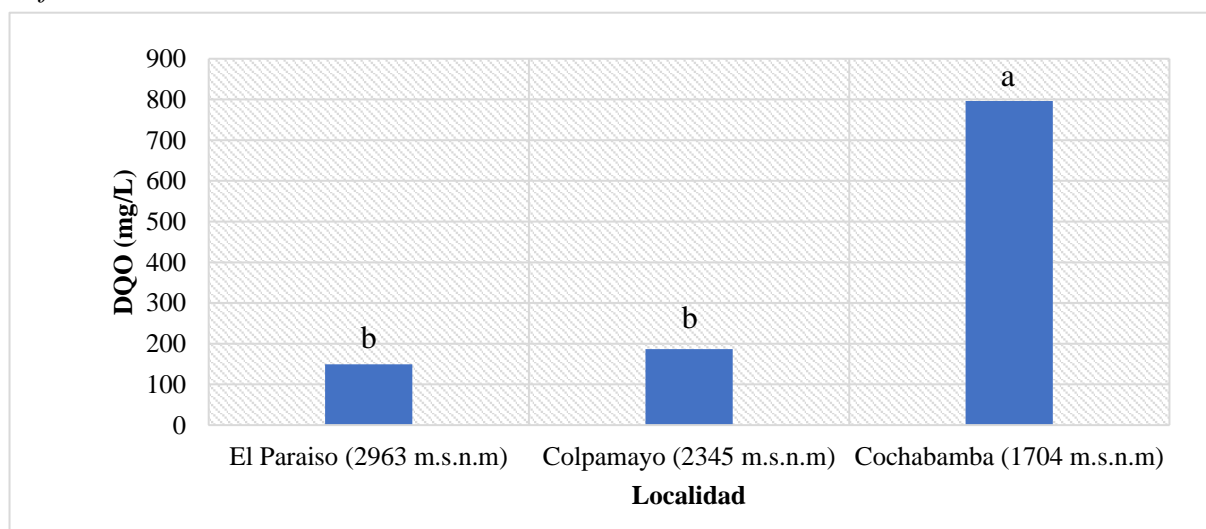
FV	GL	SC	CM	Fc	Pv
Altitud	2	1054448.04	527224.02*	51.82	0.000
Error	9	91570.61	10174.51		
CV			26.72		

* significativo al 5% de probabilidad según la prueba de F.

En la Figura 5 se observa el comportamiento de la DQO, donde las medias determinadas indican que no existe diferencias significativas entre las localidades de El Paraíso y Colpamayo, sin embargo, estas si presentan diferencias significativas en comparación con Cochabamba respecto a la remoción de la DQO. De este modo, la máxima concentración de DQO fue de 982.1 mg/L, registrado a 1704 m s. n. m. en Cochabamba, y el mínimo de 125.1 mg/L en la localidad de Colpamayo a 2345 m s. n. m. presentando un porcentaje de remoción promedio de 79% y 41% respectivamente.

Figura 5

Medias de la demanda química de oxígeno (DQO) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento



Letras iguales en las barras no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.1.1.4. Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

En la Tabla 13 se presentan los valores de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) del afluente del agua residual doméstica de los biodigestores en las tres localidades de estudio ubicadas a diferentes altitudes. Se observan diferencias entre zonas, con valores más bajos en El Paraíso (2963 m s. n. m.), donde las concentraciones oscilaron entre 103.6 y 348.0 mg/L, valores intermedios en Colpamayo (1704 m s. n. m.) entre 309.0 y 552.0 mg/L, y las concentraciones más altas en Cochabamba (1345 m s. n. m.) con registros entre 327.0 y 863.5 mg/L, lo que evidencia una mayor carga orgánica en la localidad de menor altitud.

Tabla 13

DBO₅ del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes

	El Paraíso	Colpamayo	Cochabamba
Afluente	114.0	309.0	327.0
	103.6	532.0	748.2
	188.5	552.0	646.2
	348.0	361.3	863.5

En la Tabla 14 se presenta el análisis de varianza para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento, así se evidencia que hubo efectos simples significativos al ($p \leq 0.05$) del factor altitud (m s. n. m.).

Tabla 14

ANOVA para la variable demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento.

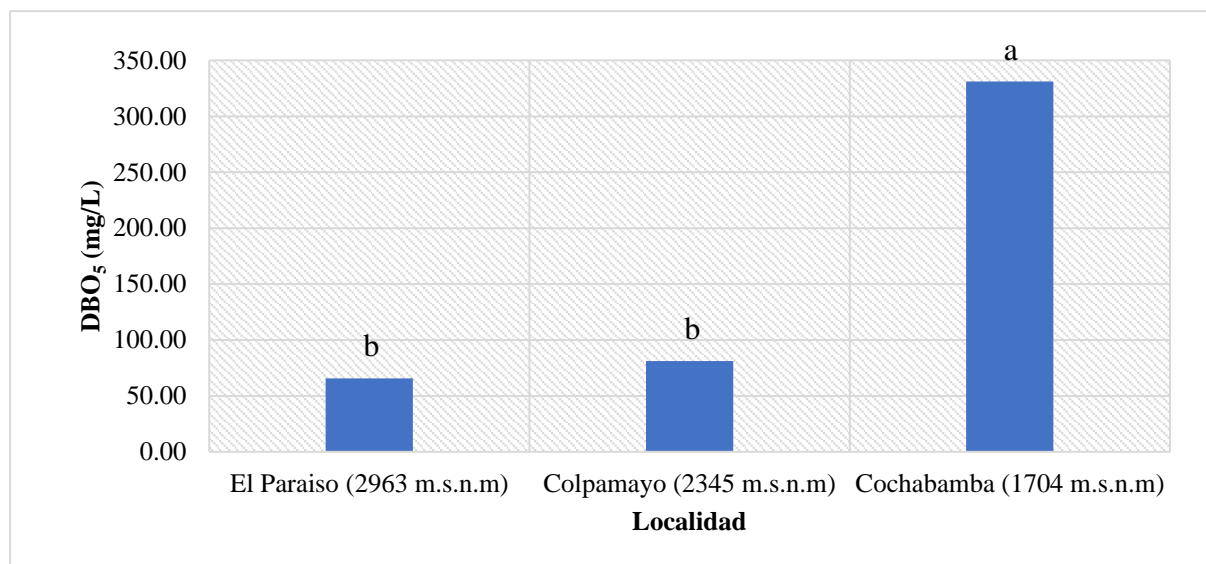
FV	GL	SC	CM	Fc	Pv
Altitud	2	177744.38	88872.19*	43.397	0.00
Error	9	18430.96	2047.88		
CV			28.41		

* significativo al 5% de probabilidad según la prueba de F.

En la Figura 6 se observa el comportamiento de la DBO₅, donde las medias determinadas muestran que no existe diferencias significativas entre las localidades de El Paraíso y Colpamayo, sin embargo, estas si presentan diferencias significativas en comparación con la localidad de Cochabamba respecto a la remoción de DBO₅. De este modo, la máxima DBO₅ fue de 412.6 mg/L, registrado a 1704 m s. n. m. en la localidad de Cochabamba, y el mínimo de 44.8 mg/L en la localidad de El Paraíso a 2963 m s. n. m., presentando un porcentaje de remoción promedio de 41% y 56% respectivamente. Si bien las temperaturas más altas suelen favorecer la degradación biológica, autores como Burga (2019) indican que variaciones en la carga orgánica inicial pueden explicar diferencias en los porcentajes de remoción. En este sentido, los resultados obtenidos sugieren que la altitud influye indirectamente en la DBO₅, no solo por la temperatura, sino también por las características propias del afluente en cada localidad.

Figura 6

Medias de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento



Letras iguales en las barras no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.1.1.5. Análisis de varianza (ANOVA) para la coliformes termotolerantes (CTt)

En la Tabla 15 se presentan los valores de coliformes termotolerantes (CTt) del afluente del agua residual doméstica de biodigestores en las tres localidades de estudio ubicadas a diferentes altitudes. Se observan diferencias entre zonas, registrándose las mayores concentraciones en El Paraíso (2963 m s. n. m.), con valores entre 492×10^5 y 7×10^7 NMP/100 mL, seguido de Colpamayo (1704 m s. n. m.) con concentraciones entre 278×10^5 y 4×10^7 NMP/100 mL, y las menores concentraciones en Cochabamba (1345 m s. n. m.), cuyos valores oscilaron entre 16975×10^4 y 19×10^7 NMP/100 mL.

Tabla 15*CTt del afluente en biodigestores ubicados a diferentes altitudes*

	El Paraíso	Colpamayo	Cochabamba
Afluente	54 x 10 ⁶	31 x 10 ⁶	19 x 10 ⁷
	492 x 10 ⁵	278 x 10 ⁵	16975 x 10 ⁴
	7 x 10 ⁷	4 x 10 ⁷	18 x 10 ⁷
	55 x 10 ⁶	29 x 10 ⁶	174 x 10 ⁶

En la Tabla 16 se presenta el ANAVA para los coliformes termotolerantes (CTt) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento, donde se evidencia que hubo efectos simples significativos al ($p \leq 0.05$) del factor altitud (m s. n. m.).

Tabla 16

ANOVA para la variable coliformes termotolerantes (CTt) en el efluente de aguas residuales en biodigestores en función de diferentes altitudes de tratamiento

FV	GL	SC	CM	Fc	Pv
Altitud	2	5.920738958E+0015	2.96036948E+0015*	72.103	0.00
Error	9	3.695188417E+0014	4.10576491E+0013		
CV			34.75		

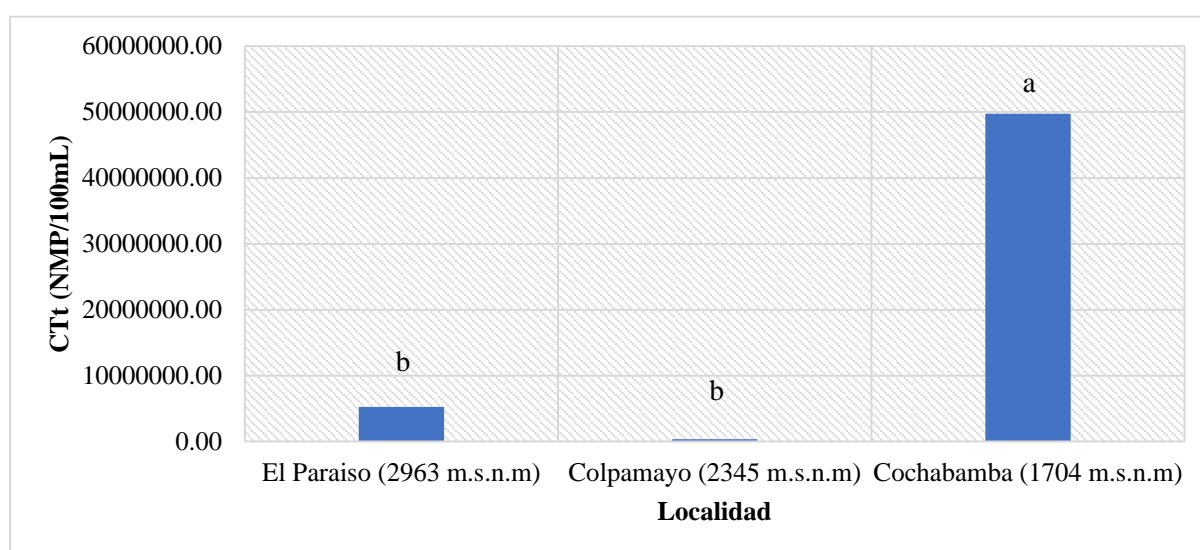
* significativo al 5% de probabilidad según la prueba de F.

En la Figura 7 se observa el comportamiento de los CTt, donde las medias determinadas muestran que no existe diferencias significativas entre las localidades de El Paraíso y Colpamayo, sin embargo, estas si presentan diferencias significativas en comparación con la localidad de Cochabamba respecto a la remoción de CTt. De este modo, el NMP más alto de CTt fue de 64×10^6 NMP/100mL, registrado a 1704 m s. n. m. en la localidad de Cochabamba, y el NMP mínimo de 27×10^4 NMP/100mL en la localidad de Colpamayo a 2345 m s. n. m., presentando un porcentaje de remoción promedio de 64.4% y 99% respectivamente. Burga

(2019) señala que hay una relación directa entre la DBO₅ y la concentración de coliformes, ya que ambos dependen de la carga orgánica del sistema. En ese sentido, los resultados obtenidos confirman que la altitud influye significativamente en la remoción de CTt, siendo un factor clave para evaluar el riesgo sanitario del efluente tratado.

Figura 7

Medias de los coliformes termotolerantes (CTt) en el efluente de biodigestores en diferentes altitudes de tratamiento



Letras iguales en las barras no difieren estadísticamente por la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.1.2. Comportamiento y eficiencia de remoción de los parámetros físicos y químicos

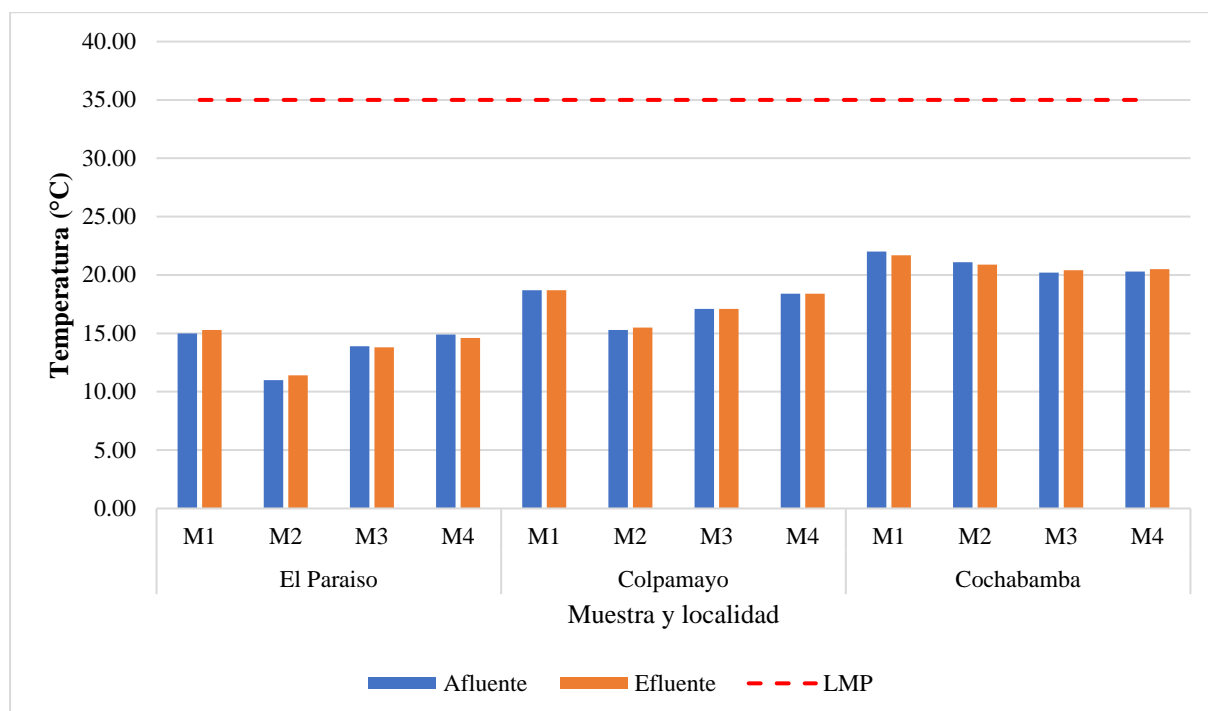
4.1.2.1. Comportamiento de la temperatura (°C)

De manera general, el comportamiento de la temperatura, durante los 4 monitoreos realizados en el afluente y efluente de los biodigestores, fueron de frías a ligeramente cálidas, oscila entre 11 °C y 22 °C como se muestra en la Figura 8, demostrando que en los tres puntos de muestreo se presentó comportamientos diferentes. Por su parte Lorenzo y Obaya, (2005) mencionan que la temperatura es un factor importante ya que influye en la eficiencia de los

tratamientos anaerobios y que esta disminuye cuando la temperatura es menor a 15 °C y por ello es importante que estos procesos se implementen en lugares con clima cálido ya que acelera la descomposición de materia orgánica.

Figura 8

Comportamiento de la temperatura durante el monitoreo del efluente en los biodigestores.



Según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece una temperatura <math>< 35\text{ }^{\circ}\text{C}</math> (línea punteada de color rojo) para la descarga de efluentes de una planta de tratamiento de aguas residuales, este valor involucra a los resultados obtenidos en las tres localidades de monitoreo durante las 4 muestras. El promedio de la temperatura tanto del afluente como del efluente en las localidades del Colpamayo y Cochabamba se encuentra sobre la temperatura mencionada por Lorenzo y Obaya, (2005) esto indica presenta condiciones óptimas para el tratamiento anaerobio.

Por otro lado, en la localidad de El Paraíso se reportaron las temperaturas promedio más bajas, siendo en el afluente de 13.7 °C y efluente de 13.8 °C, estos resultados coinciden con Cayllahua, (2024) quien obtuvo una temperatura de 13.73 °C en el afluente y aumento a 14 °C en el efluente e indica que el tratamiento funciona adecuadamente. Similares resultados obtuvieron Mego, (2023) en el efluente del biodigestor cuya temperatura mínima y máxima fue de 16.2 °C y 17.3 °C respectivamente.

El comportamiento de la temperatura durante el monitoreo de los biodigestores mostró variaciones evidentes en función de la altitud. En la tesis desarrollada por Goicochea (2022), reportó en sus resultados que los valores obtenidos en el efluente de los biodigestores se encontraron en un rango de 12.0 °C y 24.1 °C en sistemas de tratamiento similares e indicó que la temperatura del biodigestor y la altitud influyen en la eficiencia de tratamiento del agua residual doméstica.

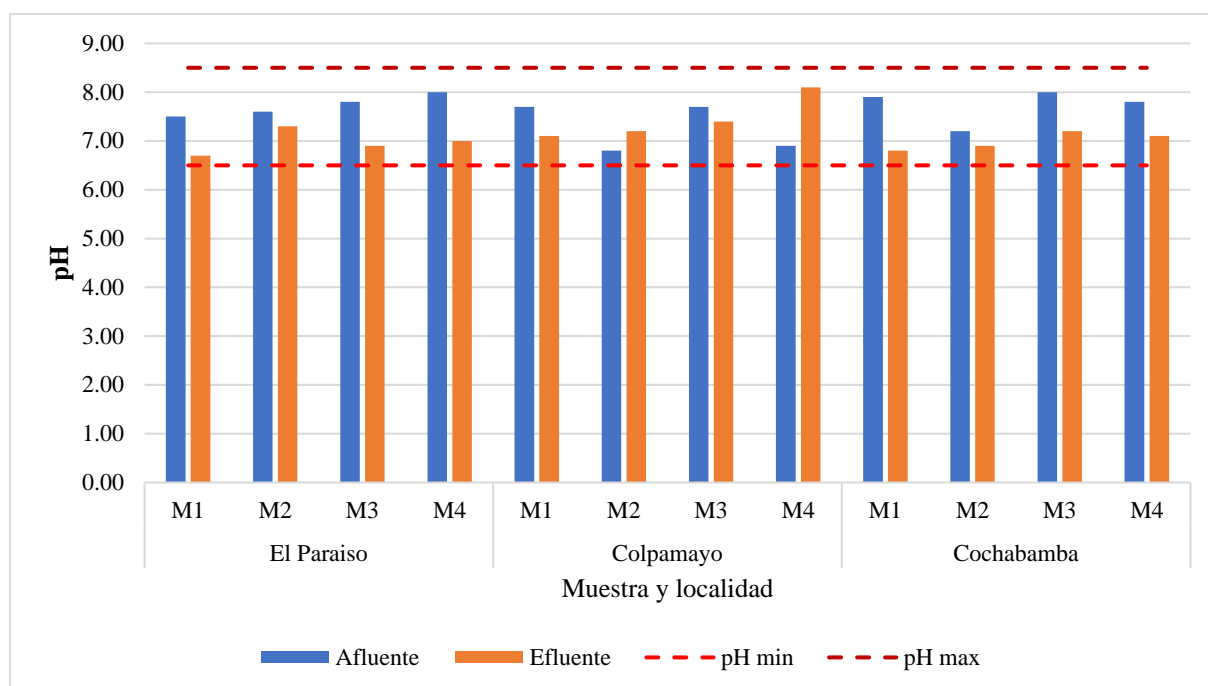
4.1.2.2. Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH)

La dinámica del pH registrada durante las cuatro campañas de monitoreo efectuadas tanto en el ingreso como en la salida de los biodigestores mostró valores que fluctuaron desde condiciones levemente ácidas hasta ligeramente alcalinas, los registros se situaron en un rango aproximado de 6,7 a 8,1, tal como se aprecia en la Figura 9, evidenciando un patrón relativamente uniforme en los tres puntos evaluados.

De acuerdo con Lorenzo y Obaya (2005), el pH constituye un parámetro determinante en los procesos de depuración de aguas residuales, ya que la actividad metabólica de los microorganismos ocurre dentro de límites específicos considerados óptimos, generalmente entre 6,5 y 8,5. Cuando el efluente presenta valores fuera de estos márgenes, pueden generarse alteraciones en la eficiencia del tratamiento biológico, afectando la estabilidad del sistema y reduciendo la capacidad de degradación de la materia orgánica.

Figura 9

Comportamiento del potencial de hidrogeno (pH) durante el monitoreo del efluente en los biodigestores.



En tal sentido el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece un pH entre 6.5 y 8.5 (línea punteada de color rojo) para la descarga de efluentes de una PTAR, estos valores involucran a los resultados obtenidos en las tres localidades de monitoreo durante las 4 muestras realizadas, cuyos valores son favorables para la actividad microbiana. Dichos resultados coinciden con Osorio et al., (2020), ellos sostienen que para el adecuado desempeño del sistema anaerobio el pH, para una eficiente estabilización de la materia orgánica debe estar entre 6 a 8.

Por otro lado, se puede observar que en la localidad de Cochabamba el afluente fue ligeramente alcalino 7.7, disminuyendo en el efluente a 7, este cambio puede estar influenciado por las variaciones de temperatura. En tal sentido Luostarinen, (2005), indica que durante la etapa fermentativa se produce ácidos grasos, lo que provoca la reducción del pH en el fluido

de digestión. Posteriormente, como resultado de la degradación de proteínas y la reducción de nitratos, se forma amoníaco (NH_3), compuesto de naturaleza básica que contribuye a neutralizar los ácidos presentes y presenta alta solubilidad en agua. Una vez que la causa alcanza condiciones de estabilidad, el pH del biodigestor se sitúa en un rango levemente básico, entre 7 – 7.2.

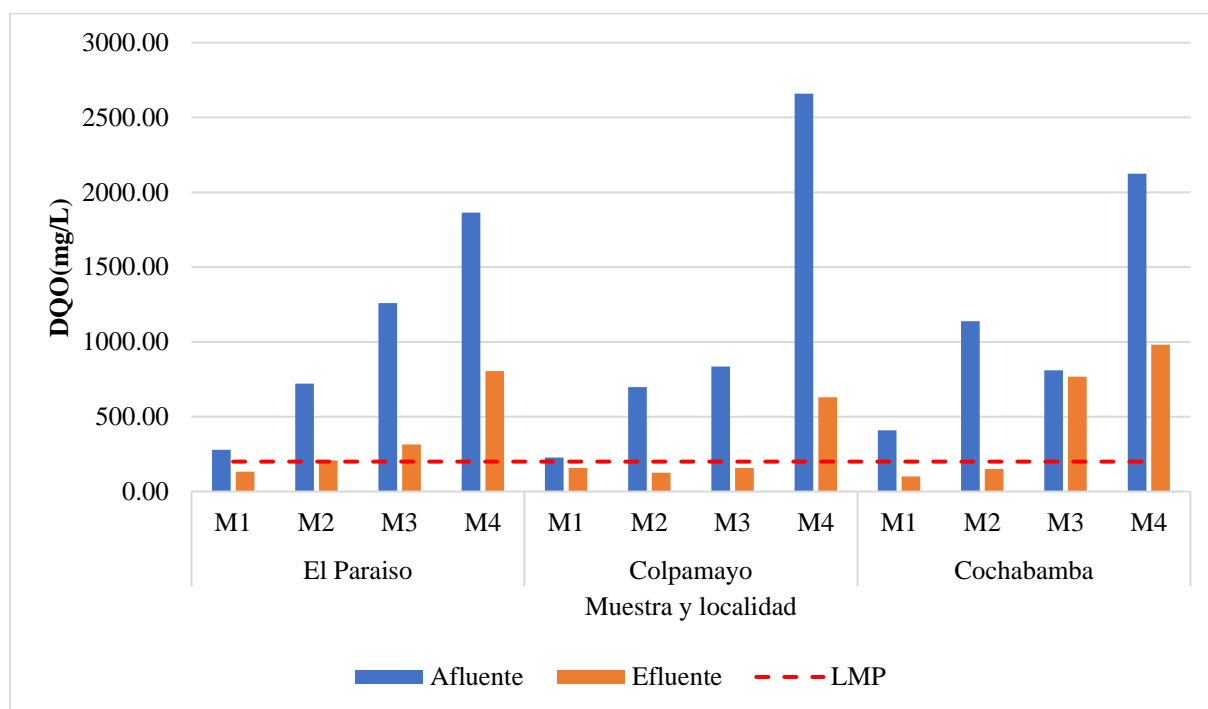
En un estudio realizado por Goicochea, (2022) determino que a mayor altitud (3135 m s. n. m.) el promedio del pH del afluente y efluente fue de 8.6 y 7.5, presentó valores más altos que a menor altitud (2645 m s. n. m.) siendo 8.2 y 7.2. Resultados similares fueron reportados por Ajahuana et al. (2008), quienes observaron una ligera disminución del pH de 7.0 a 6.8 a la salida del biodigestor. Asimismo, Cubillos et al. (2018) indicaron valores entre 7.3 y 8.21 en el afluente y entre 6.5 y 6.99 en el efluente. En el presente estudio, el comportamiento del pH fue congruente con estas referencias, sugiriendo que los biodigestores evaluados logran mantener condiciones estables, lo cual es favorable para la actividad microbiana anaerobia que requiere de un rango de pH neutro a ligeramente ácido para su óptimo funcionamiento.

4.1.2.3. Comportamiento y eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

El comportamiento de los valores de la DQO, durante los 4 monitoreos realizados en el afluente y efluente de los biodigestores, oscilaron entre 101.4 mg/L y 2658.6 mg/L como se muestra en la Figura 10, demostrando que en los tres puntos de muestreo se presentó comportamientos diferentes. Este comportamiento nos permite evaluar la cantidad de oxígeno que es necesario para la oxidación de la materia orgánica (biodegradable y no biodegradable) en el agua residual y por ello es una medida de la contaminación orgánica del efluente (Mejía y Pérez, 2015), además puede oxidar ciertas sustancias inorgánicas que se encuentran en el agua residual (Muñoz et al., 2000).

Figura 10

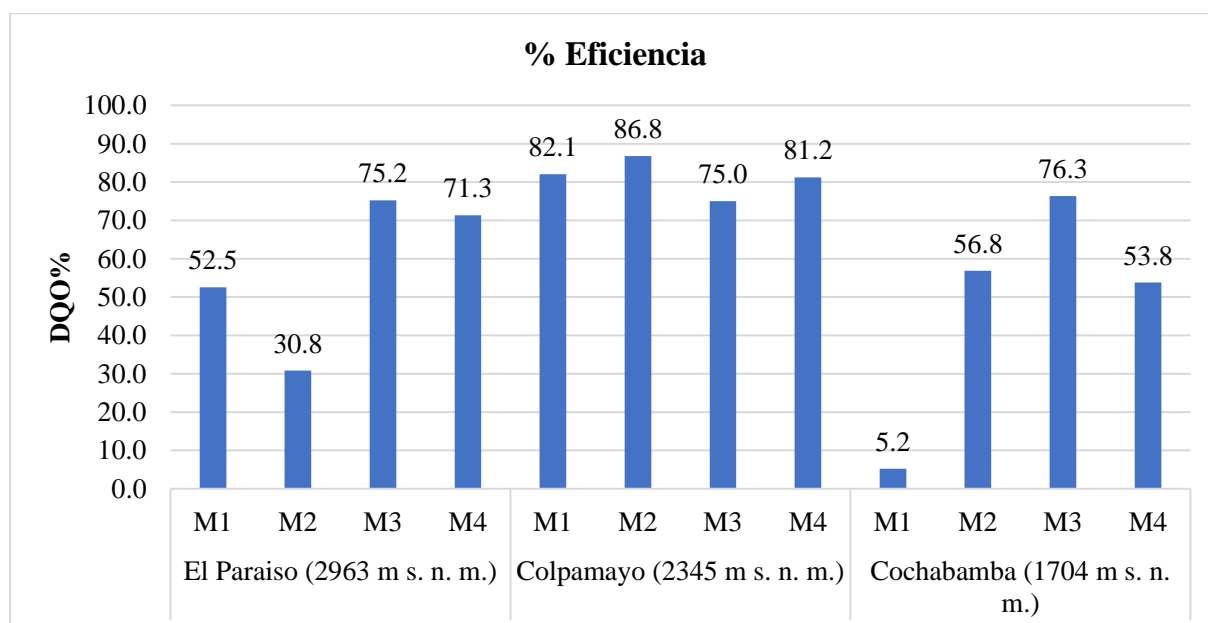
Comportamiento de la DQO después del tratamiento en los biodigestores.



Según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece una DQO < 200 mg/L (línea punteada de color rojo) para la descarga de efluentes de una PTAR. En cumplimiento a la normatividad se puede observar en la Figura 10, que en la localidad de El Paraíso los valores superaron el valor máximo establecido en los 3 muestreos realizados y solo en la M1 estuvo por debajo del rango, del mismo modo en la localidad de Cochabamba en el M3 y M4 y Colpamayo en el M4. Dichos resultados coinciden con la investigación realizada por Cayllahua, (2024) indicando que la DQO no cumplió con los límites máximos permisibles establecidos en la norma.

Figura 11

Eficiencia de remoción de DQO después del tratamiento en biodigestores.



En términos de rendimiento, como se observa en la Figura 11 la máxima eficiencia de remoción de DQO se logró en la localidad de Colpamayo, con un 86.8% y la mínima en Cochabamba siendo de 5.2%. Estos resultados de eficiencia coinciden con estudios reportados Ligy et al. (2020) (70 – 75%), Domínguez y Rojas, (2019) (73.14%), Cubillos et al. (2018) (88.74%) y Lansing et al. (2008) (84.1%). El comportamiento de las eficiencias puede atribuirse a diferentes condiciones de operación, tales como tiempos de retención hidráulica, variadas cargas orgánicas variables y condiciones de temperatura.

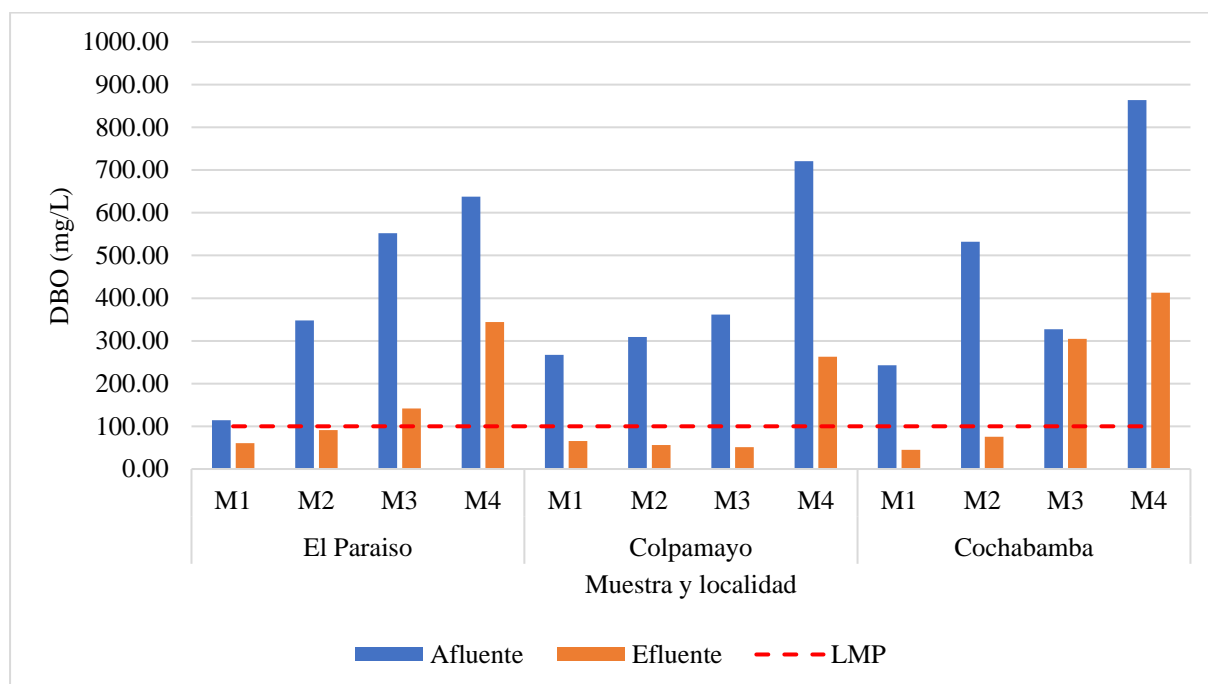
4.1.2.4. Comportamiento y eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

El comportamiento de los valores de la DBO5 durante los 4 monitoreos realizados en el afluente y efluente de los biodigestores, los valores oscilaron entre 44.8 mg/L y 863.5 mg/L como se muestra en la Figura 12, demostrando que en los tres puntos de muestreo se observó

comportamientos diferentes. Según Mejía y Pérez, (2015) los valores de la DBO₅ representan la cantidad de oxígeno que es necesario para que los microorganismos estabilicen la materia orgánica.

Figura 12

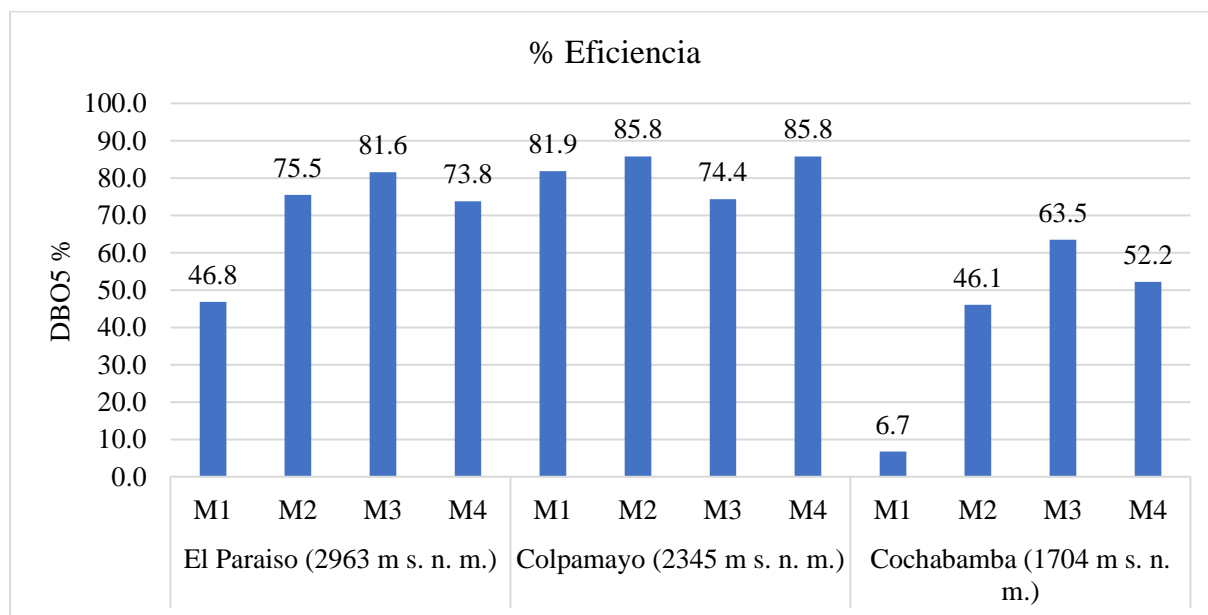
Comportamiento de DBO₅ después del tratamiento en los biodigestores



Según el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece una DBO₅ < 100 mg/L (línea punteada de color rojo) para la descarga de efluentes de una PTAR. En cumplimiento a la normatividad se puede observar en la Figura 12, que en la localidad de Cochabamba y El Paraíso los valores superaron el valor máximo establecido en M3 y M4, del mismo modo en la localidad de Colpamayo en el M4. Estos resultados coinciden con los estudios relocizados por Cayllahua, (2024) cuyos valores supero los LMP de la norma siendo de 113 mg/L.

Figura 13

Eficiencia de remoción de DBO_5 después del tratamiento en los biodigestores



En términos de rendimiento, como se observa en la Figura 13 la máxima eficiencia de remoción se logró en la localidad de Colpamayo con 85.8% y la mínima en Cochabamba siendo de 6.7%.

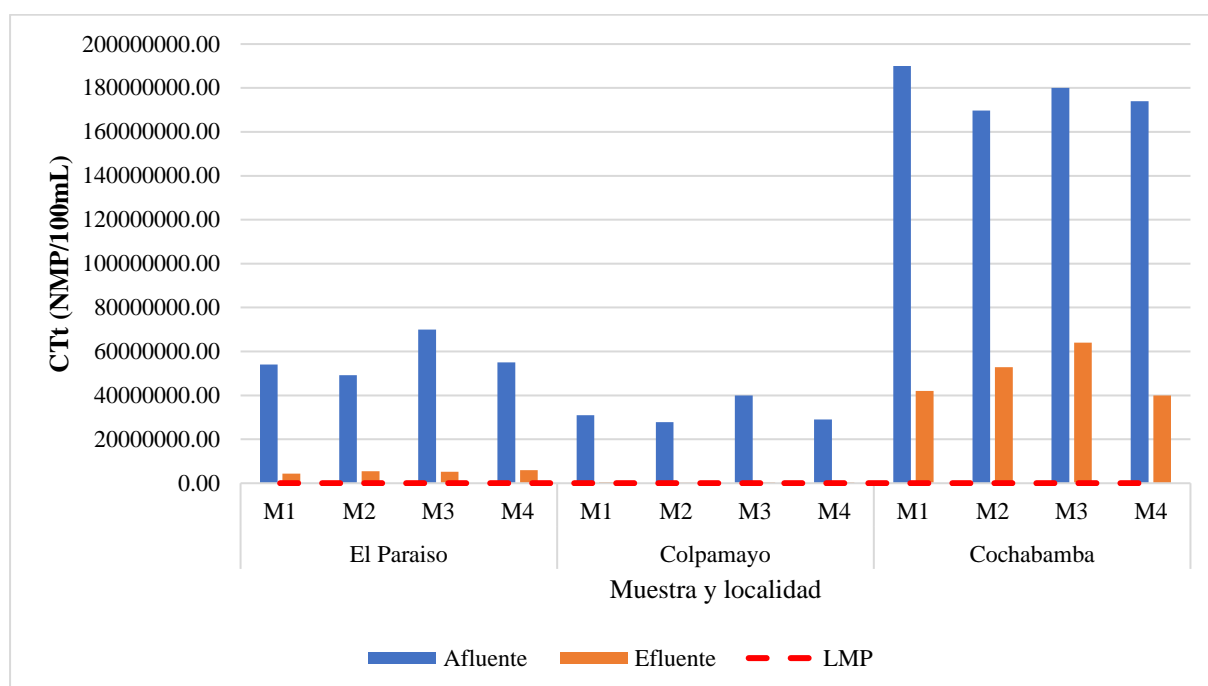
Respecto a la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), los resultados obtenidos en El Paraíso, Cochabamba y Colpamayo mostraron eficiencias promedio de remoción de 69.4%, 42.1% y 82%, respectivamente. Estos valores reflejan una eficiencia inferior en comparación con los estudios de Lansing et al. (2008), quienes reportaron una reducción de 467 mg/L a 96.2 mg/L, equivalente a un 84.1% de remoción. De igual modo, Cubillos et al. (2018) lograron un 84.57% y Ligy et al. (2020) reportaron eficiencias entre 68% y 80% en sistemas anaerobios equipados con deflectores. La diferencia en el rendimiento puede explicarse principalmente por el diseño convencional y limitado de los biodigestores implementados en la zona de estudio, los cuales no incorporan mejoras estructurales ni control operativo avanzado. Además, las condiciones climáticas y altitudinales propias de la región de Chota podrían haber influido negativamente en la actividad microbiana, disminuyendo la eficiencia del proceso anaerobio.

4.1.2.5. Comportamiento y eficiencia de remoción de los coliformes termotolerantes (CTt)

El comportamiento de los valores de los CTt, durante los 4 monitoreos realizados en el afluente y efluente de los biodigestores, oscilaron entre 27×10^4 NMP/100mL y 19×10^7 NMP/100mL como se muestra en la Figura 14, demostrando que en los tres puntos de muestreo se presentó comportamientos diversos. Para la determinación de la calidad del agua es importante conocer la presencia y extensión de la contaminación fecal (Mejía y Perez, 2015).

Figura 14

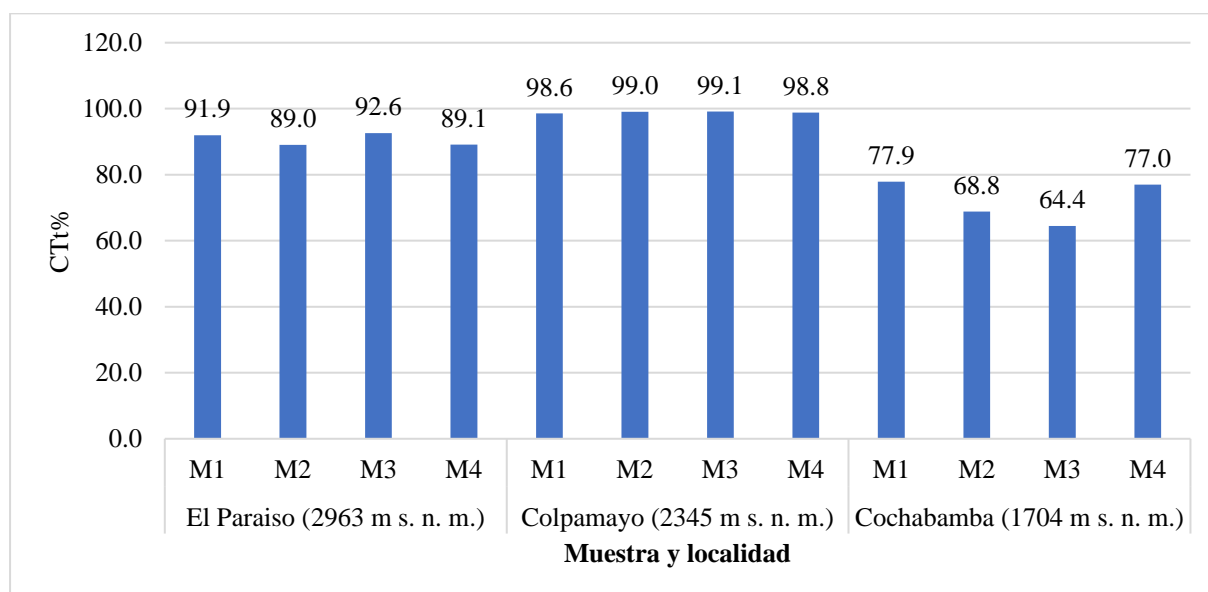
Comportamiento de los CTt después del tratamiento en los biodigestores.



El Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM establece CTt < 10000 NMP (línea punteada de color rojo) para la descarga de efluentes de PTAR. En cumplimiento a la normatividad se puede observar en la Figura 14, que en todas las localidades se superaron el máximo valor establecido en los 4 muestreos realizados.

Figura 15

Eficiencia de remoción de CTt después del tratamiento en los biodigestores



En términos de rendimiento, como se observa en la Figura 15 la máxima eficiencia de remoción se logró en la localidad de Colpamayo, con un 99.1% y la mínima en Cochabamba con un 64.4%. En los resultados obtenidos por Goicochea, (2022) muestra que la mayor eficiencia de remoción se obtuvo en el biodigestor ubicado a 2645 m s. n. m. lo que coincide con lo obtenido en este estudio donde la máxima eficiencia fue a 2345 m s. n. m., esto indica que a estas altitudes intermedias se presentan temperaturas moderadas más estables, lo que favorece la actividad metabólica de los microorganismos anaerobios responsables de la descomposición de la materia orgánica y la reducción de microorganismos patógenos.

En cuanto a la eficiencia de remoción de CTt los resultados obtenidos en El Paraíso, Cochabamba y Colpamayo mostraron eficiencias promedio de remoción de 92.6%, 77.9% y 99.1%, respectivamente. Estos valores coinciden con los obtenidos por Ajahuana et al., (2008) quienes tuvieron eficiencia de remoción de 99% en el caso de coliformes totales, fecales y E. Coli, cuyos valores antes y después del tratamiento fueron de 16×10^4 y 16×10^2 , de la misma manera Ligy et al., (2020) obtuvieron resultados de remoción de 95%, sin embargo, no cumplió

con los LMP. Esto indica que los biodigestores cumplen la función de remoción, pero se necesita otro tipo de tratamiento para que el efluente cumpla con los límites máximos permisibles establecidos. Además, en los estudios realizados por Goicochea, (2022) indica que a menor altitud la remoción de coliformes termotolerantes alcanzaron un 97.62% y al aumentar la altitud el porcentaje de remoción disminuyó considerablemente y solo alcanzó un 35%, esto nos da a conocer que la altitud influye en la eficiencia de remoción.

CAPÍTULO V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

El comportamiento de la temperatura en el efluente del biodigestor estuvo directamente relacionado con la altitud esto afectó directamente la actividad microbiológica del proceso anaerobio, donde las mínimas temperaturas se presentaron a mayor altitud siendo de 13.78 °C en El Paraíso (2963 m s. n. m.), 17.43 °C en Colpamayo (2345 m s. n. m.) y de 20.88 °C en Cochabamba (1704 m s. n. m.) cuyos promedios de pH fueron de 6.98, 7.45 y 7.00 respectivamente.

Las máximas eficiencias de remoción para la DBO₅, DQO y CTt se presentó en la localidad de Colpamayo (2345 m s. n. m.) siendo de 82.0%, 81.3% y 98.9%, y las mínimas en la localidad de Cochabamba (1704 m s. n. m.) registrándose de 42.1%, 48.0% y 72.0% respectivamente, indicando que la altura del biodigestor si influyó en la eficiencia de remoción. Aunque la temperatura influye en la remoción de la DBO₅, en esta investigación no se observó una relación directa, debido a que intervienen otros factores que afectan el desempeño del biodigestor. Entre ellos destacan el tiempo de retención hidráulica, las variaciones en la carga orgánica del afluente, el estado operativo del sistema y la adaptación de los microorganismos. Por ello, la eficiencia de remoción de DBO₅ no depende únicamente de la temperatura, sino del conjunto de condiciones de operación del biodigestor.

Al comparar los resultados con los Límites Máximos Permisibles del Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM, se determinó que ninguna localidad cumplió completamente con la normativa, los parámetros DBO₅ y DQO excedieron los LMP establecidos, además los coliformes termotolerantes el parámetro más crítico al superar el límite de 10 000 NMP/100 mL.

Los resultados obtenidos permiten afirmar que la altitud constituye un factor determinante en el rendimiento de los biodigestores implementados en Unidades Básicas de Saneamiento con arrastre hidráulico en la provincia de Chota. Las variaciones registradas en los porcentajes de reducción de DBO₅, DQO y coliformes termotolerantes entre las tres localidades analizadas evidencian diferencias en el comportamiento del proceso anaerobio, las cuales estarían relacionadas con las condiciones térmicas propias de cada nivel altitudinal, en consecuencia, los análisis estadísticos conducen al rechazo de la hipótesis nula y a la aceptación de la hipótesis alternativa, demostrando la existencia de diferencias significativas en la eficiencia del sistema en función de la altitud.

5.2. Recomendaciones

Se sugiere efectuar una evaluación inicial del agua residual mediante estudios de carácter físico, químico y microbiológico, incluyendo parámetros como demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos en suspensión, potencial de hidrógeno (pH), temperatura y bacterias indicadoras de contaminación fecal, resulta necesario considerar las variables ambientales propias del lugar, tales como temperatura media del entorno, elevación sobre el nivel del mar y fluctuaciones estacionales, de esta manera, la elección y configuración del sistema de depuración podrán adaptarse a las condiciones específicas del área, favoreciendo un mayor rendimiento en la reducción de la carga contaminante.

Se sugiere que, en zonas rurales, los sistemas de tratamiento incorporen un diseño hidráulico adecuado, considerando la distribución uniforme del caudal de ingreso, el control del tiempo de retención hidráulica (TRH) y el ajuste de las cargas orgánicas e hidráulicas mediante dispositivos como cajas de distribución, válvulas reguladoras o cámaras de control, con la finalidad de garantizar condiciones operativas estables y mejorar el desempeño del proceso biológico.

Asimismo, se recomienda la implementación de unidades de tratamiento complementarias posteriores al biodigestor, tales como humedales artificiales o lagunas de maduración, las cuales permiten mejorar la calidad del efluente mediante procesos naturales y de sencilla operación. Estas unidades deberán diseñarse en función del caudal tratado y la carga contaminante residual, con el propósito de reducir las concentraciones finales de contaminantes y asegurar el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en el Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM.

CAPÍTULO VI. Referencias

- Adjovu, G. E., Stephen, H., James, D., & Ahmad, S. (2023). *Advanced approaches for monitoring suspended and dissolved particulate matter in aquatic environments using integrated sensing technologies*. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 15(4), 112–128. <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
- Ahsan, S., Rahman, M. A., Kaneco, S., Katsumata, H., Suzuki, T., & Ohta, K. (2005). Effect of temperature on wastewater treatment with natural and waste materials. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 7(3), 198–202. <https://doi.org/10.1007/s10098-005-0271-5>
- Ajahuana, C., Crisóstomo, R., & Quispe, R. (2008). Evaluación del desempeño de un sistema de tratamiento primario anaerobio mediante un prototipo de biodigestor para aguas residuales domésticas.
- Albuquerque, H., Rocha, F., Barbosa, D., & Reis, M. (2019). pH analysis of a wastewater treatment plant (WWTP) in a paper recycling industry. *International Journal for Innovation Education and Research*, 7(11). <https://doi.org/10.31686/ijer.vol7.iss11.1967>
- Amy, G., Brdjanovic, D., Comeau, Y., Ekama, G., Orozco, G. J., Gerba, C., Henze, M., & Judd, S. (2017). *Tratamiento biológico de aguas residuales: Principios, modelación y diseño*. Ingeniería Química. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=772375>
- Arispe, M., Yangali, S., Guerrero, A., Lozada, R., Acuña, A., & Arellano, C. (2020). La investigación científica. Universidad Internacional del Ecuador. <https://surl.li/xhgqdh>
- Arnáiz, C., Isac, L., & Lebrato, J. (2000). Tratamiento biológico de aguas residuales. *Tecnología del Agua*, (198), 20–27. <https://www.researchgate.net/publication/323879960> [Tratamiento biologico d e aguas residuales I Eliminacion de carbono organico](https://www.researchgate.net/publication/323879960)
- Bokova, I., & Ryder, G. (2017). *Aguas residuales: El recurso desaprovechado* (Vol. 3). UNESCO. https://aguasaneamiento.cndh.org.mx/Content/doc/Normatividad/Informe_Aguas_ResidualesRecursoDesaprovechado.pdf

- Burga, R. (2019). Coliformes fecales y su relación con la demanda bioquímica de oxígeno de aguas residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales Sicaya–Huancayo. <https://repositorio.uncp.edu.pe/items/2d2cff72-eea3-4227-8f5e-5f2b0fc295c9>
- Castro, L., & Rojas, K. (2021). Sistema de saneamiento alternativo mediante unidades básicas de saneamiento en el centro poblado de San Miguel – Moya – Huancavelica. <https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11560>
- Cayllahua, C. E. (2024). Evaluación de la eficiencia del biodigestor autolimpiable en la unidad básica de saneamiento (UBS) en el tratamiento de aguas residuales domésticas en el ámbito rural Huata – Puno, 2023. <https://repositorio.unap.edu.pe/server/api/core/bitstreams/1401e621-bf79-49d7-9190-d96513ceacf8/content>
- César, E., & Vásquez, A. (2003). Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. Limusa. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/ingenieria_de_los_sistemas_de_tratamiento_y_disposicion_de_aguas_residuales_civilgeeks.pdf
- CONAGUA. (2011). Manual de saneamiento básico. COFEPRIS. https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/COFEPRIS%202011%20Manual%20sanitario%20basico.pdf
- Cubillos, D., Huertas, D., & Contreras, H. (2018). Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto. *Ciencia e Ingeniería*, 5(1). <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8742434.pdf>
- Daelman, J., Van Voorthuizen, M., Van Dongen, M., Volcke, P., & Van Loosdrecht, M. (2013). *Greenhouse gas generation dynamics in urban wastewater treatment facilities under varying operational conditions*. *Journal of Environmental Engineering and Management*, 67(10), 1189–1203. <https://doi.org/10.2166/wst.2013.109>
- Díaz, C., Alvarado, R., & Camacho, E. (2012). El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 1–21. <https://www.redalyc.org/pdf/401/40123894005.pdf>

- Domínguez, M., & Rojas, V. (2019). Eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/65274d07-5f76-4694-afbd-5b24752d8422/download>
- Espigares, M., & Pérez, A. (2003). Aguas residuales: Composición. Universidad de Granada. https://www.academia.edu/15174071/AGUAS_RESIDUALES_AGR%C3%8DCOLAS
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2011). *Manual del biogás* (Proyecto CHI/00/G32). <https://www.fao.org/4/as400s/as400s.pdf>
- Fidias, G. A.-O. (2006). El proyecto de investigación: Introducción a la metodología científica. Episteme. <https://abacoenred.org/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Gobierno Regional Cajamarca – Gerencia Regional de Planeamiento, Presupuesto y Acondicionamiento Territorial – SGAT. (2006). Diagnóstico y Zonificación para el Tratamiento de la Demarcación Territorial de la Provincia de Chota (Memoria descriptiva). Gobierno Regional Cajamarca. <https://dt.regioncajamarca.gob.pe/sites/default/files/documentos/EDZ/chota/doc/m>
- Goicochea, E. (2022). Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables en la provincia de Celendín. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4986>
- INCYTU. (2019). Tratamiento de aguas residuales (N.os 52–55). Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología del Uruguay. https://foroconsultivo.org.mx/INCyTU/documentos/Completa/INCYTU_19-028.pdf
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). (2018). Conceptos básicos de cartografía y geodesia. Instituto Geográfico Nacional del Perú. <https://app4.ign.gob.pe/capitulos/siete/indice.php>
- Larios, F., Gonzáles, C., & Morales, Y. (2015). Aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. Universidad San Ignacio de Loyola. <https://revistas.usil.edu.pe/index.php/syh/article/view/115>

- Lewkowska, P., Cieřlik, B., Dymerski, T., Konieczka, P., & Namieřnik, J. (2016). *Assessment of volatile compounds and odor nuisance in municipal wastewater facilities using advanced analytical techniques*. *Journal of Environmental Quality and Monitoring*, 151, 210–226. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2016.08.030>
- Ligy, P., Kalaivani, K., Praveen, R., Vamsi, K., & SriShalini, S. (2020). Performance evaluation of anaerobic baffled biodigester for treatment of black water. *Current Science*, 118(8). <https://doi.org/10.18520/cs/v118/i8/1265-1274>
- Lizana, Y. P. (2018). Tratamiento de aguas residuales para el caserío Villa Palambra. Piura, Perú. https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UDEP_8ef64dc41f0ead1c0bab25ef6f9c3cc0
- Lorenzo, Y., & Obaya, C. (2005). La digesti3n anaerobia: Aspectos te3ricos. *ICIDCA*, 39, 35–48. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120659006>
- Mart3nez, M., & Osorio, A. (2018). Validaci3n de un m3todo para el an3lisis de color real en agua. *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 143–155. <https://doi.org/10.15446/rev.fac.cienc.v7n1.68086>
- Mego, T. (2023). Eficiencia de remoci3n de la demanda bioqu3mica de ox3geno, demanda qu3mica de ox3geno y s3lidos suspendidos totales de los biodigestores instalados en Cabracancha, Chota, 2022. *Revista Cient3fica UNACH*, 4(1), 88–100. <https://repositorio.unach.edu.pe/bitstreams/6e02756e-3fe4-4f55-9f8c-482c4ef3c99b/download>
- Mej3a, F. (2015). Eficiencia del tratamiento de aguas residuales dom3sticas mediante un biodigester prefabricado en la subestaci3n el3ctrica Cotaruse–Apur3mac [Tesis]. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/43124714-94de-45d8-836a-ed6d88c74488>
- Metcalf & Eddy, Inc., Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., & Burton, F. L. (2014). *Wastewater engineering: Treatment and resource recovery* (5th ed.). McGraw-Hill Education. https://repositori.mypolycc.edu.my/bitstream/123456789/4586/1/Wastewater%20Engineering%20Treatment%20and%20Resource%20Recovery%20%28Inc.%20Metcalf%20%20Eddy%2C%20George%20Tchobanoglous%20etc.%29%20%28z-lib.org%29.pdf?utm_source

- Michaud, D., Pearce, O. G., & Simon, Y. (2012). Convirtiendo en realidad el saneamiento rural sostenible. Programa de Agua y Saneamiento. https://documents1.worldbank.org/curated/en/513811468048533730/pdf/765200WSP0SPAN00Box374376B00PUBLIC0.pdf?utm_source
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM. Ministerio del Ambiente. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-003-2010-minam/>
- Montagna, T., De Giglio, O., Calia, C., et al. (2020). Microbiological and chemical assessment of wastewater discharged by infiltration trenches. *Pathogens*, 9(12), 1010. <https://doi.org/10.3390/pathogens9121010>
- Montes, L. O. (2018). Implementación de biofiltro en un biodigestor autolimpiable para el tratamiento de agua residual doméstica del AA.HH. Las Garas – Carabayllo [Tesis]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/55361/Montes_LO-SD.pdf
- Moscoso, J. (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. Ministerio de Agricultura y Riego. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sial-sialtrujillo/archivos/public/docs/manual_de_buenas_residuales_domesticas.pdf
- Municipalidad Provincial de Chota. (s.f.). *Información institucional – Clima de Chota*. Gob.pe. <https://www.gob.pe/institucion/munichota/institucional>
- Muñoz, H., Mejía, G., Chaverra, M., & Vásquez, E. (2000). Una aproximación al estimativo de la DBO y la DQO de aguas residuales por medio de la medida del carbono orgánico total. <https://revistas.udea.edu.co/index.php/ingenieria/article/view/325840>
- MVCS. (2006). Reglamento nacional de edificaciones. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2013). <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/23087/RM-273-2013-VIVIENDA.pdf>

- OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. <https://hdl.handle.net/20.500.12788/287>
- OMS. (2019). Guías para el saneamiento y la salud. Organización Mundial de la Salud. <https://iris.who.int/server/api/core/bitstreams/19d481a8-07b9-44a5-82da-d81a1e1c5b81/content>
- OMS & OPS. (2022). Saneamiento básico: Agua segura, disposición de excretas y manejo de la basura. <https://iris.paho.org/handle/10665.2/56014>
- Osorio, M., Carrillo, W., Negrete, J., Riera, E., & Loor, X. (2020). La calidad de las aguas residuales domésticas. Polo del Conocimiento, 6(3), 228–245. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2360>
- Polo, S. R. A., Huamán, C. M. M., Flores, A. J. I., Poma, V. C. B., & Dávila, P. C. M. (2019). Eficiencia de la unidad básica de saneamiento empleando humedales artificiales. Aporte Santiaguino. <https://doi.org/10.32911/as.2018.v11.n2.578>
- Raffo, L. E., & Ruiz, L. E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y demanda bioquímica de oxígeno. Industrial Data, 17(1), 67–75. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81640855010>
- Ramírez, B. L. I., Durán, D. de B. M. del C., García, F. J. A., Montuy, H. R., & Oaxaca, G. M. (2008). Demanda química de oxígeno de muestras acuosas. Universidad Autónoma de Monterrey. https://es.scribd.com/document/360739536/Libro-DQO-2008?utm_source=
- Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. De La Llave. <https://agua.org.mx/wp-content/uploads/2007/10/Tratamiento-aguas-residuales-Latinoamerica.pdf>
- Ribeiro, M. E., Machado, V., Hocevar, L. S., Dos Santos, P. J., Andrade, T. F., & Tondo, A. C. (2024). Characterization of sludge for biogas production using anaerobic digestion. Journal of Bioengineering, Technologies and Health, 7(1), 80–86. https://www.researchgate.net/publication/380784444_Characterization_of_Sludge_for_Biogas_Production_Using_Anaerobic_Digestion_A_Literature_Review_Approach

- Sen, S., Roy, S., Sarkar, A., Chaki, N., & Debnath, N. C. (2014). Wastewater management. *Journal of Computational Science*, 5(4), 675–683.
<https://doi.org/10.1016/j.jocs.2014.02.006>
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Domestic wastewater reuse in agriculture. *Agronomía Colombiana*, 26(2), 347–359.
<https://www.researchgate.net/publication/317512014>
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters*. Archae Press.
<https://books.google.com/books?id=aTMOjwEACAAJ>
- Von Sperling, M. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal* (Vol. 1, Biological Wastewater Treatment Series). IWA Publishing.
<https://library.oapen.org/handle/20.500.12657/3105>
- Vutai, V., Ma, X. C., & Lu, M. (2016). The role of anaerobic digestion in wastewater management. *Environmental Management Magazine*, 12–16.
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5884444/>

CAPÍTULO VII. Anexos

ANEXO 1. Panel fotográfico

Figura 16

Toma de muestra en la localidad de Colpamayo



Figura 17

Toma de muestra en la localidad de Cochabamba



Figura 18

Limpieza de biodigestor para la toma de muestras en la localidad El Paraíso

**Figura 19**

Toma de muestra para laboratorio Colpamayo



ANEXO 2. Monitoreos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos

Tabla 17

Resultados de los monitoreos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos evaluados

Monitoreo N°	Localidad	Altitud (m s. n. m.)	Fecha	Tipo	T (°C)	pH	DQO (mg/L)	DBO ₅ (mg/L)	CTt (NMP/100 mL)
1	El Paraíso	2963	19/03/24	A	15	7.5	278.4	114	54 x 10 ⁶
				E	15.3	6.7	132.2	60.6	435 x 10 ⁴
	Colpamayo	2345	19/03/24	A	18.7	7.7	697.8	309	31 x 10 ⁶
				E	18.7	7.1	125.1	56	44 x 10 ⁴
	Cochabamba	1704	19/03/24	A	22	7.9	810.5	327	19 x 10 ⁷
				E	21.7	6.8	768.2	305	42 x 10 ⁶
2	El Paraíso	2963	06/06/24	A	11	7.6	227.7	267	492 x 10 ⁵
				E	11.4	7.3	157.5	65.53	54 x 10 ⁵
	Colpamayo	2345	06/06/24	A	15.3	6.8	1138.3	532	278 x 10 ⁵
				E	15.5	7.2	150.5	75.6	27 x 10 ⁴
	Cochabamba	1704	06/06/24	A	21.1	7.2	1864.7		16975 x 10 ⁴
				E	20.9	6.9	804.9	344	529 x 10 ⁵
3	El Paraíso	2963	03/10/24	A	13.9	7.8	409.2	243.0	7 x 10 ⁷
				E	13.8	6.9	101.41	44.8	52 x 10 ⁵
	Colpamayo	2345	03/10/24	A	17.1	7.7	1259.27	552	4 x 10 ⁷
				E	17.1	7.4	314.82	141.5	35 x 10 ⁴
	Cochabamba	1704	03/10/24	A	20.2	8	2658.6	720.6	18 x 10 ⁷
				E	20.4	7.2	629.63	263	64 x 10 ⁶
4	El Paraíso	2963	15/11/24	A	14.9	8	721.43	348	55 x 10 ⁶
				E	14.6	7	207.14	91.2	6 x 10 ⁶
	Colpamayo	2345	15/11/24	A	18.4	6.9	835.71	361.3	29 x 10 ⁶
				E	18.4	8.1	157.14	51.4	3500
	Cochabamba	1704	15/11/24	A	20.3	7.8	2125	863.5	174 x 10 ⁶
				E	20.5	7.1	982.14	412.6	4 x 10 ⁷

A: Afluente, E: Efluente

ANEXO 3. Registro de coordenadas UTM

Figura 20

Coordenadas UTM de los biodigestores

FORMATO 1

Puntos de muestreo de las aguas residuales domésticas Biodigestor 1

Puntos de monitoreo	Coordenadas UTM - WGS84			
	Norte	Este	Altura	Localidad
Biodigestor 1	9270204	716591	2963	El Paraíso

Puntos de muestreo de las aguas residuales domésticas Biodigestor 2

Puntos de monitoreo	Coordenadas UTM - WGS84			
	Norte	Este	Altura	Localidad
Biodigestor 2	9276498	711668	2345	Colpamayo

Puntos de muestreo de las aguas residuales domésticas Biodigestor 3

Puntos de monitoreo	Coordenadas UTM - WGS84			
	Norte	Este	Altura	Localidad
Biodigestor 3	9283175	734651	1704	Cocha bamba

ANEXO 4. Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM

Figura 21

DS N.º 003-2010-MINAM

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010



NORMAS LEGALES

415675

de impuestos o de derechos aduaneros de ninguna clase o denominación.

Artículo 5º.- La presente Resolución Suprema será refrendada por el Presidente del Consejo de Ministros.

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

JAVIER VELASQUEZ QUESQUÉN
Presidente del Consejo de Ministros

469446-6

AMBIENTE

Aprueba Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales

**DECRETO SUPREMO
Nº 003-2010-MINAM**

EL PRESIDENTE DE LA REPÚBLICA

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 3º de la Ley Nº 28611, Ley General del Ambiente, dispone que el Estado, a través de sus entidades y órganos correspondientes, diseña y aplica, las políticas, normas, instrumentos, incentivos y sanciones que sean necesarias para garantizar el efectivo ejercicio de los derechos y el cumplimiento de las obligaciones y responsabilidades contenidas en dicha ley;

Que, el numeral 32.1 del artículo 32º de la Ley General del Ambiente define al Límite Máximo Permisible - LMP, como la medida de concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su determinación corresponde al Ministerio del Ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el Ministerio del Ambiente y los organismos que conforman el Sistema Nacional de Gestión Ambiental. Los criterios para la determinación de la supervisión y sanción serán establecidos por dicho Ministerio;

Que, el numeral 33.4 del artículo 33º de la Ley Nº 28611 en mención dispone que, en el proceso de revisión de los parámetros de contaminación ambiental, con la finalidad de determinar nuevos niveles de calidad, se aplique el principio de la gradualidad, permitiendo ajustes progresivos a dichos niveles para las actividades en curso;

Que, el literal d) del artículo 7º del Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente - MINAM, establece como función específica de dicho Ministerio, elaborar los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP), de acuerdo con los planes respectivos. Deben contar con la opinión del sector correspondiente, debiendo ser aprobados mediante Decreto Supremo;

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 121-2009-MINAM, se aprobó el Plan de Estándares de Calidad Ambiental (ECA) y Límites Máximos Permisibles (LMP) para el año fiscal 2009 que contiene dentro de su anexo la elaboración del Límite Máximo Permisible para los efluentes de Plantas de Tratamiento de fuentes domésticas;

Que el artículo 14º del Reglamento de la Ley del Sistema Nacional de Evaluación de Impacto Ambiental (SEIA) aprobado mediante Decreto Supremo Nº 019-2009-MINAM, establece que el proceso de evaluación de impacto ambiental comprende medidas que aseguren, entre otros, el cumplimiento de los Estándares de Calidad Ambiental, los Límites Máximos Permisibles y otros parámetros y requerimientos aprobados de acuerdo a la legislación ambiental vigente; del mismo modo, en su artículo 28º el citado reglamento señala que, la modificación del estudio ambiental o la aprobación de instrumentos de gestión ambiental complementarios,

implica necesariamente y según corresponda, la actualización de los planes originalmente aprobados al emitirse la Certificación Ambiental;

De conformidad con lo dispuesto en el numeral 8) del artículo 118º de la Constitución Política del Perú, y el numeral 3 del artículo 11º de la Ley Nº 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo;

DECRETA:

Artículo 1º.- Aprobación de Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de Tratamiento de Agua Residuales Domésticas o Municipales (PTAR)

Aprobar los Límites Máximos Permisibles para efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales, los que en Anexo forman parte integrante del presente Decreto Supremo y que son aplicables en el ámbito nacional.

Artículo 2º.- Definiciones

Para la aplicación del presente Decreto Supremo se utilizarán los siguientes términos:

- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales (PTAR):** Infraestructura y procesos que permiten la depuración de las aguas residuales Domésticas o Municipales.

- **Límite Máximo Permisible (LMP):** Es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

- **Protocolo de Monitoreo:** Procedimientos y metodologías establecidas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento en coordinación con el MINAM y que deben cumplirse en la ejecución de los Programas de Monitoreo.

Artículo 3º.- Cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles de Efluentes de PTAR

3.1 Los LMP de efluentes de PTAR que se establecen en la presente norma entran en vigencia y son de cumplimiento obligatorio a partir del día siguiente de su publicación en el Diario Oficial El Peruano.

3.2 Los LMP aprobados mediante el presente Decreto Supremo, no serán de aplicación a las PTAR con tratamiento preliminar avanzado o tratamiento primario que cuenten con disposición final mediante emisario submarino.

3.3. Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que no cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de dos (02) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento su Programa de Adecuación y Manejo Ambiental; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

3.4 Los titulares de las PTAR que se encuentren en operación a la dación del presente Decreto Supremo y que cuenten con certificación ambiental, tendrán un plazo no mayor de tres (03) años, contados a partir de la publicación del presente Decreto Supremo, para presentar ante el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la actualización de los Planes de Manejo Ambiental de los Estudios Ambientales; autoridad que definirá el respectivo plazo de adecuación.

Artículo 4º.- Programa de Monitoreo

4.1 Los titulares de las PTAR están obligados a realizar el monitoreo de sus efluentes, de conformidad con el Programa de Monitoreo aprobado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. El Programa de Monitoreo especificará la ubicación de los puntos de control, métodos y técnicas adecuadas; así como los parámetros y frecuencia de muestreo para cada uno de ellos.

Figura 22

DS N.º 003-2010-MINAM

415676

 **NORMAS LEGALES**

El Peruano
Lima, miércoles 17 de marzo de 2010

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

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

Artículo 5º.- Resultados de monitoreo

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

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

Artículo 6º.- Fiscalización y Sanción

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

Artículo 7º.- Refrendo

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

DISPOSICIÓN COMPLEMENTARIA FINAL

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

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

ALAN GARCÍA PÉREZ
Presidente Constitucional de la República

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

JUAN SARMIENTO SOTO
Ministro de Vivienda, Construcción y Saneamiento

ANEXO

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA LOS EFLUENTES DE PTAR

PARÁMETRO	UNIDAD	LMP DE EFLUENTES PARA VERTIDOS A CUERPOS DE AGUAS
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/L	200
pH	unidad	6.5-8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mL/L	150
Temperatura	°C	<35

469446-2

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

RESOLUCIÓN MINISTERIAL Nº 036-2010-MINAM

Lima, 16 de marzo de 2010

CONSIDERANDO:

Que, mediante Decreto Legislativo Nº 1013, se aprobó la Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

Que, la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, cuyo Texto Único Ordenado fue aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM, tiene por finalidad promover la transparencia de los actos del Estado y regular el derecho fundamental del acceso a la información consagrado en el numeral 5 del artículo 2º de la Constitución Política del Perú;

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

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

Que, mediante Resolución Ministerial Nº 070-2008-MINAM, se designó a la señorita Cristina Miranda Beas, como funcionaria responsable de brindar información que demanden las personas, y responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet del Ministerio del Ambiente;

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

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

De conformidad con lo establecido en el Decreto Legislativo Nº 1013, Ley de Creación, Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente; el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM; y el Decreto Supremo Nº 007-2008-MINAM que aprueba el Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio del Ambiente;

SE RESUELVE:

Artículo 1º.- Designar al abogado Hugo Milko Ortega Polar como Responsable de brindar la información pública del Ministerio del Ambiente y Responsable del contenido de la información ofrecida en el Portal de Internet Institucional, de conformidad con el Texto Único Ordenado de la Ley de Transparencia y Acceso a la Información Pública, aprobado por Decreto Supremo Nº 043-2003-PCM.

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

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

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

Regístrese, comuníquese y publíquese.

ANTONIO JOSÉ BRACK EGG
Ministro del Ambiente

469445-1

Figura 23

Resultados laboratorio regional del agua primer muestreo DBO₅ y DQO

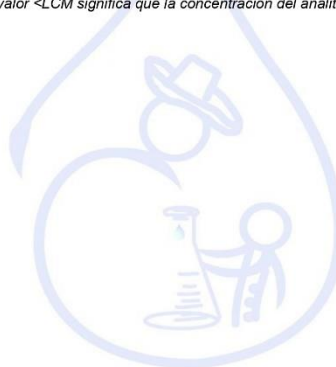
LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
GOBIERNO REGIONAL CAJAMARCA
LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084



INFORME DE ENSAYO N° IE 03240277

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			B1-A	B1-E	B2-A	B2-E	B3-A	B3-E
Código Laboratorio			03240277-01	03240277-02	03240277-03	03240277-04	03240277-05	03240277-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	327.0	305.0	309.0	56.0	114.0	60.6
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	810.5	768.2	697.8	125.1	278.4	132.2

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



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 02/04/2024 06:08 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 02 de Abril de 2024

Figura 24

Resultados laboratorio regional del agua primer muestreo CTt



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 03240277

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			B1-A	B1-E	B2-A	B2-E	B3-A	B3-E
Código Laboratorio			03240277-01	03240277-02	03240277-03	03240277-04	03240277-05	03240277-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	35 x 10 ⁷	22 x 10 ⁶	11 x 10 ⁶	54 x 10 ⁴	14 x 10 ⁶	35 x 10 ⁴

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



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 204537414158 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 02/04/2024 06:14 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 02 de Abril de 2024

Figura 25

Resultados laboratorio regional del agua segundo muestreo DBO₅ y DQO



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 06240645

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	B3E	B3A	B2E	B2A	B1E	B1A		
Código Laboratorio	06240645-01	06240645-02	06240645-03	06240645-04	06240645-05	06240645-06		
Matriz	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual		
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica		
Localización de la Muestra	El Paraíso	El Paraíso	Colpamayo	Colpamayo	Cochabamba	Cochabamba		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	76.4	103.6	75.6	532.0	398.0	267.0
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	157.5	227.7	150.5	1138.3	804.9	576.8

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



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edder Miguel
FAU 20453744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 18/06/2024 04:56 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 18 de junio de 2024

Figura 26

Resultados laboratorio regional del agua segundo muestreo CTt



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 06240645

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			B3E	B3A	B2E	B2A	B1E	B1A
Código Laboratorio			06240645-01	06240645-02	06240645-03	06240645-04	06240645-05	06240645-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			El Paraíso	El Paraíso	Colpamayo	Colpamayo	Cochabamba	Cochabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	92 x 10 ⁵	54 x 10 ⁵	17 x 10 ⁴	28 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	35 x 10 ⁶

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



Firmado digitalmente por
ZULIETA SANTA CRUZ Enver
FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad.
Fecha: 18/06/2024 04:59 p.m.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 18 de junio de 2024

Figura 27

Resultados laboratorio regional del agua tercer muestreo DBO₅ y DQO

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



INFORME DE ENSAYO N° IE 10241124

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			B1A	B1E	B2A	B2E	B3A	B3E
Código Laboratorio			10241124-01	10241124-02	10241124-03	10241124-04	10241124-05	10241124-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.60	1054.00	263.00	552.00	141.50	1116.00	44.80
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.30	2658.64	629.63	1259.27	314.82	2380.09	101.41

Leyenda: LCM: Límite de Cuantificación del Método, valor <LCM significa que la concentración del analito es mínima (trazas)
(* Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.



Firmado digitalmente por
NEYRA JAICO Edder Miguel
FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 17/10/2024 11:18 a. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 16 de Octubre de 2024

Figura 28

Resultados laboratorio regional del agua tercer muestreo CTt



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 10241124

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			B1A	B1E	B2A	B2E	B3A	B3E
Código Laboratorio			10241124-01	10241124-02	10241124-03	10241124-04	10241124-05	10241124-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	16×10^7	92×10^6	92×10^6	35×10^4	17×10^7	22×10^5

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

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

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
ZULUETA SANTA CRUZ Enver
FAU 20493744168 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 17/10/2024 09:19 a.m.

Cajamarca, 16 de Octubre de 2024

Página: 3 de 4

Figura 29

Resultados laboratorio regional del agua cuarto muestreo DBO₅ y DQO



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241257

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Físicoquímicos					
Código de la Muestra			B1A	B1E	B2A	B2E	B3A	B3E
Código Laboratorio			11241257-01	11241257-02	11241257-03	11241257-04	11241257-05	11241257-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Físicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.60	863.50	412.60	361.30	51.40	348.00	91.20
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.30	2125.00	982.14	835.71	157.14	721.43	207.14

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

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

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft
Motivo: Viso en señal de
conformidad
Fecha: 27/11/2024 08:20 a. m.

Cajamarca, 26 de Noviembre de 2024

Página: 2 de 4

Figura 30

Resultados laboratorio regional del agua cuarto muestreo CTt



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



INFORME DE ENSAYO N° IE 11241257

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			B1A	B1E	B2A	B2E	B3A	B3E
Código Laboratorio			11241257-01	11241257-02	11241257-03	11241257-04	11241257-05	11241257-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	Colpamayo	Colpamayo	El Paraiso	El Paraiso
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	1.8	54×10^6	35×10^6	24×10^6	35×10^2	35×10^6	13×10^6

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

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

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
ZULUETA SANTA CRUZ Enver
FAU 20453744188 soft
Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 26/11/2024 04:56 p.m.

Cajamarca, 26 de Noviembre de 2024

JR. LUIS ALBERTO SÁNCHEZ S/N. URB. EL BOSQUE, CAJAMARCA - PERÚ
e-mail: laboratorio del agua@regioncajamarca.gob.pe / laboratorio del agua@hotmail.com FONDO 076-600040 anexo 1140

Página: 3 de 4