

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL



**Eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas
residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca-Chota**

TESIS

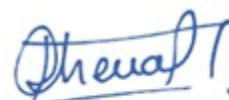
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL

AUTOR

Bach. Rafael Diaz Joselino

ASESORES

Dra. Ing. Azucena Chávez Collantes


Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

M.Sc. Ing. Eisner Will Castillo Rojas


M. Sc. Ing. Eisner Will Castillo Rojas
DOCENTE UNACH

CHOTA – PERÚ

Junio, 2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y AMBIENTAL
ASESOR DE INFORME DE TESIS

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD

El que suscribe, Asesor del Informe de Tesis de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional Autónoma de Chota, hace constar que el Informe Final de Tesis Titulado **“Eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca-Chota”**; ejecutado por el Bachiller **Joselino Rafael Diaz** presenta un **GRADO DE SIMILITUD DE 17 %**, en base al análisis realizado por el Software Antiplagio Turnitin sin incluir Índices y 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°120-2022-UNACH.

Se expide la presente, a petición de la parte interesada para los fines que estime conveniente.

Chota, 08 de junio de 2026.

Atentamente

Dra. Azucena Chavez Collantes
Asesor
UNACH

Azucena Chávez Collantes

Similitud Jos

 Tesis joselino2 teesena Universidad Nacional Autonoma de Chota

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::1:3566978236

Fecha de entrega

11 may 2026, 2:58 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

11 may 2026, 3:10 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

INFORME_FINAL_DE_TESIS-JOSELINO_RAFAEL_DIAZ.pdf

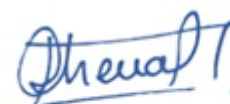
Tamaño del archivo

3.4 MB

118 páginas

24.145 palabras

133.153 caracteres



Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

17% Similitud general

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

Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de coincidencias excluidas

Fuentes principales

- 15%  Fuentes de Internet
- 7%  Publicaciones
- 8%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

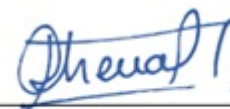
Marcas de integridad

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.



Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

Fuentes principales

- 15% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 8% 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	repositorio.unc.edu.pe	2%
2	Internet	hdl.handle.net	1%
3	Internet	repositorio.unach.edu.pe	<1%
4	Internet	www.repositorio.unach.edu.pe	<1%
5	Trabajos del estudiante	uncedu	<1%
6	Internet	tesis.unsm.edu.pe	<1%
7	Internet	repositorio.unh.edu.pe	<1%
8	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Cajamarca	<1%
9	Internet	repositorio.upn.edu.pe	<1%
10	Internet	repositorio.unsm.edu.pe	<1%
11	Internet	repositorio.ucv.edu.pe	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

12	Trabajos del estudiante	Universidad San Ignacio de Loyola	<1%
13	Internet	repositorio.uta.edu.ec	<1%
14	Trabajos del estudiante	ucss	<1%
15	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de Ingenieria	<1%
16	Internet	bibdigital.epn.edu.ec	<1%
17	Internet	repositorio.unap.edu.pe	<1%
18	Trabajos del estudiante	unasam	<1%
19	Trabajos del estudiante	Universidad Andina del Cusco	<1%
20	Trabajos del estudiante	Universidad Católica de Santa María	<1%
21	Internet	repositorio.espam.edu.ec	<1%
22	Internet	repositorio.upeu.edu.pe	<1%
23	Internet	repositorio.uancv.edu.pe	<1%
24	Internet	repositorio.unjbg.edu.pe	<1%
25	Internet	dspace.ups.edu.ec	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

26	Publicación	Leticia de Jesús Velázquez-Chávez, Ixchel Abby Ortiz-Sánchez, Jorge Armando Chá...	<1%
27	Internet	repositorio.unu.edu.pe	<1%
28	Internet	www.unach.edu.pe	<1%
29	Internet	cybertesis.unmsm.edu.pe	<1%
30	Internet	eventoscientificos.upeu.edu.pe	<1%
31	Internet	www.coursehero.com	<1%
32	Internet	dspace.unica.cu	<1%
33	Internet	repositorio.udh.edu.pe	<1%
34	Internet	repositorio.upsc.edu.pe	<1%
35	Internet	www.doccity.com	<1%
36	Trabajos del estudiante	Universidad Científica del Sur	<1%
37	Internet	sinia.minam.gob.pe	<1%
38	Publicación	Bogna Śniatała, Hussein E. Al-Hazmi, Dominika Sobotka, Jun Zhai, Jacek Mąkinia. "...	<1%
39	Trabajos del estudiante	Consorcio CIXUG	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

40	Publicación	Kaikai Zheng, Huaibo Li, Shuo Wang, Yan Wang, Aimin Li, Xuan Feng, Ji Li. "Enhan...	<1%
41	Trabajos del estudiante	Universidad Ricardo Palma	<1%
42	Publicación	ECO-MAPPING SOCIEDAD ANONIMA CERRADA. "DAP de su Planta Industrial de Fa...	<1%
43	Publicación	Kevin Antonio Tomala Perez, Taise Bomfim de Jesus, Pedro Manuel Villa, George ...	<1%
44	Publicación	SERV GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE SAC. "Plan de Cese Temporal de Activida...	<1%
45	Trabajos del estudiante	Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez	<1%
46	Internet	repositorio.undac.edu.pe	<1%
47	Internet	repositorio.unesum.edu.ec	<1%
48	Internet	repositorio.unicesar.edu.co	<1%
49	Internet	revistas.unsm.edu.pe	<1%
50	Trabajos del estudiante	Universidad Católica Boliviana "San Pablo"	<1%
51	Internet	agronomosg8.blogspot.com	<1%
52	Internet	publica2.una.ac.cr	<1%
53	Internet	apirepositorio.unu.edu.pe	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

54	Internet	repository.usta.edu.co	<1%
55	Trabajos del estudiante	Pontificia Universidad Catolica del Peru	<1%
56	Internet	repositorio.unas.edu.pe	<1%
57	Publicación	Núñez Cohello, Ana Lucia. "Relación Entre la Comprensión del Discurso Narrativo ...	<1%
58	Trabajos del estudiante	Ana G. Méndez University	<1%
59	Trabajos del estudiante	D.A. de Ingeniería Ambiental	<1%
60	Publicación	Gema Eliana Briones Ponce, Gabriel Alfonso Burgos Briones, Ernesto Alonso Rose...	<1%
61	Trabajos del estudiante	Universidad de Medellin	<1%
62	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnologica del Peru	<1%
63	Internet	revistas.pucp.edu.pe	<1%
64	Trabajos del estudiante	Universidad Catolica Sedes Sapientiae	<1%
65	Internet	erp.untumbes.edu.pe	<1%
66	Publicación	Cardeña Unda, Karina. "Evaluación de los residuos sólidos y aguas residuales de I...	<1%
67	Publicación	Quispe Quispe, Karen Kelly. "Evaluación de la capacidad depuradora con microalg...	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
 CIP N°203685

68	Trabajos del estudiante	Universidad De Cuenca	<1%
69	Internet	cia.uagraria.edu.ec	<1%
70	Internet	dspace.esPOCH.edu.ec	<1%
71	Internet	repositorio.udl.edu.pe	<1%
72	Internet	vetzootec.ucaldas.edu.co	<1%
73	Publicación	Lope Dueñas, Freddy. "Efecto del color y sexo sobre las características textiles de ..."	<1%
74	Trabajos del estudiante	Universidad Pontificia Bolivariana	<1%
75	Publicación	WSP PERU CONSULTORIA S.A.. "ITS del Proyecto Ampliación del Proyecto TG6 Mal..."	<1%
76	Publicación	Salas Apaza, Alex Mario. "Contenido de metales pesados e índices de biodegrada..."	<1%
77	Trabajos del estudiante	Universidad Cesar Vallejo	<1%
78	Trabajos del estudiante	Universidad Laica Vicente Rocafuerte de Guayaquil	<1%
79	Trabajos del estudiante	Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga	<1%
80	Trabajos del estudiante	Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC	<1%
81	Internet	info.proinversion.gob.pe	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

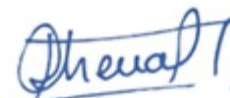
82	Internet	nchp.epf.fr	<1%
83	Internet	repositorio.unitec.edu	<1%
84	Internet	repositorio.upao.edu.pe	<1%
85	Internet	repositorio.utc.edu.ec	<1%
86	Publicación	"Dinámicas espaciales y temporales de la vegetación zonal en la Región Altiplano ...	<1%
87	Publicación	L.R. Martínez-Córdova. "Ecological Study Prior To The Establishment Of A Thermo...	<1%
88	Publicación	Montserrat Guadalupe Velázquez-Rodríguez, Tania L. Volke-Sepúlveda, Francisco J...	<1%
89	Publicación	Yaqiong Gu, Beiyong Li, Xiang Zhong, Conghe Liu, Bin Ma. "Bacterial Community C...	<1%
90	Internet	apirepositorio.unh.edu.pe	<1%
91	Internet	bdigital.zamorano.edu	<1%
92	Internet	biotecnologiacompost.blogspot.com	<1%
93	Internet	patents.google.com	<1%
94	Internet	pure.udem.edu.mx	<1%
95	Internet	repositorio.unasam.edu.pe	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
 CIP N°203685

96	Internet	repositorio.uns.edu.pe	<1%
97	Internet	ru.dgb.unam.mx	<1%
98	Internet	scrubsmag.com	<1%
99	Internet	www.emes.es	<1%
100	Internet	www.mindmeister.com	<1%
101	Internet	www3.vivienda.gob.pe	<1%
102	Trabajos del estudiante	Account Universidad Mariana	<1%
103	Publicación	Lorena Agudelo, Angie Muñoz, Valeria Enriquez, Nilsa Silva, Ruth Lozano. "Calida...	<1%
104	Publicación	Osorio Sánchez, Juan David Sebastián. "Modelo de Evaluación de la Contaminació...	<1%
105	Publicación	Sastre Torres, Diana Alejandra. "Modelo de gestión para el tratamiento de aguas ...	<1%
106	Internet	bvearmb.do	<1%
107	Internet	doczz.es	<1%
108	Internet	pepite-depot.univ-lille.fr	<1%
109	Internet	repositorio.ucsg.edu.ec	<1%

Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685

110	Internet	repositorio.ulvr.edu.ec	<1%
111	Internet	repositorio.unfv.edu.pe	<1%
112	Internet	repository.uamerica.edu.co	<1%
113	Internet	revistas.untrm.edu.pe	<1%
114	Internet	revistas.uss.edu.pe	<1%
115	Internet	www.scielo.org.co	<1%
116	Internet	www.unirioja.es	<1%



Dra. Azucena Chávez Collantes
CIP N°203685



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE CHOTA
VICEPRESIDENCIA ACADÉMICA
Reglamento de Grados y Títulos



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE INFORME FINAL DE TESIS

El jurado evaluador designado con RESOLUCIÓN DE COORDINACIÓN DE FACULTAD N° 250-2025-FCA/UNACH:

Nombres y apellidos	Cargo
Dr. Alejandro Seminario Cunya	Presidente
M. Sc. Ever Núñez Bustamante	Secretario
Dr. Olegario Heiner Cabrera Cabrera	Vocal

De la tesis titulada:

"Eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca - Chota"

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

Nombres y apellidos	DNI
Bach. Joselino Rafael Diaz	47718501

Para obtener el título profesional de:

Ingeniero Forcstal y Ambiental

Acuerdan por:

☒ Unanimidad	☐ Mayoria
--	----------------------------------

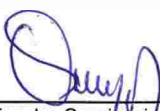
☒ Aprobar	☐ Desaprobar
---	-------------------------------------

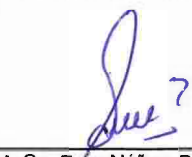
Otorgando la calificación de:

☒ Aprobado
☐ Excelente
☐ Bueno
☒ Regular

☐ Desaprobado

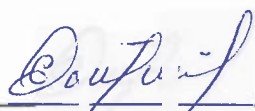
Colpa Matara, 10 de junio de 2026


Dr. Alejandro Seminario Cunya
Presidente


M. Sc. Ever Núñez Bustamante
Secretario


Dr. Olegario Heiner Cabrera Cabrera
Vocal


Dra. Azucena Chávez Collantes
Asesor


M. Sc. Ever Will Castillo Rojas
Coasesor

DEDICATORIA

A Dios

A mis padres, hermanos y familiares que estuvieron apoyándome en cada momento de mi carrera profesional.

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y mucha salud. A mis queridos padres por apoyarme en cada paso que he dado para cumplir mis sueños propuestos. A mis hermanos, que siempre estuvieron a mi lado apoyándome. A mis amigos, con su ayuda logré muchos objetivos propuestos.

A mi asesora Dra. Chávez Collantes Azucena y coasesor M.Sc. Eisner Will Castillo Rojas, con su ayuda pude concluir esta investigación.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental de la Universidad Nacional Autónoma de Chota por la formación profesional que nos brindó e inculcar valores hacia nuestro medio ambiente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Formulación del problema	5
1.3. Justificación de la investigación	5
1.4. Objetivos	6
1.4.1. Objetivo general	6
1.4.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes del estudio.....	7
2.1.1. A nivel internacional	7
2.1.2. A nivel nacional.....	7
2.1.3. A nivel regional	10
2.1.4. A nivel local	11
2.2. Bases teórico-científicas.....	11
2.2.1. Biodigestores prefabricados	11
2.2.2. Aguas residuales.....	14
2.2.3. Tratamientos de aguas residuales.	20
2.2.4. Factores que afectan la eficiencia de remoción de contaminantes en biodigestores....	21
2.2.5. Mecanismos biológicos para la depuración de aguas residuales por microorganismos	21
2.3. Marco conceptual	24

2.3.1.	Afluente	24
2.3.2.	Efluente	24
2.3.3.	Aguas residuales.....	25
2.3.4.	Contaminación.....	25
2.3.5.	Impacto	25
2.3.6.	Materia orgánica.....	26
2.3.7.	Oxígeno disuelto.....	26
2.3.8.	Eficiencia de remoción.....	26
2.4.	Hipótesis.....	27
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO		28
3.1.	Tipo y nivel de investigación	28
3.2.	Diseño de la investigación	28
3.3.	Métodos de investigación.....	28
3.3.1.	Ubicación.....	28
3.3.2.	Equipos, materiales e insumos	31
3.4.	Población, muestra y muestreo	31
3.4.1.	Población	31
3.4.2.	Muestra.....	32
3.4.3.	Muestreo	32
3.5.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	32
3.5.1.	Técnicas de recolección de datos	32
3.5.2.	Instrumentos de recolección de datos.....	36
3.6.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos	36

3.6.1.	Análisis estadístico	37
3.7.	Aspectos éticos.....	37
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES		39
4.1.	Descripción de resultados	39
4.1.1.	Parámetros físicos.....	39
4.1.2.	Parámetros químicos	44
4.1.3.	Parámetros microbiológicos	52
4.2.	Contrastación de la hipótesis.....	56
4.2.1.	Pruebas de normalidad	56
4.2.2.	Prueba de hipótesis	58
4.3.	Discusión de resultados	60
4.3.1.	Parámetros físicos.....	60
4.3.2.	Parámetros químicos	62
4.3.3.	Parámetros microbiológicos	65
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		68
5.1.	Conclusiones	68
5.2.	Recomendaciones.....	68
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		70
ANEXOS		87

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>LMP para el vertimiento a los cuerpos de agua</i>	14
Tabla 2 <i>Puntos de monitoreo de las aguas residuales</i>	33
Tabla 3 <i>Requisitos para la toma de muestras</i>	34
Tabla 4 <i>Parámetros evaluados en el laboratorio</i>	35
Tabla 5 <i>Promedios de las concentraciones de sólidos suspendidos totales en cada sector y meses de evaluación</i>	40
Tabla 6 <i>Promedios de temperaturas por cada mes y sector de evaluación</i>	43
Tabla 7 <i>Promedios de las concentraciones de la demanda química de oxígeno (DQO) en cada sector y meses de evaluación</i>	45
Tabla 8 <i>Promedios del potencial de hidrógeno (pH) por cada mes y sector de evaluación</i>	48
Tabla 9 <i>Promedios de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en cada sector y mes de evaluación</i>	50
Tabla 10 <i>Promedios de Escherichia coli por cada sector y meses de evaluación</i>	53
Tabla 11 <i>Concentración de Coliformes totales en cada sector y mes de evaluación</i>	55
Tabla 12 <i>Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk</i>	57
Tabla 13 <i>Análisis de la varianza (ANOVA)</i>	58
Tabla 14 <i>Prueba de Tukey</i>	59
Tabla 15 <i>Registro de temperatura</i>	87
Tabla 16 <i>Sólidos suspendidos totales en los tres meses de evaluación</i>	87
Tabla 17 <i>Demanda química de oxígeno (DQO) en los tres meses evaluados</i>	88
Tabla 18 <i>pH en los tres meses de evaluación</i>	89
Tabla 19 <i>Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en todos los meses de evaluación</i>	89
Tabla 20 <i>Escherichia coli en los meses de evaluación</i>	91

Tabla 21 <i>Coliformes totales en los meses de evaluación</i>	92
--	----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Componentes de un biodigestor prefabricado</i>	12
Figura 2 <i>Ubicación de los puntos de evaluación</i>	30
Figura 3 <i>Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) por cada mes</i>	41
Figura 4 <i>Desviación estándar de la temperatura promedio en la entrada y salida del biodigestor en todos los sectores y meses</i>	44
Figura 5 <i>Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en los biodigestores por cada mes</i>	47
Figura 6 <i>Desviación estándar del pH en la entrada y salida del biodigestor</i>	49
Figura 7 <i>Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en los biodigestores por mes</i>	51
Figura 8 <i>Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de Escherichia coli en los biodigestores por mes</i>	54
Figura 9 <i>Porcentaje de eficiencia de remoción de los coliformes totales en los biodigestores por mes</i>	56
Figura 10 <i>Toma de datos de ubicación del biodigestor</i>	93
Figura 11 <i>Verificación del biodigestor para dar inicio al muestreo de aguas residuales</i>	93
Figura 12 <i>Identificación de la entrada y salida del biodigestor</i>	94
Figura 13 <i>Extracción del agua residual (EB) del biodigestor</i>	94
Figura 14 <i>Extracción de agua residual (SB) del biodigestor</i>	95

Figura 15 <i>Recolección de muestra para el parámetro DQO</i>	95
Figura 16 <i>Adicionando el reactivo ácido sulfúrico (H_2SO_4) para DQO</i>	96
Figura 17 <i>Codificación para la DQO</i>	96
Figura 18 <i>Recolección de muestra para el parámetro de coliformes totales y Escherichia coli</i>	97
Figura 19 <i>Codificación para coliformes totales y Escherichia coli</i>	97
Figura 20 <i>Recolección de muestra para el parámetro de pH SST</i>	98
Figura 21 <i>Codificación para pH y SST</i>	98
Figura 22 <i>Recolección de muestra para el parámetro DBO₅</i>	99
Figura 23 <i>Codificación para la DBO₅</i>	99
Figura 24 <i>Registro de temperatura en la salida del biodigestor</i>	100
Figura 25 <i>Registro de temperatura en la entrada del biodigestor</i>	100
Figura 26 <i>Acondicionamiento de las muestras de agua en el contenedor para su respectivo traslado</i>	101
Figura 27 <i>Recepción de las muestras en el laboratorio de agua del gobierno regional de Cajamarca</i>	101
Figura 28 <i>Llenado de la cadena de custodia</i>	102
Figura 29 <i>Cadena de custodia</i>	109

RESUMEN

La investigación se desarrolló con el objetivo de evaluar la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca – Chota. Se evaluaron los parámetros físicos (SST y temperatura), químicos (DQO, pH y DBO₅) y microbiológicos (*E. coli* y coliformes totales). El muestreo se realizó según el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, que establece monitoreo en la entrada y la salida del biodigestor; se evaluó cada 15 días en los meses de marzo, abril y mayo. Los resultados fueron los siguientes: SST de 334,54 mg/L (EB) y 92,29 mg/L (SB), con eficiencias de 81,48%; temperatura de 18,35 °C (EB) y 18,08 °C (SB); DQO de 809,50 mg O₂/L (EB) y 86,61 mg O₂/L (SB), con eficiencias de 91,09%; pH de 7,40 (EB) y 6,97 (SB); DBO₅ de 370,63 mg O₂/L (EB) y 83,92 mg O₂/L (SB), con eficiencias de 84,24%; *E. coli* de $3,688333 \times 10^6$ NMP/100 mL (EB) y $1,25833 \times 10^5$ NMP/100 mL, con eficiencias de 97,64%; coliformes totales de $2,47325 \times 10^7$ NMP/100 mL (EB) y $7,4375 \times 10^5$ NMP/100 mL (SB), con eficiencias de 98,10%. Se concluye que los biodigestores en la comunidad de San Antonio de la Iraca presentaron eficiencia de remoción superior al 60%, siendo el mes de marzo con el mayor rendimiento en el tratamiento de aguas residuales.

Palabras clave. Biodigestor, eficiencia, remoción, entrada y salida del biodigestor.

ABSTRACT

The research was developed with the objective of evaluating the efficiency of prefabricated biodigesters in the biological treatment of wastewater in the community of San Antonio de la Iraca – Chota. The physical (SST and temperature), chemical (DQO, pH and DBO₅) and microbiological (*E. coli* and total coliforms) parameters were evaluated. Sampling was carried out according to the Effluent Quality Monitoring Protocol for domestic or municipal wastewater treatment plants, which establishes monitoring at the inlet and outlet of the biodigester; evaluations were performed every 15 days during the months of March, April, and May. The results were as follows: SST of 334,54 mg/L (BE) and 92,29 mg/L (SB), with efficiencies of 81,48%; temperature of 18,35 °C (BE) and 18,08 °C (SB); DQO of 809,50 mg O₂/L (EB) and 86,61 mg O₂/L (SB), with efficiencies of 91,09%; pH of 7,40 (EB) and 6,97 (SB); DBO₅ of 370,63 mg O₂/L (EB) and 83,92 mg O₂/L (SB), with efficiencies of 84,24%; *E. coli* of 3.688333 x 10⁶ NMP/100 mL (EB) and 1,25833 x 10⁵ NMP/100 mL, with efficiencies of 97.64%; total coliforms of 2,47325 x 10⁷ NMP/100 mL (EB) and 7,4375 x 10⁵ NMP/100 mL (SB), with efficiencies of 98,10%. It is concluded that the biodigesters in the community of San Antonio de la Iraca showed a removal efficiency of over 60%, with the month of March having the highest performance in the treatment of wastewater.

Keywords: Biodigester, efficiency, removal, biodigester inlet and outlet.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad, la generación de aguas residuales en nuestro planeta ha aumentado debido a la expansión de la población y las actividades humanas (Limache y Tirado, 2022). La contaminación ambiental que proviene de las aguas residuales se está volviendo un problema más importante en el mundo actual (Barrera et al., 2024). Más de 2500 millones de personas en el planeta carecen de acceso a un saneamiento básico; en Latinoamérica, más de 120 millones de personas, sobre todo en áreas rurales, no tienen acceso a servicios sanitarios mejorados (Camacho, 2020).

Cada día la escasa infraestructura y el funcionamiento ineficaz de las plantas para el tratamiento de aguas residuales (Cusiche y Miranda, 2019). La problemática por la contaminación del agua ha incrementado en países como Estados Unidos y China, donde el 80% de sus ríos están contaminados (Mejía et al., 2017). Además, un 80,5% de las viviendas rurales no cuenta con sistemas de alcantarillado y hace uso de otras opciones, como letrinas, pozos sépticos o la eliminación de excretas al aire libre (Gutiérrez, 2025). El vertido de aguas residuales sin tratar en el ámbito ambiental pone en peligro el bienestar humano y animal, dado que aquellas son capaces de propiciar una variedad de afecciones. Las aguas residuales pueden tener una alta concentración de patógenos, contaminantes orgánicos e inorgánicos, microorganismos y productos químicos dañinos (Castro y Delgadillo, 2024). En los brotes causados por patógenos transportados por el agua (patógenos), los más frecuentes son los causados por virus, especialmente adenovirus humano (HAdV), norovirus (NoV), virus de la hepatitis A (HAV), rotavirus A (RVA) y otros (Castillo, 2016).

En el Perú, millones de personas en áreas periurbanas y rurales no tienen acceso a un servicio de saneamiento básico (Román, 2019). Presentando problemas de inadecuada disposición final de aguas residuales sin ningún tratamiento alguno y los cuerpos receptores que generan pérdida de la calidad del agua, biodiversidad acuática y usos del agua (Cusiche y Miranda, 2019; Trejo et al., 2014). En el Perú, en las zonas rurales, el 80,5% de los habitantes carece de acceso a alcantarillado y emplea diversos procedimientos para deshacerse de sus excretas: 9,5% utiliza pozos ciegos; 5,2%, pozos sépticos; 2,8%, letrinas; 1,2%, ríos, acequias o canales; y el restante 6,5% no tiene a su disposición ningún servicio para eliminar excretas (Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2020). Los procedimientos de tratamiento que se usan en las ciudades más importantes del Perú no son lo bastante eficaces para erradicar las aguas residuales (Vera et al., 2023), generan eutrofización, aumentando la cantidad de nitrógeno y fósforo que afectan significativamente a los usos del agua (Calvopiña, 2015).

En Cajamarca, las aguas residuales son tratadas de manera muy deficiente y este problema se ha incrementado debido a que la población sigue creciendo por el desarrollo de actividades mineras y agroindustriales, situaciones que han generado un incremento desordenado que no permite hacer una eficiente gestión del tratamiento de las aguas residuales; esta problemática se agudiza más aún porque no se tiene implementado un sistema efectivo de remoción. El manejo de las aguas residuales domiciliarias sigue sin resolverse (Pérez et al., 2022), y es el principal origen de la contaminación por el tratamiento inadecuado que se realiza (Paucar y Iturregui, 2020).

La comunidad de San Antonio de la Iraca cuenta con sistemas de biodigestores; sin embargo, estos sistemas son instalados muy cercanos a las viviendas, por ello, deben eliminar eficazmente los contaminantes para asegurar un ambiente sano y evitar generar focos de contaminación por aguas residuales. Por ello, es fundamental conocer los parámetros físicos

(sólidos suspendidos totales), químicos (demanda química de oxígeno, potencial de hidrógenos, demanda bioquímica de oxígeno) y microbiológicos (*Escherichia coli*, coliformes totales) al ingreso y salida del biodigestor, debido a que hasta la actualidad se han desarrollado limitadas investigaciones sobre la eficiencia de los biodigestores.

1.2. Formulación del problema

¿Cuánto es la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca?

1.3. Justificación de la investigación

La calidad del agua garantiza los procesos de vida; sin embargo, la creciente demanda por el incremento poblacional y el desarrollo de actividades cotidianas hace que la disponibilidad sea más limitada. A todo esto, se suman las aguas residuales, las cuales son portadoras de grandes masas de materia orgánica, microorganismos y detergentes, lo cual hace que los cuerpos receptores sufran cambios en sus características. En Perú, el agua residual procesada de manera apropiada podría ser una fuente apreciada de agua para cultivos de tallo alto (Niquén et al., 2021). Un sistema de tratamiento de aguas residuales se compone de una serie de procedimientos físicos, químicos y biológicos que buscan erradicar los contaminantes presentes en el agua contaminada (Humanante et al., 2022). Es crucial sanear los efluentes contaminados para evitar enfermedades y salvaguardar los ecosistemas (Sushila y Kumar, 2024).

Los biodigestores en las viviendas de la zona rural son sistemas de tratamiento que brindan mejores condiciones de vida; sin embargo, son instalados muy cercanos a las viviendas, por eso se requiere que sean eficientes en la remoción de contaminantes; por ello, es fundamental determinar

la remoción de los parámetros físicos (SST, temperatura), químicos (DQO, pH, DBO₅) y microbiológicos (*Escherichia coli*, coliformes totales). El tratamiento del agua desempeña un rol crucial para cuidar el medio ambiente (Gonzalez, 2023). Los resultados proporcionaron información cuantitativa de la eficiencia de remoción de los biodigestores familiares.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca – Chota.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar la concentración de los parámetros físicos (SST, temperatura), químicos (DQO, pH, DBO₅) y microbiológicos (*Escherichia coli* y coliformes totales) al ingreso y salida del biodigestor.

Determinar la eficiencia de remoción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en el tratamiento de las aguas residuales.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. A nivel internacional

Da Silva et al. (2019) evaluaron la eficiencia en la eliminación de microorganismos patógenos (bacterias y virus) en las zonas rurales en Brasil, monitorearon el afluente y el efluente donde se analizaron los parámetros fisicoquímicos y la eliminación de patógenos, determinaron que los biodigestores lograron una eficiencia del 90% en la reducción de adenovirus humano, *salmonella* sp. y *Escherichia coli*; se eliminaron hasta el 99,9%.

Huertas y Cubillos (2018) en Colombia, estudiaron la eficacia con que un biodigestor anaerobio elimina la materia orgánica; realizaron monitoreo en el efluente y afluente; como resultados reportaron, los valores de pH de la entrada del sistema variaron entre 7,3 y 8,21, y los de salida fluctuaron entre 6,5 y 6,99; se registró una temperatura media de 25 °C en el afluente y de 27 °C en el efluente; los sólidos suspendidos totales (SST) del afluente son 3186,67 mg/L y los del efluente, 580,60 mg/L; se logra una eliminación de hasta el 81,04%; la eficiencia fue del 84,95% en cuanto a la demanda biológica de oxígeno (DBO₅); se concluye que el tratamiento demostró ser el más eficaz en eliminar la materia orgánica, considerando los parámetros fisicoquímicos.

2.1.2. A nivel nacional

Silva (2022) evaluó la eficiencia de remoción de un biodigestor comercial en el tratamiento de aguas domiciliarias en San Martín; el monitoreo se realizó en el afluente y efluente de la Unidad

Básica de Saneamiento (UBS); según los resultados, el biodigestor llegó a la demanda bioquímica de oxígeno promedio del afluente y del efluente, que fueron 338,50 mg/L y 163,90 mg/L respectivamente, con una eficiencia media del tratamiento del 51,48%; en el afluente, la demanda química de oxígeno promedio fue de 746,25 mg/L; por otro lado, el efluente tuvo un valor de 402,75 mg/L y una eficiencia estimada del tratamiento de 46%. El promedio de sólidos en suspensión total se encontró que era 156,50 mg/l en el afluente y 73,75 mg/l en el efluente. Esto nos da una eficacia media del tratamiento de 52,84%; el afluente tenía un pH de 8,05 y el efluente, de 8,01; la temperatura del afluente fue de 20,50 °C y la del efluente fue de 19,00 °C. Se concluye que el biodigestor no está funcionando adecuadamente en el tratamiento y que no satisface los requerimientos de los parámetros de vertido de efluentes residuales; esto puede ocurrir por varias razones; el biodigestor no es adecuado para el tratamiento o no cumple con lo especificado, o se está manejando de forma incorrecta.

Trejo y Rojas (2020) evaluaron la eficacia de una Unidad Básica de Sanidad (UBS) en la región Ucayali. Se llevó a cabo un análisis y muestreo de la calidad del agua residual en dos puntos del sistema, denominados afluente (entrada) y efluente (salida), entre marzo y junio de 2018, con una altitud de 138 metros sobre el nivel del mar. Se tomaron diez muestras de cada uno de estos lugares. Los resultados indicaron que los promedios para cada parámetro fueron los siguientes: pH: 6,88 - 7,11; temperatura: 26,46 - 26,3 °C; DBO₅: 231 - 89,5 mg/L; DQO: 289,2 -127 mg/L; SST: 25,08 -7,04 mg/L; Coliformes termotolerantes: 6,492538 x10⁵-9,8999 x10³ NMP/100 mL. La eficacia del tratamiento de las aguas residuales fue la siguiente: sólidos suspendidos totales (71,93%); DBO₅ (61,25%); DQO (56,08%); coliformes termotolerantes (98,47%). Se concluye que las unidades básicas de saneamiento para eliminar contaminantes son eficientes.

Rios y Cisneros (2019) determinaron la eficiencia de remoción de aguas residuales a nivel unifamiliar en Carapongo - Luriganchos Chosica- Lima; se realizó el monitoreo en el afluente y el efluente durante tres meses (noviembre, diciembre y enero), a una altitud de 471 m s. n. m.; obteniendo los siguientes resultados en el afluente y efluente: para grasas y aceites (108 y 21 mg L⁻¹); coliformes totales (9,4x10⁷ y 1,5x10⁶ NMP/100 mL); coliformes termotolerantes (6,9x10⁵ y 2,6x10⁷ NMP/100 mL); DBO₅ (2632,6 y 393 mg L⁻¹); DQO (680 y 3799,3 mg/L); sólidos en suspensión totales (1788,6 y 187 mg/L); pH (7.4 y 8.6) y temperatura del agua (22.5 °C frente a 22.4 °C); también determinaron que el biodigestor alcanzó a remover el 82,5% de los aceites y grasas, coliformes totales a un 98,3%, coliformes termotolerantes a 97,3%, DQO a un nivel de 82%, DBO₅ 84,9% y el 89,5% en SST; se concluyeron que el biodigestor alcanza una eficiencia de remoción del 89% y es una herramienta fundamental para minimizar los impactos ambientales.

Domínguez y Rojas (2019) evaluaron la eficiencia de los biodigestores con arrastre hidráulico en el Centro Poblado de Nueva Acobambilla, Distrito de Huando – Huancavelica. Se realizó monitoreo en la entrada y salida, con una altitud aproximada de 3633 m s. n. m.; como resultados, reportaron que el sistema logró una remoción del 50,09% para SST, 73,14% para DQO, 71,47% de DBO₅ y 36,75% de CCT, concluyendo que estos sistemas realizan una efectiva remoción y que se ve influenciada por la temperatura, esta situación altera la rapidez de sedimentación de las partículas suspendidas.

Ajahuana et al. (2017) examinaron el rendimiento de un sistema de tratamiento primario de aguas residuales en la Urbanización Alameda de Ñaña, Lima; para tal fin, se creó y estableció un biodigestor anaerobio en las instalaciones de la Universidad Peruana Unión (UPeU) a 556 metros sobre el nivel del mar. Se obtuvieron los resultados siguientes: Parámetros físicoquímicos: pH (6,8), sólidos totales (960 mg/l), turbiedad (11,5 UNT), conductividad eléctrica (1940 µs cm⁻¹

¹); microbiológicos: Coliformes totales (16×10^4 a 16×10^2 NMP/100 mL, siendo 99% de remoción de microorganismos), coliformes fecales (>1600 NMP/100 mL), *E. coli* (16×10^4 a 16×10^2 NMP/100 mL, siendo 99% de remoción de microorganismos); y bioquímicos: DBO₅ (27,95 mg/L), DQO (94,6 mg/L afluente y 47,3 mg/L en el efluente). Por lo tanto, se deduce que el biodigestor es eficiente en el tratamiento de aguas residuales; es adecuado para el riego de plantas de tallo alto y bajo.

2.1.3. A nivel regional

Huaccha y Muñoz (2023) evaluaron la efectividad de reactores biológicos prefabricados en el tratamiento de aguas residuales en la localidad Pampa Larga, Cajamarca; realizaron monitoreo en el efluente y afluente durante tres meses (septiembre, octubre y noviembre). Altitud de 2766 m s. n. m.; como resultados presentaron para el efluente las bacterias coliformes termotolerantes, es de $6,036433333 \times 10^9$ NMP/100 mL; DBO₅ de 380,5 mg/L; DQO de 749 mg/L; pH de 7,58; SST de 389,9 mg/L; temperatura de 19,5 °C y para aguas del afluente los valores son $6,99333333 \times 10^7$ NMP/100 mL los coliformes termotolerantes; 126,9 mg/L la DBO₅; 299,9 mg/L la DQO; 7,43 de pH, 1,63 mg/L de SST y 19,6 °C de temperatura. La eficiencia promedio de eliminación de DBO₅, DQO, SST y coliformes termotolerantes es 63,106%, 57,543%, 99,576% y 91,3%, respectivamente; se concluye que, además de la altitud o temperatura ambiental, el mantenimiento y limpieza apropiados del biodigestor prefabricado son elementos relevantes para la eficacia de remoción.

Mori (2021) evaluó la eficiencia de un biodigestor tubular en Celendín; realizó monitoreo en el efluente cada 15 días durante cuatro meses; como resultados, reporta que el biodigestor

alcanzó una eficiencia de remoción en DBO₅ 99,72%, DQO 98,98% y 99,17% para SST. Concluyó que la unidad de muestreo es eficiente para tratar aguas.

Goicochea (2022) evaluó la influencia de la altitud de biodigestores para el tratamiento de aguas en la provincia de Celendín, Cajamarca; se realizó monitoreo en la entrada y salida del biodigestor; como resultados, reportó que a 2645 m s. n. m., los biodigestores alcanzaron una remoción de coliformes termotolerantes de 97,62% y 24,52% de DBO₅; a 3135 m s. n. m., la remoción alcanzada fue del 35% en coliformes termotolerantes y 18,77% de DBO₅.

2.1.4. A nivel local

Mego (2023) evaluó la remoción de DQO, DBO₅, SST en biodigestores instalados en la comunidad de Cabracancha, Chota. Se realizó monitoreo en tres biodigestores; como resultados, reportó que, a una altitud de 2904 m s. n. m., la eficiencia promedio fue del 77,84% para la DBO₅, DQO fue de 79,76% y 89,32% de SST. Concluyó que los sistemas realizan una efectiva remoción; sin embargo, requiere de un tratamiento secundario para mejorar la calidad del efluente.

2.2. Bases teórico-científicas

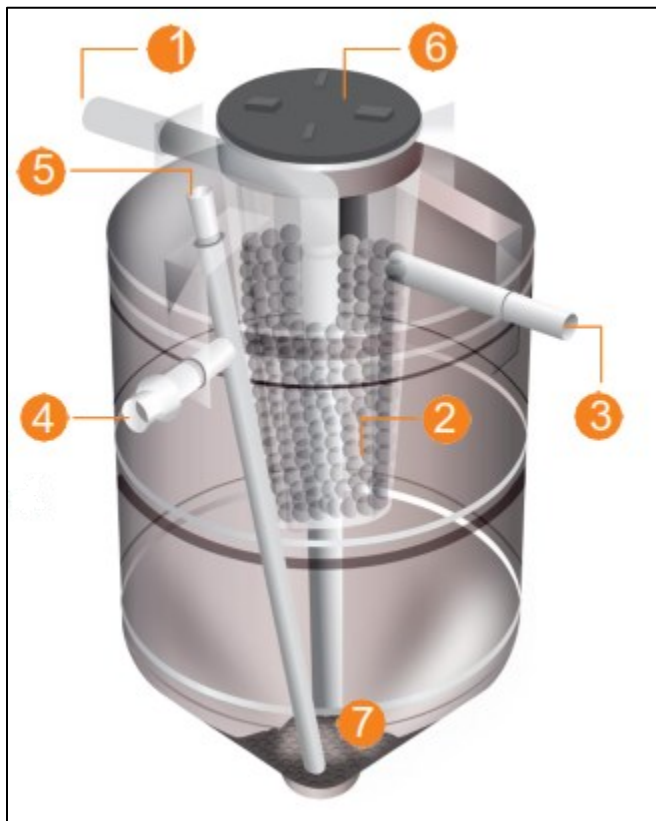
2.2.1. Biodigestores prefabricados

Se trata de un contenedor cerrado, sellado e impermeable que contiene el material orgánico que se va a fermentar. Tiene la capacidad de realizar un tratamiento primario de aguas residuales en favor del medio ambiente, sin contaminar los acuíferos (Pérez y Alvarado, 2021). El biodigestor está construido con polietileno, un material que no se fisura y es robusto; este último permite que los excrementos sean almacenados de forma segura. Su color negro ayuda a la retención y absorción de la radiación solar, así como a elevar la temperatura en el interior del contenedor. El

biodigestor tiene una capacidad de 600 litros, elegida con base en cuántas personas puede atender. En este caso son cinco por vivienda (Domínguez y Rojas, 2019). Este tipo de sistema puede emplearse en áreas rurales donde no es factible instalar una red de drenaje debido a que las viviendas están dispersas o a una distancia significativa entre sí, como en hoteles edificados en áreas rurales, centros educativos rurales, entre otros; actualmente, este tipo de sistema para el tratamiento de agua residual se destaca como una de las mejores alternativas, dado que su funcionamiento y mantenimiento son sencillos; además, solo requiere un reducido espacio de terreno disponible para realizar de manera eficaz la instalación y operación; estas aguas tratadas pueden emplearse para el riego de jardines o plantas de alto tallo (Mejía, 2019).

Figura 1

Componentes de un biodigestor prefabricado



Nota. Fuente: Rotoplas (2024). https://globalss.com.pe/wp-content/uploads/2025/01/FT-Biodigestor_new-1.pdf

Donde: 1: Tubo de PVC de 4" utilizado para la incorporación de desechos orgánicos. 2: Contenedor biológico que contenga aros de plástico (PET). 3: Tubería de PVC de 2 pulgadas para expulsar el agua tratada hacia el pozo absorbente o al campo de infiltración. 4: Regulador esférico para la remoción de lodo. 5: Tubería de PVC con un diámetro de 2" para la limpieza y/o desobstrucción. 6: Tapa de 18" con clic. 7: Base cónica para la recolección de lodos.

Eficiencia de los biodigestores. La materia orgánica en un biodigestor está, en términos proporcionales, acompañada de una cantidad de agua más grande; este volumen de agua pasa primero por el proceso, mientras que la materia orgánica se queda rezagada; a medida que se añade más materia orgánica, esta se acumula en el biodigestor; si la rapidez con la que entra la materia orgánica sobrepasa la velocidad biológica de degradación de las bacterias facultativas, ocurre un desequilibrio en la eficiencia del biodigestor y llega un momento en el cual su uso resulta completamente innecesario debido a su ineficacia (Rodrigo y Vega, 2020). La evaluación de la eficacia del biodigestor se lleva a cabo considerando la reducción alcanzada, efectuando una comparación con los parámetros que se estudiaron inicialmente en la materia de carga (afluente); finalmente, se busca apreciar cambios significativos, tales como: cambio en la población, instauración y expansión de industrias, cambio en la composición y uso de recursos naturales, entre otros (Silva, 2022).

Límites máximos permisibles. Es el análisis de la cantidad o nivel de parámetros físicos, químicos y biológicos, sustancias o elementos que determinan una emisión; si esta se sobrepasa, podría causar daños a la salud, al bienestar humano y al medio ambiente; la legalidad exige su cumplimiento tanto por el MINAM como por las entidades que integran el Sistema de Gestión Ambiental (MINAM, 2010).

Tabla 1*LMP para el vertimiento a los cuerpos de agua*

Parámetro	Valor permitido	Unidad de medida
pH	6,5 a 8,5	
Aceites y grasas	20	M/ l
BBO	100	mg/ L
DQO	200	mg/L
STS	150	mg/ L
Coliformes termotolerantes	10 000	NMP/100 mL
Temperatura	<35	°C

Fuente. Adaptado de Decreto Supremo N.º 003-2010-MINAM (2010).

2.2.2. Aguas residuales

Se refiere a aquellas cuya calidad ha sido alterada, y se definen por la carga orgánica y sólida. Las aguas residuales incluyen material orgánico e inorgánico suspendido y disuelto que, según la clase de constituyente, se clasifican en tres tipos: i) Convencionales (materia orgánica carbonácea, sólidos en suspensión y coloidales, nutrientes y microorganismos perjudiciales); ii) No convencionales (sólidos disueltos, metales, surfactantes, compuestos volátiles orgánicos); iii) Emergentes (hormonas y esteroides, antibióticos para humanos y animales, detergentes artificiales, fármacos médicos y otros). (Torres, 2013). El agua residual doméstica está constituida por componentes físicos, químicos y biológicos: es una mezcla de elementos inorgánicos y orgánicos, ya sean disueltos o suspendidos. La mayor parte de la materia orgánica está formada por residuos de alimentos, excreciones, materiales vegetales, sales minerales y otros compuestos como detergentes y jabones sintéticos (Mejía, 2015).

A. Propiedades físicas

Sólidos suspendidos totales. Los suspendidos totales o desechos no filtrables de una muestra de agua residual se describen como la cantidad de sólidos que se mantienen retenidos por un filtro (Guerrero et al., 2011). Está representado material soluble y coloidal que necesita eliminación de oxidación, sedimentación o actividad biológica (Raffo y Ruiz, 2014). Todo residuo que queda después de ser filtrado a través de membranas con tamaño de poro de 1,2 μm y tras la evaporación del agua a 103 °C está compuesto por una serie de compuestos químicos, lo que convierte esta prueba en una prueba global. Esto incluye sales inorgánicas (como nitratos, carbonatos, cloruros, sulfatos, bicarbonatos y fosfatos), así como sustancias orgánicas. El rango típico de sólidos totales disueltos en el agua suministrada varía entre 25 y 5 000 mg L^{-1} , dependiendo de la geología regional; 200 mg L^{-1} es generalmente la concentración preferida (Daviran, 2021).

Los SST son indicadores empleados en los procesos de purificación de aguas y en la valoración de la calidad del agua (Vera y Zambrano, 2019). Definen la cantidad de sólidos (normalmente medidos en miligramos por litro - mg/l), que se encuentran en suspensión (Severiche et al., 2013). Al aproximarse al pH neutro, se consiguen los porcentajes más altos de eliminación de los sólidos totales disueltos (Chowdhury et al., 2013). La eliminación de los sólidos suspendidos totales en un biodigestor se debe a que estos sólidos son el sustento para los microorganismos encargados de la biodigestión (Wong y Jiménez, 2009).

Temperatura. Para la digestión anaerobia para este tipo de aguas, la temperatura adecuada para la actividad bacteriana varía entre 25-35 °C; la fermentación aeróbica y la nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza los 50 °C; sin embargo, cuando está por debajo de 15 °C,

la descomposición metanogénica es muy lenta y a 5 °C las bacterias nitrificantes autótrofas dejan de funcionar (Mejía et al., 2021). La temperatura en un biodigestor anaerobio oscila entre los 5 °C y los 60 °C, por lo que las bacterias metanogénicas presentan una mayor sensibilidad a la temperatura que los demás microorganismos de un biodigestor, dado que su ritmo de crecimiento es más pausado; un descenso de temperatura podría posponer la generación de metano, sin afectar la actividad de las bacterias que producen ácido, lo que facilita un exceso de acumulación de ácidos y una potencial avería en el biodigestor y baja eficiencia (Rivas et al., 2011).

Para el tratamiento de aguas residuales, tanto de uso doméstico como industrial, usualmente se procesan a temperaturas de 18 °C (Garnica y Rivera, 2022). La relevancia de comprender la temperatura de una muestra es descubrir su condición, dado que esta temperatura puede influir en el desarrollo de microorganismos aerobios o anaerobios, además de la eficacia de la actividad metanogénica y la solubilidad del agua (Baird et al., 2017). La temperatura influye de manera directa en el proceso de regulación del ritmo de crecimiento de los microorganismos en el biodigestor (Germán Cárdenas, 2009), es crucial, dado que impacta en otros indicadores de calidad del agua cuyas propiedades tienen un gran impacto en la vida acuática, ya que la mayoría de los microorganismos poseen temperaturas ideales para su reproducción y actividad, y pueden iniciar la degradación de la materia orgánica presente en el agua (García, 2010).

En el campo de la biología, este parámetro afecta a otras propiedades químicas y físicas, tales como la conductividad eléctrica, el pH y la cantidad de oxígeno disuelto (Valera, 2016). La digestión anaerobia es un proceso que depende de la temperatura y en el que las circunstancias atmosféricas del medio ambiente y la disposición del biodigestor donde tiene lugar afectan a los fenómenos de transferencia de materia, energía y cantidad de movimiento (Sossa y Alvarez, 2016).

B. Propiedades químicas.

Demanda química de oxígeno (DQO). Otro indicador de contaminación es la demanda química de oxígeno, que evalúa el volumen de oxígeno necesario para oxidar la materia orgánica degradable y los desechos de fibras, ligninas y otros elementos. Si se reduce en un 47,03%, esto indica que las condiciones del entorno anaerobio y la actividad microbiana provocaron la degradación, lo que generó una disminución en su actividad y, por lo tanto, en el consumo de oxígeno (Soria et al., 2001). Para oxidar la materia orgánica, el reactivo químico más utilizado para determinar es el $K_2Cr_2O_7$ (dicromato de potasio); es un parámetro clave a controlar para garantizar la calidad del agua (Mayta y Mayta, 2017).

La demanda química de oxígeno (DQO) es un marcador crucial de la polución de los efluentes y, por lo tanto, su cálculo es esencial en la fase de tratamiento de los efluentes (Unfer, 2021). Estos niveles iniciales de DQO son resultado de que las aguas residuales contienen varios contaminantes orgánicos e inorgánicos y de que diversas investigaciones evidencian que las personas excretan de 100 g a 500 g de heces diariamente y de 1 L a 3 L de orina diariamente, aportando a una DQO de 20 g a 45 g diarios (Leiva, 2024).

Para la eliminación de la DQO, pueden fluctuar dependiendo de los parámetros operativos, como el rango mínimo de pH, la temperatura, el tiempo de retención hidráulica (TRH), la concentración de AGV y la alcalinidad (Ramos y Vargas, 2020). Es importante considerar que la DBO de una muestra se basa en su contenido de sustancias orgánicas (Álvarez, 2003).

Potencial de hidrógeno (pH). Parámetro que mide la acidez o alcalinidad de una sustancia; sus valores oscilan entre 0 y 14 y su nivel óptimo es de 6,5-8,0 (Mayta y Mayta, 2017). Cuando el pH está más próximo a la neutralidad, se promueve la actividad de los microorganismos

(Torrijos et al., 2016). El pH oscila entre 6 y 8; a medida que las excretas sean más frescas, el pH será más neutro (Osorio et al., 2007). El pH tiene un impacto significativo en los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, especialmente en el anaerobio, ya que las bacterias metanogénicas se ven seriamente afectadas por sus variaciones (Pérez, 2002, como se citó en Ajahuana et al., 2017). El pH influye en la estabilidad del proceso de biodegradación porque estabiliza la presencia de microorganismos (Cendales, 2011). Según Castro y Flores (2019), el pH óptimo para que el proceso de digestión anaerobia se desarrolle es entre 6,5 y 7,5.

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅). Es un parámetro que determina la cantidad de oxígeno disuelto necesario para degradar los compuestos biodegradables (González y Ramírez, 2011). Es un proceso de oxidación que se trabaja a 20 °C, por un periodo de tiempo de 5 días (Raffo y Ruiz, 2014). La DBO₅ en aguas residuales permite establecer la cantidad de compuestos orgánicos que los microorganismos son capaces de desintegrar durante el proceso de procesamiento biológico, para determinar la cantidad de materia orgánica que los microorganismos pueden degradar en un proceso biológico, la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) continúa siendo muy utilizada en la caracterización de las aguas residuales, a pesar de los desafíos inherentes a esta determinación, en términos de trabajo y exactitud que implican sus resultados, en contraposición a la demanda química de oxígeno (DQO) (Menéndez y Dueñas, 2018).

Se requiere una mayor cantidad de oxígeno para la degradación de los elementos orgánicos en el agua residual si hay una mayor concentración de ellos; en otras palabras, cuando el volumen de materia orgánica en un ejemplo de agua es más alto, se necesitan más microorganismos portadores de oxígeno para que esta sea oxidada o desintegrada (Raffo y Ruiz, 2014). DBO₅ es adecuado para evaluar la eficacia de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) (Chavarría et al., 2023). Al notar una tendencia negativa, mostrando valores de remoción

negativos; esto se debe a que el contenido del efluente se incrementó debido a la interrupción del proceso de fermentación bacteriana; por ende, la aportación de materia orgánica e inorgánica se incrementa significativamente en la liberación de su vertimiento (Cabrejo, 2022).

C. Propiedades biológicas.

***Escherichia coli*.** Su presencia en el medio ambiente es una indicación de contaminación fecal (Miranda et al., 2023). Alrededor del 95% de los coliformes presentes en las heces fecales se componen de *Escherichia coli*; estos microorganismos incluyen un amplio conjunto de bacterias que usualmente habitan en el sistema digestivo de humanos y animales, por lo que se encuentra gran cantidad en aguas residuales; al estar en alta concentración, ocurre debido a la elevada concentración de la carga orgánica (Ajahuana et al., 2017). La *E. coli* es una bacteria patógena anaerobia facultativa que se encuentra en los excrementos, con una cantidad de microorganismos que varía entre cien millones y mil millones por cada gramo de materia fecal; su supervivencia depende del consumo de nutrientes específicos presentes en las heces (Sánchez, 2016).

Coliformes totales. Es un género de bacteria que se encuentra comúnmente en el suelo, animales y en las plantas (Fernández, 2017). Su presencia es un indicador de contaminación y la mayor cantidad se concentra en las aguas residuales (Robert et al., 2005). Su presencia en los cuerpos de agua es un indicativo claro de que la contaminación se debe a descargas de aguas residuales o materia en descomposición, y en particular por residuos orgánicos; la contaminación fecal representa el riesgo sanitario más elevado para estos cuerpos acuáticos, porque esta agua contiene microorganismos patógenos capaces de provocar enfermedades que suponen una amenaza para la salud humana (Fernández et al., 2022). Los coliformes totales pueden ser eliminados completamente en el biodigestor a los 46 días, que correspondió al tiempo total de

retención de la excreta, y representan el nivel de descontaminación de la excreta (Estrada et al., 2008).

2.2.3. *Tratamientos de aguas residuales.*

Pretratamiento. Proceso que se realiza para la retención de sólidos gruesos y arenas a través de cribas o rejillas y desarenadores, respectivamente, que facilita la retención de sólidos de gran grosor y arenas que benefician las etapas subsiguientes del tratamiento (Moscoso, 2016).

Tratamiento primario. Es de naturaleza física y tiene como objetivo eliminar los sólidos de tamaño reducido que se mantienen en el tratamiento preliminar mediante el uso de la sedimentación; la meta es optimizar el manejo de las unidades subsiguientes, el tratamiento primario posibilita la eliminación de cerca del 90% de los sólidos sedimentables y del 65% de los sólidos suspendidos en un agua residual urbana; también se logra una reducción de la DBO₅ aproximadamente del 35% (Delgadillo y Condori, 2010).

Tratamiento secundario. Tras el tratamiento primario, que elimina la mayoría de los desechos sólidos, comienza el tratamiento secundario, responsable de disminuir los compuestos orgánicos a través de procesos biológicos, ya sean aerobios o anaerobios; el proceso aerobio se lleva a cabo mediante la adición de oxígeno en los depósitos de aguas residuales para eliminar productos de nitrógeno; la cantidad de oxígeno que se inyecta se determinará por la planta de tratamiento (Cely et al., 2022).

Tratamiento terciario. El propósito del tratamiento terciario es la eliminación de contaminantes particulares, generalmente tóxicos o compuestos difícilmente biodegradables, o la eliminación adicional de algunos contaminantes que no se han eliminado adecuadamente en el

tratamiento secundario (von Sperling, 2014, como se citó en Augusto y Bressani, 2023). Normalmente, se percibe como tratamiento terciario la eliminación de nutrientes (nitrógeno, N, fósforo y P) y de entidades patógenas (Augusto y Bressani, 2023).

2.2.4. Factores que afectan la eficiencia de remoción de contaminantes en biodigestores

Características de los residuos: La existencia de gran cantidad de sólidos totales suspendidos, sustancias orgánicas biodegradables, componentes inorgánicos disueltos, metales pesados, nutrientes y contaminantes orgánicos de mayor importancia (Osorio, 2021).

El tiempo de retención: Según Manyuchi et al. (2019), el tiempo de retención hidráulico tiene un impacto directo en el desempeño del biodigestor, ya que a mayor duración de esta, mayor será la eficacia de su eliminación. El período de retención hidráulica mejora la calidad de la biomasa y previene la aglomeración de materia, lo que podría reducir la eficacia del tratamiento (Kumar et al., 2016).

El mantenimiento del sistema: Es fundamental verificar y limpiar los filtros con regularidad para garantizar que no estén bloqueados; es necesario verificar que no existan fugas en las uniones y tubos; vigilar el volumen de lodos y eliminarlos cuando se requiera para prevenir su acumulación desmedida (Paucar y Álvarez, 2025).

2.2.5. Mecanismos biológicos para la depuración de aguas residuales por microorganismos

A. Principios generales del proceso biológico

Los tratamientos biológicos de las aguas residuales son un método más sustentable y menos energético que el tratamiento de aguas residuales tras la fase inicial de pretratamiento (Anand et al.,

2023). Asimismo, los consorcios de bacterias autótrofas y heterótrofas nativas de las aguas residuales se ocupan de la mayor parte de los metales pesados y nutrientes como el nitrato y el fosfato que hay en las aguas residuales, además de contribuir a estabilizar el proceso de tratamiento aguas abajo (Xia et al., 2019). Además, colaboran en la mejora de las aguas residuales al disminuir el olor y los colores, así como al incrementar la efectividad de cualquier planta de tratamiento (Del Nery et al., 2016).

B. Principales mecanismos biológicos

Los métodos de tratamiento biológico se fundamentan en que los microorganismos se utilizan para descomponer o cambiar la materia orgánica y los nutrientes presentes en las aguas residuales (Madondo et al., 2021). La biorremediación, la fitorremediación y la biorremediación son algunas de las técnicas habituales de tratamiento biológico; asimismo, los métodos facultativos, anóxicos, anaeróbicos y aeróbicos lo son (Martins et al., 2024).

Oxidación biológica:

Digestión anaerobia: La digestión anaeróbica es una tecnología que se usa con frecuencia y que se ha consolidado como un método para tratar aguas residuales, siendo capaz de descomponer lodos de depuradora y residuos orgánicos húmedos en condiciones anaeróbicas (Huang, 2024). Los residuos de alimentos, los desechos agrícolas, el estiércol animal y los sólidos de aguas residuales son ejemplos de materias primas orgánicas comunes (Zhang et al., 2020). Estos materiales, mediante la acción de microorganismos, se transforman en biogás, generando así fertilizantes reciclables y energía renovable (He et al., 2017).

Nitrificación y desnitrificación: Para mantener la calidad del agua y el equilibrio ecológico en los ecosistemas acuáticos, así como para prevenir la contaminación ambiental, como por ejemplo la toxicidad potencial para los seres vivos que residen en el agua o la eutrofización, es crucial expulsar nitrógeno de las aguas residuales municipales (Cacciari, 2005). La simultánea nitrificación/desnitrificación (SND) en el flóculo de lodo es un procedimiento intrincado que tiene lugar en ambientes de tratamiento biológico de aguas residuales; este procedimiento supone las acciones simultáneas de desnitrificación (transformación de nitratos en nitrógeno gaseoso) y nitrificación (oxidación de amonio a nitritos y nitratos) en el seno de la misma estructura floculante; el flóculo de lodo, debido a su naturaleza, ofrece una microestructura favorable para establecer diferentes áreas oxigenadas y anóxicas; el SND es un método que muestra potencial para la eliminación biológica de nitrógeno (Visnevschi y Povar, 2025).

Eliminación biológica del fósforo: El proceso de eliminación biológica optimizada del fósforo (EBPR) parece ser complejo por la sensibilidad específica de los microorganismos; requiere dos fases: zonas aeróbicas y anaeróbicas; se proporcionan sustratos orgánicos disponibles en EBPR, como ácidos grasos volátiles de cadena corta (AGV) o arreglos de reactores anaeróbicos-aeróbicos (cada uno, respectivamente), las plantas de tratamiento adecuadamente planeadas, diseñadas y manejadas pueden eliminar el fósforo (P) sin dificultad, a pesar de la complejidad de los mecanismos de EBPR (Srivastava et al., 2023). En el sistema de lodos activados, para eliminar biológicamente el fósforo (P), se incorporan áreas anóxicas o anaeróbicas antes de las fases aeróbicas; en estas áreas, las bacterias, como *Acinetobacter*, capturan ácidos grasos volátiles (AGV) y emiten P en la mezcla sin nitratos ni oxígeno; en la fase aeróbica posterior, estas bacterias absorben el fósforo (P) de manera lujosa y logran eliminar entre el 80 y el 90% del mismo (Abdoli et al., 2024).

C. Microorganismos más comunes

Los géneros más conocidos de las bacterias desnitrificantes autótrofas de azufre son *Thiobacillus* y *Sulfurimonas*, y la mayor parte de ellas se incluye en el filo Proteobacteria (Wang et al., 2022). Las bacterias, como las cepas de *Bacillus* y *Pseudomonas fluorescens* y *putida*, tienen la capacidad de emplearse en sistemas biológicos de aguas residuales (Kumar et al., 2021). *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Thauera*, *Acinetobacter*, *Hyphomicrobium*, *Dokdonella*, *Azoarcus*, *Rhizobium*, *Denitratisoma*, *Zoogloea* y *Sulfuritalea* son ejemplos de muchas bacterias desnitrificantes capaces de llevar a cabo la desnitrificación y la eliminación de materia orgánica en condiciones anóxicas o aeróbicas (Zhao et al., 2019). El género *Nitrotoga* es el oxidante de nitrito más importante (Saunders et al., 2016).

2.3. Marco conceptual

2.3.1. Afluente

Aguas residuales que arriban a una planta de purificación o a un procedimiento de tratamiento (Autoridad Nacional del Agua y Ministerio de Agricultura y Riego de Perú, 2017).

2.3.2. Efluente

Aguas cuyas propiedades iniciales han sufrido alteraciones debido a la actividad de producción (Ministerio de la Producción, 2020), se distinguen por poseer componentes contaminantes de carácter orgánico e inorgánico (Becerra et al., 2014).

2.3.3. Aguas residuales

Son los residuos líquidos derivados de usos domésticos, comerciales e industriales, que contienen una variedad de sustancias orgánicas e inorgánicas, originadas en el desagüe de baños, lavanderías (detergentes) y desechos industriales como aceites, grasas, curtiembres, entre otros (Córdova y Fernández, 2021).

2.3.4. Contaminación

La contaminación se refiere a la presencia de agentes de todo tipo (físicos, químicos o biológicos), ya sea por separado o en combinación, en lugares, formas y grados que perjudican la salud, la seguridad y el bienestar de las personas; también puede referirse a situaciones que puedan dañar a los seres vivos en general o incluso a la vida misma (Palacios y Moreno, 2022). Estos agentes contaminantes son producto de acciones humanas como la combustión de combustibles fósiles, la minería, el riego con aguas residuales y el reaprovechamiento de lodos residuales (Zhang et al., 2018).

2.3.5. Impacto

Proveniente del vocablo *impactus*, que en latín se traduce como "chocar", otros autores describen el "impacto ambiental" como el cambio en la calidad del entorno causado por una actividad humana, que necesita ser evaluado para determinar si es positivo o negativo y hasta qué punto y en qué grado (Angelcola et al., 2021).

2.3.6. *Materia orgánica*

La materia orgánica se refiere a cualquier sustancia de procedencia vegetal o animal presente en el suelo; si proviene de plantas, se compone de hojas, troncos y raíces, o si proviene de animales e incluso de microorganismos, se compone de cuerpos muertos y sus excretas (Garro, 2016), que se componen de componentes diversos y complejos, incluyendo carbohidratos, proteínas y ácidos grasos (Salgado et al., 2011).

2.3.7. *Oxígeno disuelto*

Es fundamental para la mayoría de los seres vivos debido a su necesidad del proceso de respiración aeróbica para producir energía y para el movimiento del carbono en la célula (Betancourt y Labaut, 2013). Se percibe como una de las variables más relevantes para el análisis de la calidad del agua; señala los distintos estados tróficos, el nivel de contaminación y la salud ecológica de los cuerpos de agua (MacKay et al., 2009).

2.3.8. *Eficiencia de remoción*

Se refiere al porcentaje de sustancia biológica que se mantiene dentro del reactor biológico, como la biomasa producida, como parte del proceso de tratamiento; de esta manera, el efluente o agua de salida se reduce o se elimina su carga orgánica en función de la calidad del funcionamiento del reactor (Reina, 2015). La efectividad en la degradación o eliminación está relacionada con la relación entre el volumen o concentración que se elimina y el que se aplica, en un proceso de tratamiento o planta, para un parámetro específico (Goicochea, 2022).

2.4. Hipótesis

H1: Los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan alta eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

H0: Los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan baja eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación es de tipo aplicada, busca la necesidad de resolver dificultades prácticas y mejorar las condiciones de vida (Vásquez et al., 2023), mediante la determinación de la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento biológico de las aguas residuales en la comunidad de San Antonio de la Iraca-Chota. Tomando un nivel descriptivo, la manipulación de las variables no se lleva a cabo, sino que se enfoca en la descripción de los fenómenos vinculados con la población (Cabezas et al., 2018).

3.2. Diseño de la investigación

Presenta un diseño no experimental, de corte longitudinal, es decir, los datos fueron recolectados en diferentes momentos (cada 15 días en un lapso de 3 meses); se obtuvieron muestras de aguas residuales en la entrada y salida. Los puntos de muestreo se establecieron de manera aleatoria por conveniencia en los cuatro sectores de estudio (San Antonio, Saca Sacas, Corralillo y Sitacucho).

3.3. Métodos de investigación

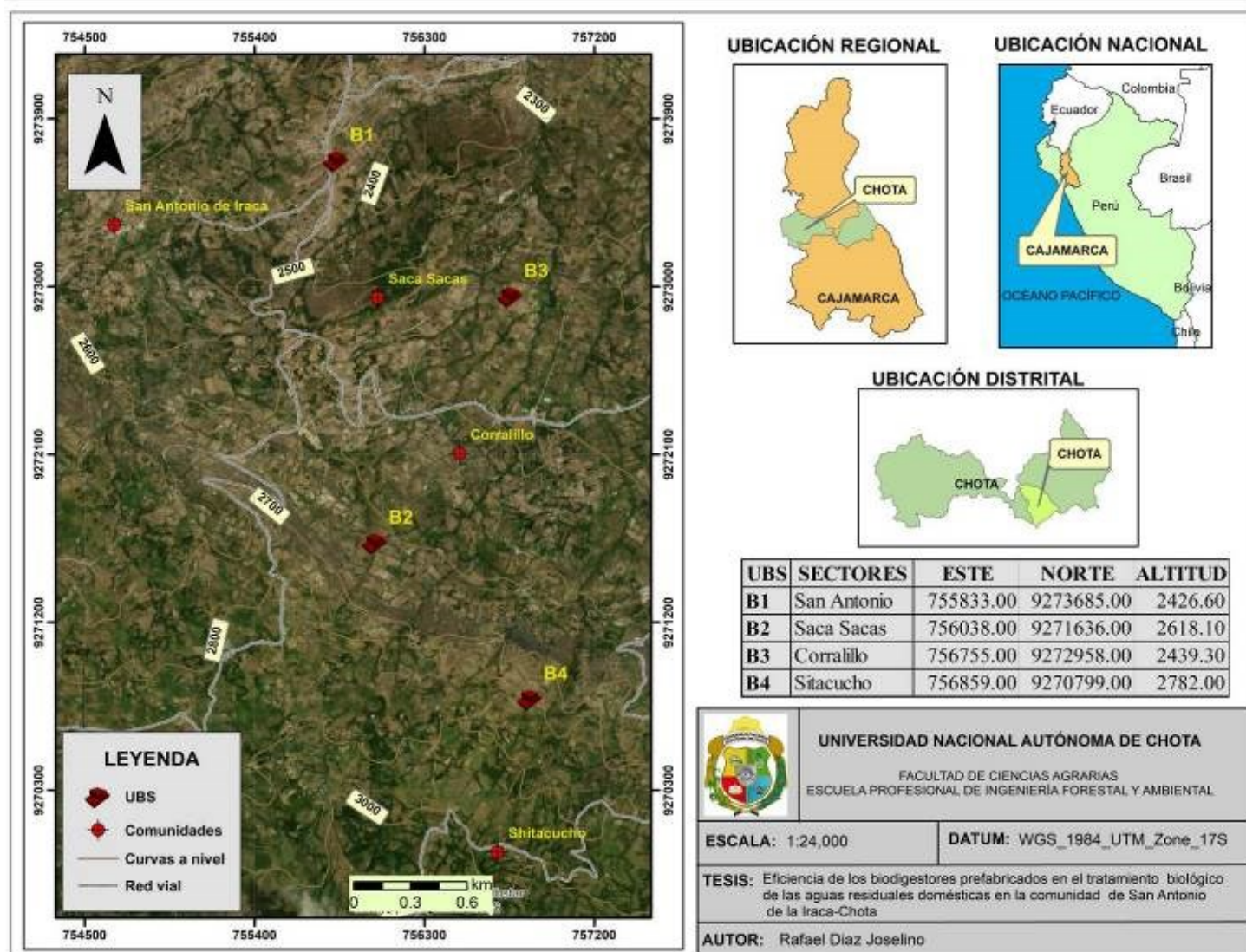
3.3.1. Ubicación

La investigación se desarrolló en el caserío de San Antonio de la Iraca, distrito y provincia de Chota, departamento de Cajamarca, ubicado en las coordenadas UTM 17S: 754692,0 E y 9273309,15 N, altitud: 2 449 m s. n. m. Presenta un clima lluvioso con otoños e inviernos secos;

la temperatura está en un rango de 7 a 23 °C, con precipitación anual de 1003,5 mm (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, 2024)

Figura 2

Ubicación de los puntos de evaluación



3.3.2. Equipos, materiales e insumos

- ❖ Formatos de registro.
- ❖ Plumón indeleble.
- ❖ Termohigrómetro digital HTC-2.
- ❖ GPS Garmin.
- ❖ Equipos de protección personal (guardapolvo y mascarilla).
- ❖ Frascos descartables de 1 L de plástico.
- ❖ Cooler
- ❖ Guantes
- ❖ Ácido sulfúrico (H_2SO_4).
- ❖ Conservador de muestras
- ❖ Agua destilada.
- ❖ Alcohol.

3.4. Población, muestra y muestreo

3.4.1. Población

Estuvo conformada por todos los biodigestores que se encontraron en los sectores de San Antonio, Saca Sacas, Corralillo y Sitacucho.

3.4.2. Muestra

La muestra estuvo conformada por 4 biodigestores, seleccionando un biodigestor por cada sector, evaluado en un periodo de tres meses. Se recolectaron en el afluente (entrada) y efluente (salida) de cada biodigestor.

3.4.3. Muestreo

Fue no probabilístico intencional; las unidades muestrales son accesibles y se pueden encontrar con facilidad; además, tienen un carácter representativo de la población que se estudió (López y Fachelli, 2015). Seleccionaron un biodigestor por cada sector para analizar las variables físicas químicas y microbiológicas de las aguas residuales en la entrada y salida del biodigestor conforme al Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2016). Se evaluaron cada 15 días por un lapso de tres meses.

Criterios de selección: Se consideró el criterio de inclusión de que tenga la misma cantidad de personas en el hogar UBS (Tabla 2).

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.5.1. Técnicas de recolección de datos

La información para el presente estudio fue por toma de muestras y análisis de laboratorio. Evaluando en la entrada y salida del biodigestor cada 15 días por un lapso de tres meses.

A. Fase de campo

Identificación de los puntos de monitoreo: Se realizó el monitoreo de un biodigestor por sector: San Antonio, Saca Sacas, Corralillo y Sitacucho, pertenecientes al sector de la Iraca (Tabla 2). La ubicación de los puntos de monitoreo se realizó mediante la utilización del GPS Garmin.

Tabla 2

Puntos de monitoreo de las aguas residuales

Sectores	Puntos de monitoreo	Coordenadas UTM-WGS84		Altitud (m s. n. m)	N° Personas
		Este	Norte		
San Antonio	B1	755833,00	9273685,00	2426,60	5
Saca Sacas	B2	756038,00	9271636,00	2618,10	5
Corralillo	B3	756755,00	9272958,00	2439,30	5
Sitacucho	B4	756859,00	9270799,00	2782,00	5

Método y frecuencia de muestreo: El muestreo se realizó conforme al Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (MVCS, 2016), el cual establece la evaluación de los parámetros tanto en el afluente (EB) como en el efluente (SB) del sistema de tratamiento. Las muestras se recolectaron del agua almacenada en el biodigestor del afluente (EB) y el efluente (SB). Cada punto de monitoreo se georreferenció y registró en la Tabla 2. La frecuencia de monitoreo se basa en Mori (2021), que considera realizar monitoreos cada 15 días, para establecer los cambios en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos relacionados con el agua residual cruda y tratada del biodigestor, monitoreado en los meses de marzo, abril y mayo. Las muestras se tomaron en la tarde y posteriormente fueron enviadas al laboratorio regional de agua del gobierno regional de Cajamarca.

Parámetros de monitoreo: El parámetro de temperatura se evaluó *in situ*. Los parámetros pH, SST, DBO₅, DQO, coliformes totales y *Escherichia coli* se evaluaron en el laboratorio regional de agua del gobierno regional de Cajamarca.

Toma de muestras: Este procedimiento se realizó siguiendo lo recomendado por el protocolo de monitoreo establecido por el Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (MVC, 2016); se recolectó muestras en el afluente y en el efluente del biodigestor, se recolectó en frascos de plástico de 1000 mL para DBO₅, 1000 mL para DQO, 1000 mL para SST y pH, 250 mL de vidrio (esterilizados) para *Escherichia coli* y coliformes totales. Las muestras fueron colocadas en cooler, y se embalaron y fueron enviadas al laboratorio regional de agua del gobierno regional de Cajamarca. Se tuvieron las consideraciones que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Requisitos para la toma de muestras

Parámetros	Conservación	Almacenamiento	Observación
T°	Análisis in situ		
Coliformes totales <i>Escherichia coli</i>	Refrigeración a $\leq 4\text{ }^{\circ}\text{C}$	48 h	250 mL
DBO ₅	Refrigeración de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$	28 h	
DQO	Agregar 15 gotas de H ₂ SO ₄ (ácido sulfúrico).	48 h	La botella se llenó completamente sin dejar burbujas
SST y pH	Refrigeración de $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $6\text{ }^{\circ}\text{C}$	7 días	

B. Fase de laboratorio

Las muestras ya recolectadas se trasladaron de inmediato al laboratorio de aguas del gobierno regional de Cajamarca para su respectivo análisis y posteriormente obtener los resultados.

Tabla 4

Parámetros evaluados en el laboratorio

Ensayo	Unidad	Método de ensayo utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25 °C	pH	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H+ B, 24th Ed. 2023: pH Value. Electrometric Method
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 A, D, 24th Ed. 2023: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes Totales	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C. 24th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Standard Total Coliform Fermentation Technique
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E, G 24th Ed. 2023: Multiple-Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Other <i>Escherichia coli</i> Procedures

3.5.2. Instrumentos de recolección de datos

Guía de observación: Formato usado para el registro de la temperatura y se analizó en el mismo lugar evaluado; además, se georreferenció a los puntos de monitoreo.

Cadena de custodia: Se utilizó para considerar las especificaciones técnicas de recolección de muestra para el análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos que fueron enviados al laboratorio regional de agua del gobierno regional de Cajamarca.

3.6. Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Se evaluaron la media aritmética y la desviación estándar para pH y temperatura.

❖ **Media aritmética:** Se obtiene al sumar los valores de interés y dividir el resultado por la cantidad de valores sumados (Paz, 2007), aplicando la fórmula siguiente:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + \dots + x_n}{n} \quad (1)$$

Donde: $\bar{x}$ es la media aritmética de las variables que se miden y calculan; x_i es el valor de la variable de la observación i ; n : cantidad de observaciones por cada unidad experimental o tratamiento.

❖ **Desviación estándar:** Es la raíz cuadrada de la varianza y se aplica la fórmula escrita por Dagnino (2014).

$$S = \sqrt{S^2} \quad (2)$$

Donde S^2 es el valor de la varianza de cada una de las variables medidas y calculadas.

$$S^2 = (S)^2 \rightarrow S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1} \quad (3)$$

Donde n: cantidad de observaciones; x_i es el valor de la variable correspondiente a la observación i; $\bar{X}$ representa la media aritmética de cada una de las variables que se midieron.

❖ **Eficiencia de remoción.**

La eficacia de la eliminación se mide en función del porcentaje de eliminación (%E), que representa el grado en que cada muestra de prueba es capaz de suprimir una porción de la concentración de un contaminante específico existente en las aguas residuales (Leon et al., 2023). Para la estimación de este %E se utilizó la siguiente ecuación (Castañeda y Flores, 2014)

$$\%E = \left(\frac{VP_e - VP_s}{VP_e} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde E es la eficiencia degradativa (%), VP_s : valor del parámetro de salida, VP_e : valor del parámetro de entrada.

3.6.1. Análisis estadístico

1. Tabulación: Excel 2019

2. Análisis estadístico (InfoStat 2020e):.

- Pruebas de normalidad: Shapiro-Wilk.

- Prueba de hipótesis: análisis de varianza (ANOVA) y Tukey y prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis, con valor de confianza del 95%.

3.7. Aspectos éticos

Confiabilidad: Para asegurar que los resultados fueran fiables, se aseguró el control de cada una de las variables.

Objetividad: La investigación se desarrolló de manera objetiva, documentando y examinando los datos recolectados acerca de la eficiencia de los biodigestores sin falsear los resultados, asegurando la veracidad y fiabilidad de los datos presentados.

Conflicto de interés: La investigación no estuvo en ningún conflicto de interés, lo que garantizó la originalidad y la independencia en el análisis de los parámetros evaluados.

Consentimiento informado: Se solicitó el expediente técnico al gerente general de la empresa Nueva Jerusalén (la empresa ya había ejecutado la obra); una vez obtenida la información, se coordinó con los propietarios de los sectores de las UBS, con el fin de explicar cuál era el objetivo de la investigación. Seguidamente, nos brindó la autorización para la recolección de muestras del biodigestor.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. Descripción de resultados

Se evaluaron en los sectores de San Antonio, Saca Saca, Corralillo y Sitacucho, muestreándose una unidad básica de saneamiento (UBS) por cada sector. Se realizó en los meses de marzo, abril y mayo del 2024. Se realizaron cada 15 días, evaluando en la entrada del biodigestor (afluente) y la salida del mismo (efluente).

4.1.1. *Parámetros físicos*

A. Sólidos suspendidos totales

En promedio, las concentraciones de sólidos suspendidos totales (SST) fueron de 334,54 mg/L en la entrada del biodigestor y 92,29 mg/L en su salida (Tabla 5), lo que evidencia una reducción significativa del contenido de sólidos tras el proceso de digestión anaerobia:

Durante el mes de marzo, se registraron concentraciones más altas de sólidos suspendidos totales (SST) en todos los sectores. En la entrada del biodigestor (EB), los valores oscilan entre 377,5 mg/L (Corralillo) y 465,0 mg/L (San Antonio). Después del tratamiento (SB), las concentraciones bajaron notablemente, variando entre 48,3 mg/L en Saca Saca y 112,5 a 48,5 mg/L en Sitacucho. Estos resultados reflejan una eficiencia significativa del biodigestor durante este periodo.

En el mes de abril, las concentraciones en la entrada presentaron una reducción respecto al mes anterior, con valores que fluctúan entre 261,0 mg/L (Corralillo) y 349,0 mg/L (Sitacucho). En la salida del biodigestor, las concentraciones variaron entre 51,0 mg/L (San Antonio) y 104,0 mg/L

(Corralillo). Este comportamiento indica una mejora en la estabilidad del proceso de depuración, asociado a una menor carga orgánica en la entrada y a una mayor adaptación microbiana dentro del biodigestor.

En el mes de mayo, los sólidos suspendidos totales se incrementaron en la salida del biodigestor en algunos sectores en comparación con el mes anterior. Las concentraciones en la entrada del biodigestor oscilaron entre 236,5 mg/L (Corralillo) y 353,0 mg/L (San Antonio), y en la salida (SB) se registraron valores entre 89,5 mg/L (San Antonio) y 147,0 mg/L (Saca Saca). No obstante, los valores de salida aumentaron respecto a abril, pero el biodigestor continuó mostrando una alta capacidad de remoción. Para Daviran (2021), el rango habitual de sólidos totales disueltos en agua de suministro fluctúa entre 25 y 5 000 mg/L, dependiendo de la geología; regionalmente, normalmente, la concentración preferida es de 200 mg/L.

Tabla 5

Promedios de las concentraciones de sólidos suspendidos totales en cada sector y meses de evaluación

	Meses	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho-	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
SST (mg/L)	Marzo	465,0	57,0	407,5	48,5	377,5	85,5	389,0	112,5
	Abril	314,5	51,0	270,0	77,0	261,0	94,5	349,0	124,0
	Mayo	353,0	89,5	348,5	147,5	236,5	104,0	243,0	116,5
Promedio		377,50	65,83	342,00	91,00	291,67	94,67	327,00	117,67
Promedio total		334,54	92,29						

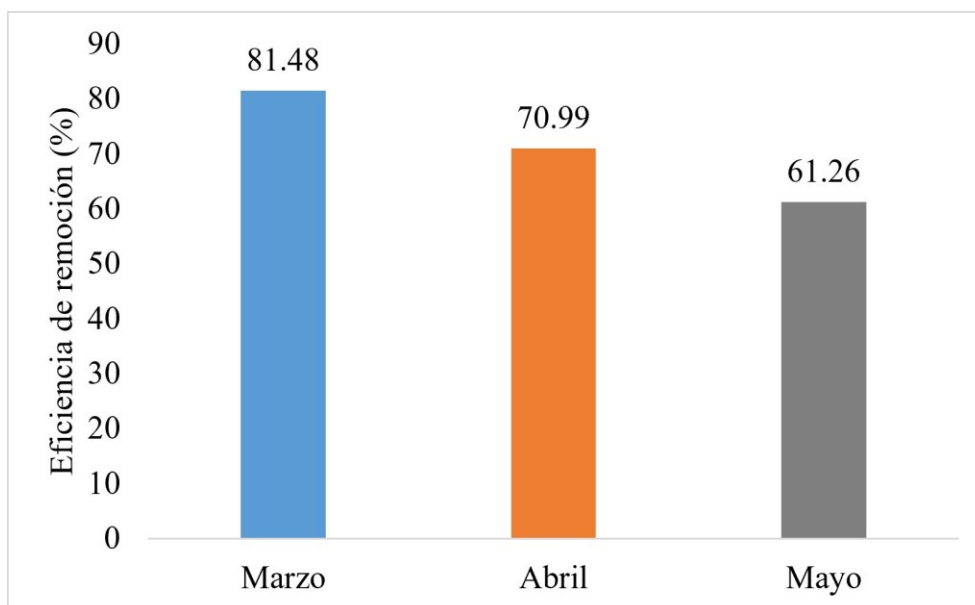
Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor

En la Figura 3 se observa la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) durante los meses de marzo, abril y mayo en función de los cuatro sectores evaluados, con valores promedios de 81,48%, 70,99% y 61,26%, respectivamente.

En el mes de marzo, el biodigestor logró la mayor eficiencia de remoción (81,48%), indicando un óptimo funcionamiento del sistema en la retención y degradación de la materia sólida. El rendimiento está asociado a las condiciones ambientales favorables, como es la temperatura y una adecuada actividad microbiana, que favorece la sedimentación y la descomposición de los sólidos orgánicos. En el mes de abril, la eficiencia disminuyó a 70,99%, debido a variaciones en la carga de sólidos a la entrada del biodigestor, pero indica un buen desempeño, con una reducción efectiva de la materia particulada en suspensión. Finalmente, en mayo se observó la menor eficiencia (61,26%); este descenso indica una reducción de la actividad biológica de los microorganismos, acumulación de lodos y disminución de la temperatura del ambiente.

Figura 3

Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) por cada mes



B. Temperatura

Las temperaturas declinan progresivamente de marzo a mayo en todos los sectores (Tabla 6), indicando una influencia estacional, registrando temperaturas promedio de 18,35 °C (EB) y 18,08 °C (SB).

En el mes de marzo, se registraron altas temperaturas en todos los sectores evaluados, con valores que fluctúan entre 18,80 °C y 23,65 °C. El sector Saca Saca presentó la temperatura más alta (EB=23,65 °C), mientras que Corralillo registró las más bajas (SB=18,80 °C), lo cual favorece las reacciones biológicas y acelera la degradación de los sólidos orgánicos dentro del biodigestor.

En abril, la temperatura disminuyó levemente con respecto al mes anterior, con promedios entre 15,80 °C y 18,05 °C. El sector de San Antonio alcanzó la temperatura más alta (EB=18,05 °C), mientras que Sitacucho presentó la más baja (EB=15,80 °C). Estas variaciones son a consecuencia de cambios climáticos externos y de la radiación solar incidente.

En el mes de mayo, se registraron las temperaturas más bajas, con valores que oscilaron entre 16,10 °C y 17 °C, tanto en la entrada como en la salida del biodigestor. En el sector de Saca Saca se registraron valores más altos (17,00 °C), mientras que los más bajos correspondieron al sector Corralillo (16,10 °C). Las temperaturas se mantuvieron relativamente constantes entre la entrada y salida, lo que indica una estabilidad térmica del biodigestor, condiciones favorables para la actividad microbiana responsable de la degradación de la materia orgánica.

Tabla 6*Promedios de temperaturas por cada mes y sector de evaluación*

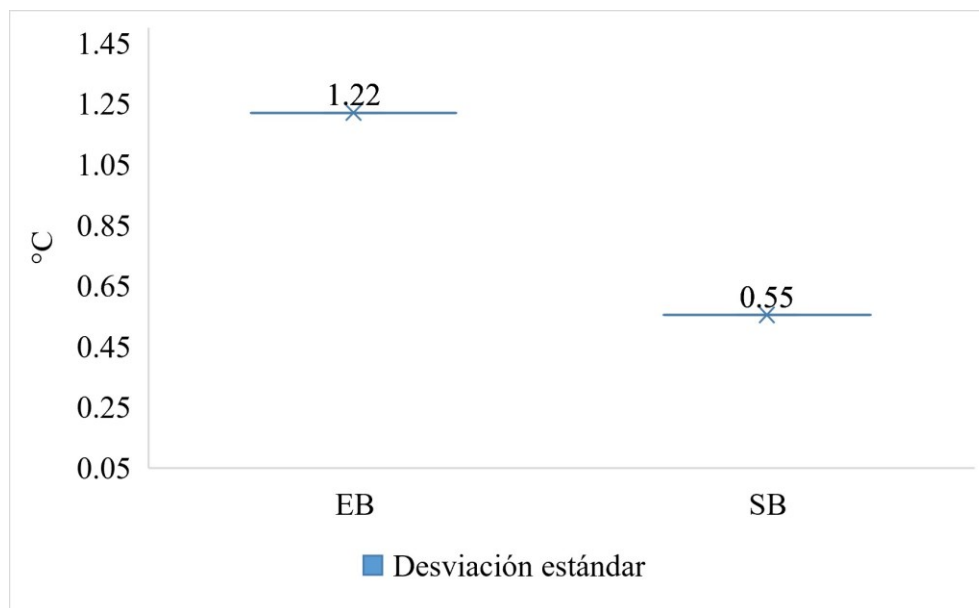
Sectores		San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
Puntos de monitoreo		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
MESES	Marzo	22,95	21,75	23,65	21,30	18,95	18,80	20,20	20,25
	Abril	18,05	17,40	18,05	17,30	16,05	17,10	15,80	16,80
	Mayo	16,65	16,25	17,00	17,00	16,55	16,10	16,25	16,95
Promedio		19,22	18,47	19,57	18,53	17,18	17,33	17,42	18,00
Promedio Total		18,35	18,08						

Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor

En la Figura 4 se indica el grado de variabilidad de las temperaturas (desviación estándar) respecto a su promedio, evaluadas en todos los sectores y meses. Siendo de 1,22 °C (EB), indica que las temperaturas variaron en los distintos meses y sectores; en cambio, 0,55 °C (SB), las temperaturas siendo más estables y homogéneas. La desigualdad en la desviación indica que las temperaturas tienden a cambiar debido a la influencia de su entorno o a la exposición de cada biodigestor. En el interior del biodigestor tiende a estabilizarse la temperatura, lo cual justifica que haya menor variación en la salida. Este comportamiento es típico de un proceso anaerobio eficaz, dado que el biodigestor funciona como un regulador térmico y estabiliza las condiciones más estables para la actividad de microorganismos. El parámetro de temperatura es crucial, dado que impacta en otros indicadores de calidad del agua (García, 2010), como es el oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica y el pH (Valera, 2016).

Figura 4

Desviación estándar de la temperatura promedio en la entrada y salida del biodigestor en todos los sectores y meses



Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor.

4.1.2. Parámetros químicos

A. Demanda química de oxígeno (DQO)

Los promedios de las concentraciones de la demanda química de oxígeno (DQO), tanto en la entrada como en la salida del biodigestor (809,50 mg O₂/L y 86,61 mg O₂/L), en los sectores de San Antonio, Saca Saca, Corralillo y Sitacucho, durante los meses de marzo, abril y mayo (Tabla 7).

En el mes de marzo, se obtuvieron concentraciones altas de DQO a la entrada del biodigestor; se registran en San Antonio (852,98 mg O₂/L) y Sitacucho (879,10 mg O₂/L). La salida del biodigestor se reduce considerablemente, especialmente en San Antonio (67,55 mg O₂/L), reflejando una buena eficiencia del tratamiento biológico.

En el mes de abril, los valores de DQO siguen siendo elevados en la entrada, siendo San Antonio (885,70 mg O₂/L) y Sitacucho (900,20 mg O₂/L). En la salida presenta una reducción muy alta (56,15 mg O₂/L en San Antonio y 59,95 mg O₂/L), lo que representa la mayor eficiencia en todos los sectores, debido a las condiciones favorables y mayor estabilidad en el biodigestor.

En el mes de mayo, se observa una ligera disminución de DQO en la entrada del biodigestor en los tres sectores, a excepción de Sitacucho (923,10 mg O₂/L); sin embargo, los valores a la salida (SB) aumentaron en comparación con abril (120,80 mg O₂/L en San Antonio 107,20 mg O₂/L en Saca Saca, 107,85 mg O₂/L en Corralillo y 103,75 mg O₂/L en Sitacucho). Esto indica una menor eficiencia de tratamiento; está asociado a los cambios de temperatura, carga orgánica o rendimiento biológico del biodigestor. Los niveles iniciales de DQO son resultado de las aguas residuales que contienen varios contaminantes orgánicos e inorgánicos, aportando una DQO de 20 g a 45 g diarios (Leiva, 2024).

Tabla 7

Promedios de las concentraciones de la demanda química de oxígeno (DQO) en cada sector y meses de evaluación

	Meses	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
DQO (mg O ₂ /L)	Marzo	875,70	67,55	813,75	72,25	771,95	73,50	879,10	84,20
	Abril	885,70	56,15	816,50	59,95	699,45	86,30	900,20	99,85
	Mayo	797,55	120,80	728,05	107,20	623,00	107,85	923,10	103,75
Promedio		852,98	81,50	786,10	79,80	698,13	89,22	900,80	95,93
Promedio total		809,50	86,61						

Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor.

En la Figura 5 se observa la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) durante los meses de marzo, abril y mayo en función de los cuatro sectores evaluados.

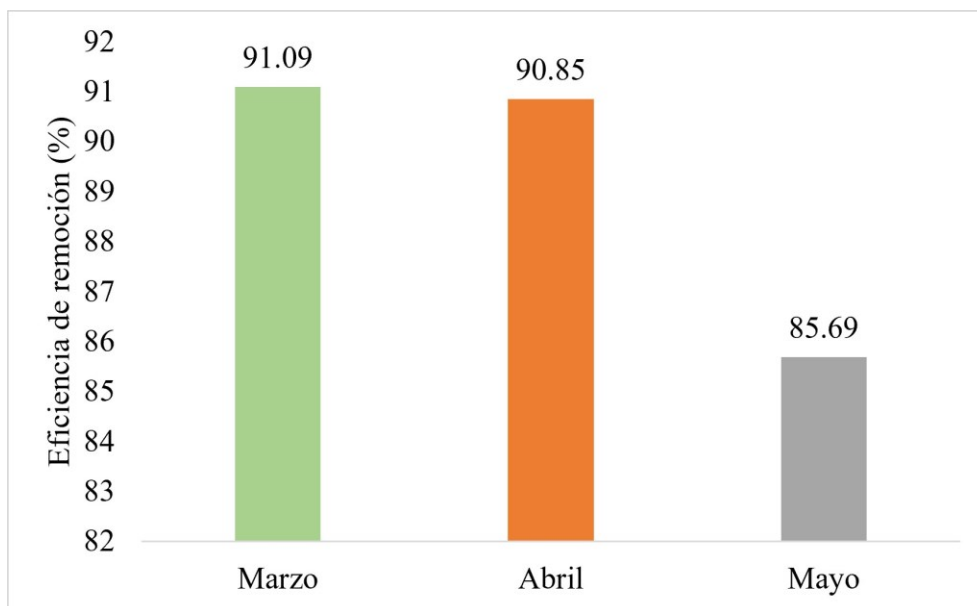
En el mes de marzo, se observa mayor eficiencia de remoción (91,09%), lo que sugiere que el biodigestor funcionó de forma óptima durante este mes; se debe a que las condiciones ambientales son favorables (temperatura estable y buena actividad microbiana).

En el mes de abril, se observa una menor eficiencia que en marzo (90,85%), pero mantiene una eficiencia alta; esto refleja una estabilidad en el proceso biológico de degradación de materia orgánica.

En el mes de mayo, la eficiencia disminuye en comparación con los meses anteriores (85,69%); esto se relaciona con los cambios en la carga orgánica de entrada, cambios en la temperatura o variaciones en el tiempo de retención hidráulica, factores que afectan la actividad de los microorganismos. Al reducir en un 47,03%, esto señala que la actividad de los microorganismos y las condiciones del entorno anaerobio causaron la degradación, disminuyendo su actividad y, por ende, el consumo de oxígeno (Soria et al., 2001).

Figura 5

Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en los biodigestores por cada mes



B. Potencial de hidrógeno (pH).

Se registraron pH, en promedio de 7,40 en la entrada y 6,97 pH en la salida del biodigestor (Tabla 8), indicando que se mantiene dentro del rango neutro a ligeramente alcalino, característico de los procesos biológicos de los biodigestores.

Siendo el mes de marzo, en la entrada del biodigestor, estuvo en un rango de 7,80 a 6,68 pH (Corralillo y Saca Saca); en cambio, en la salida del biodigestor estuvo un rango de 7,54 a 6,7 pH (San Antonio y Saca Saca), indicando un ambiente neutro a ligeramente alcalino, favorable para la actividad microbiana.

En el mes de abril, en la entrada del biodigestor, se registró pH, que estuvo en un rango de 8,48 a 6,51 pH (San Antonio y Corralillo); en la salida se obtuvo un rango de 7,68 a 6,95 pH (San

Antonio y Corralillo). Esto indica una ligera acidificación por la producción de ácidos grasos volátiles durante la degradación de la materia orgánica.

En el mes de mayo, en la entrada del biodigestor estuvo en un rango de 7,57 a 6,52 pH (Sitacucho y San Antonio); en cambio, en la salida del biodigestor estuvo en un rango de 7,00 a 6,42 pH (Saca Saca y Sitacucho). Esta reducción se debe a una mayor acumulación de compuestos ácidos o un incremento en la carga orgánica, lo que reduce temporalmente el pH. El pH oscila entre 6 y 8; a medida que las excretas sean más frescas, el pH será más neutro (Osorio et al., 2007).

Tabla 8

Promedios del potencial de hidrógeno (pH) por cada mes y sector de evaluación

Sectores		San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
Puntos de evaluación		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
Meses	Marzo	7,71	7,54	7,52	6,68	7,80	6,82	7,68	6,84
	Abril	8,48	7,68	7,29	7,04	6,51	6,95	7,16	6,97
	Mayo	6,52	6,75	7,49	7,00	7,13	6,95	7,57	6,42
Promedio		7,57	7,32	7,43	6,90	7,14	6,91	7,47	6,74
Promedio total		7,40	6,97						

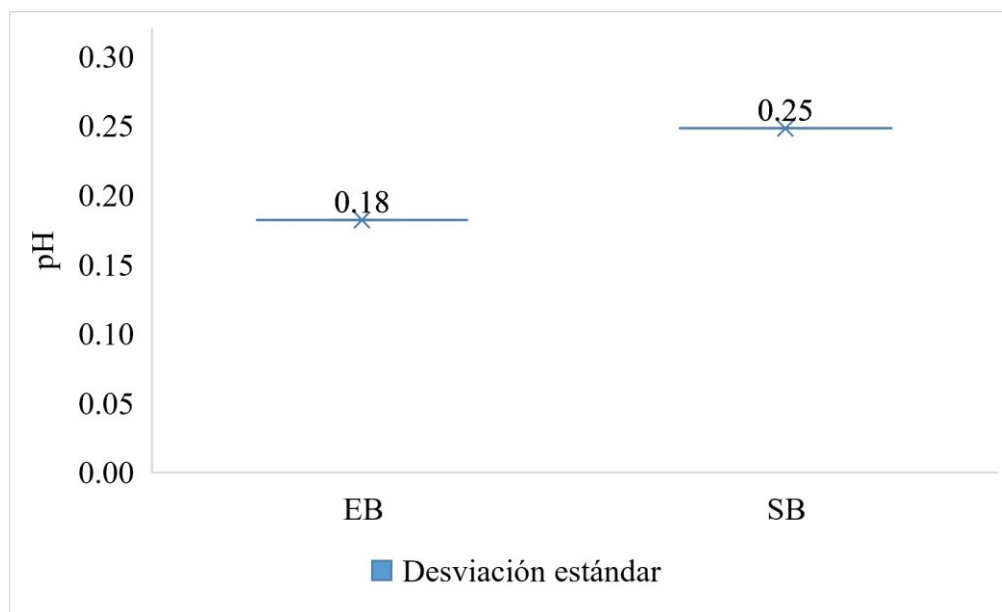
Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor

La Figura 6 evidencia la variación de pH en la entrada y salida del biodigestor, considerando la desviación estándar como indicador de dispersión de los datos evaluados en todos los sectores y meses. Se observa que el valor promedio del pH en la entrada presenta una desviación estándar de 0,18, mientras que en la salida la desviación aumenta ligeramente a 0,25. A pesar de esta leve variación, los valores del pH se mantienen dentro del rango óptimo de

funcionamiento (6,5 – 8,5) para los biodigestores anaerobios, indicando que el sistema conserva un ambiente óptimo para la actividad microbiana.

Figura 6

Desviación estándar del pH en la entrada y salida del biodigestor



Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor.

C. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅).

Las concentraciones medias de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), que es un indicador del volumen de materia orgánica biodegradable en el agua residual, se muestran en la Tabla 9. Se evidencia una ligera disminución significativa de la DBO₅, entre la entrada y salida del biodigestor (370,63 mg O₂/L y 83,92 mg O₂/L) en todos los sectores evaluados, lo que demuestra la eficiencia del proceso biológico en la reducción de la carga orgánica.

En el mes de marzo, en la entrada del biodigestor, las concentraciones se obtuvieron desde 588,50 a 389,5 mg O₂/L de DBO₅ (San Antonio y Corralilo); en cambio, en la salida se obtuvo de

97,50 a 63,00 mg O₂/L de DBO₅ (Sitacucho y San Antonio), lo que indica una mayor carga orgánica inicial o también condiciones ambientales favorables para la acumulación de la materia biodegradable.

En el mes de abril, en la entrada del biodigestor, las concentraciones obtuvieron de 374,25 a 320,75 mg O₂/L de DBO₅ (Sitacucho y Saca Saca); en cambio, en la salida del biodigestor, las concentraciones estuvieron de 107,30 a 71,15 mg O₂/L de DBO₅ (San Antonio y Saca Saca).

En el mes de mayo, en la entrada del biodigestor, las concentraciones oscilaron de 379,35 a 250,40 mg O₂/L de DBO₅ (Sitacucho y Saca Saca); en cambio, en la salida del biodigestor, osciló de 103,05 a 80,95 mg O₂/L de DBO₅ (Sitacucho y San Antonio). En estos meses, las concentraciones disminuyen progresivamente, indicando una mejor estabilización del proceso anaerobio y una mayor eficiencia en la degradación de la materia orgánica.

Tabla 9

Promedios de las concentraciones de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en cada sector y mes de evaluación

	Meses	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
DB ₅ (mg O ₂ /L)	Marzo	588,50	63,00	409,10	70,60	389,05	64,35	488,00	97,50
	Abril	330,50	107,30	320,75	71,15	324,50	80,40	374,25	83,75
	Mayo	303,50	80,95	250,40	93,90	289,65	91,05	379,35	103,05
Promedio		407,50	83,75	326,75	78,55	334,40	78,60	413,87	94,77
Promedio total		370,63	83,92						

Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor

En la Figura 7 se observa la eficiencia promedio de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en los meses de marzo, abril y mayo en función de los cuatro sectores

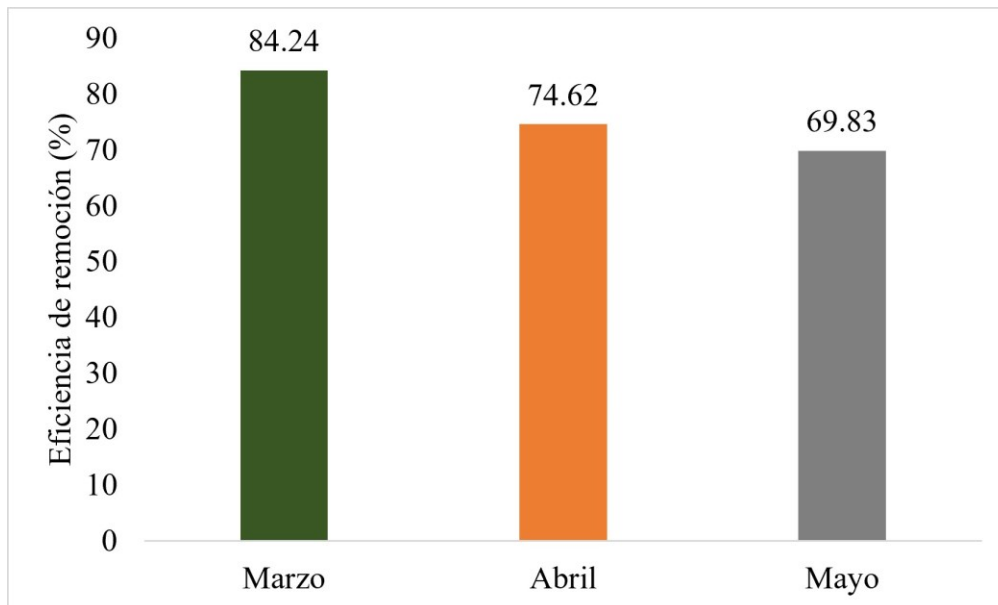
evaluados. En el mes de marzo, se obtuvo mayor eficiencia de remoción de DBO_5 (84,24%), lo que indica un óptimo funcionamiento del biodigestor, siendo que las condiciones ambientales y microorganismos fueron favorables para la degradación de la materia orgánica biodegradable.

En el mes de abril, se observa una disminución moderada en la eficiencia (74,62%), indicando las variaciones en la carga orgánica de entrada (EB) o ligeras alteraciones en la actividad microbiana, aunque el biodigestor sigue mostrando una buena capacidad de depuración.

En el mes de mayo, presenta una menor eficiencia (69,83%), lo que sugiere una posible reducción en la actividad biológica del biodigestor; se asocia a los cambios de temperatura, acumulación de sólidos o sobrecarga orgánica.

Figura 7

Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5) en los biodigestores por mes



4.1.3. Parámetros microbiológicos

A. *Escherichia coli*.

Respecto a *Escherichia coli* (Tabla 10), se obtuvieron cantidades en promedio de 3,688333 x 10⁶ NMP/100 mL en la entrada del biodigestor y 1,25833 x 10⁵ NMP/100 mL en la salida del biodigestor.

Siendo el mes de marzo, en la entrada del biodigestor se obtuvieron cantidades desde 1,3 x 10⁷ a 5,25 x 10⁵ NMP/100 mL (San Antonio y Saca Saca); en cambio, en la salida del biodigestor estuvieron cantidades desde 1,7 × 10⁵ a 1,9 x 10⁴ NMP/100 mL (Sitacucho y San Antonio).

En el mes de abril, se incrementa respecto a marzo, indicando un posible repunte de contaminación bacteriana; esto se debe a las condiciones ambientales más favorables. En la entrada del biodigestor se obtuvieron cantidades desde 1,25 x 10⁷ a 5,25 x 10⁵ NMP/100 mL (San Antonio y Saca Saca); en cambio, en la salida (SB), se obtuvieron cantidades desde 1,9 x 10⁵ a 3,85 x 10⁴ NMP/100 mL (Sitacucho y San Antonio), siempre tiene valores menores en la entrada (EB), mostrando que el sistema mantiene una capacidad de tratamiento.

En el mes de mayo, en la entrada del biodigestor, se obtuvieron cantidades desde 3,95 x 10⁶ a 4,9 x 10⁵ NMP/100 mL (Corralillo y Saca Saca); en cambio, en la salida del biodigestor, se obtuvieron cantidades más bajas, que estuvieron desde 3,15 x 10⁵ a 3,5 x 10⁴ NMP/100 mL (Sitacucho y de San Antonio), indicando que hay una adaptación del sistema biológico y condiciones ambientales más estables que favorecen la eficiencia del biodigestor.

Tabla 10*Promedios de Escherichia coli por cada sector y meses de evaluación*

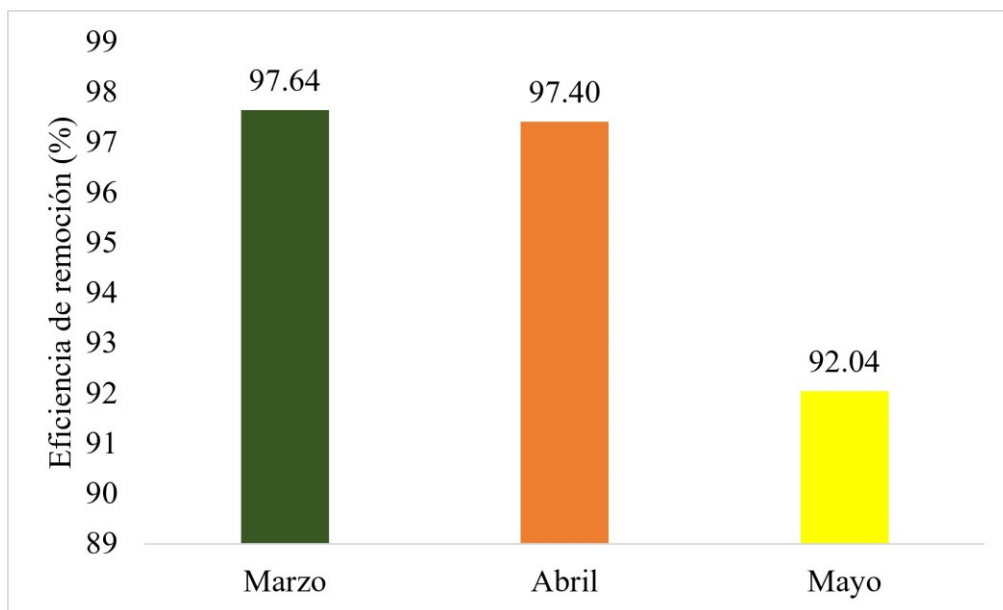
	Meses	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
<i>Escherichia coli</i> (NMP/ 100mL)	Marzo	1,3 x 10 ⁷	1,9 x 10 ⁴	5,25 x 10 ⁵	8,75 x 10 ⁴	3,7x10 ⁶	1,6 x 10 ⁵	1,25 x10 ⁶	1,7 x 10 ⁵
	Abril	1,25 x 10 ⁷	3,85 x 10 ⁴	5,95 x 10 ⁵	1,35 x 10 ⁵	3,35x10 ⁶	1,1 x 10 ⁵	1,8 x10 ⁶	1,9 x 10 ⁵
	Mayo	1,25 x 10 ⁶	3,5 x 10 ⁴	4,9 x 10 ⁵	1,1 x 10 ⁵	3,95 x 10 ⁶	1,4 x 10 ⁵	1,85 x10 ⁶	3,15 x 10 ⁵
	Promedio	8,916667 x 10⁶	3,0833 x 10⁴	5,36667 x 10⁵	1,10833 x 10⁵	3,666667 x 10⁶	1,36667 x 10⁵	1,633333 x 10⁶	2,25 x 10⁵
	Promedio total	3,688333 x 10⁶	1,25833 x 10⁵						

Nota. EB: entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor.

La Figura 8 muestra la eficiencia de remoción de *Escherichia coli* en los meses de marzo, abril y mayo en función de los cuatro sectores evaluados. Se observa que en los meses de marzo y abril presentó las mayores eficiencias (97,64% y 97,40%), indicando un alto rendimiento del biodigestor en la reducción de la carga bacteriana. En cambio, en el mes de mayo la eficiencia disminuyó a 92,0%, atribuible a variaciones en la temperatura ambiental y carga orgánica, factores que afectan a la actividad microbiana responsable de la depuración del agua residual.

Figura 8

Porcentaje promedio de la eficiencia de remoción de Escherichia coli en los biodigestores por mes



B. Coliformes totales

Los coliformes totales (Tabla 11): Se obtuvieron cantidades en promedio de $2,47325 \times 10^7$ NMP/100 mL en la entrada del biodigestor y $7,4375 \times 10^5$ NMP/100 mL en la salida del biodigestor.

En el mes de marzo, en la entrada del biodigestor, se obtuvieron cantidades desde $1,50 \times 10^8$ a $3,05 \times 10^6$ NMP/100 mL (San Antonio y Sitacucho); sin embargo, tras el tratamiento (SB), las concentraciones reducen significativamente, registraron cantidades desde $2,02 \times 10^6$ a $1,15 \times 10^5$ NMP/100 mL (San Antonio y Sitacucho), indicando una alta eficiencia del biodigestor.

En el mes de abril, las concentraciones se mantienen elevadas, pero con ligera disminución respecto a marzo. En la entrada del biodigestor se obtuvieron cantidades desde $9,40 \times 10^7$ a $3,05 \times$

10⁶ NMP/100 mL (San Antonio y Sitacucho); en cambio, en la salida (SB) refleja una reducción significativa del biodigestor, obteniendo cantidades desde 2,18 x 10⁶ a 1,60 x 10⁵ NMP/100 mL (San Antonio y Saca Saca, Corralillo y Sitacucho), mostrando que el proceso de tratamiento conserva su estabilidad.

En el mes de mayo, se evidencia una notable disminución de coliformes totales. En la entrada del biodigestor se obtuvieron cantidades desde 1,65 x 10⁷ a 3,55 x 10⁶ NMP/100 mL (San Antonio y Sitacucho); en cambio, en la salida del biodigestor se obtuvieron cantidades desde 1,62 x 10⁶ a 1,20 x 10⁵ NMP/100 mL (San Antonio y Sitacucho), indicando que el biodigestor mantiene una eficiencia de remoción de coliformes totales.

Tabla 11

Concentración de coliformes totales en cada sector y mes de evaluación

Meses		San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
Coliformes	Marzo	1,50 x	2,02 x	8,45 x	8,40 x	3,35 x	1,50 x	3,05 x	1,15 x
		10 ⁸	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁵
Totales (NMP100/ mL)	Abril	9,40 x	2,18 x	5,04 x	1,60 x	3,65 x	1,60 x	3,55 x	1,60 x
		10 ⁷	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁵
	Mayo	1,65 x	1,62 x	5,02 x	7,95 x	3,60 x	6,10 x	5,85 x	1,20 x
		10 ⁷	10 ⁶	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁵	10 ⁵
Promedio		8,683333	1,938333	6,168333	5,98333	3,533333	3,06667	2,395 x	1,31667
		3 x 10⁷	x 10⁶	x 10⁶	x 10⁵	x 10⁶	x 10⁵	10⁶	x 10⁵
Promedio total		2,47325	7,4375 x						
		x 10⁷	10⁵						

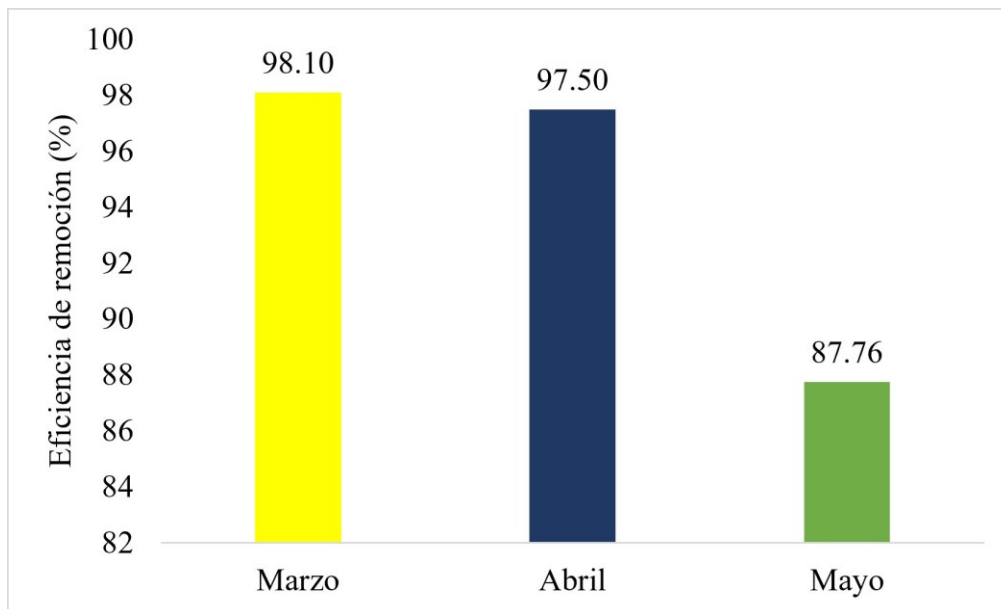
Nota. EB: Entrada al biodigestor. SB: Salida del biodigestor

La Figura 9 muestra la eficiencia de remoción de los coliformes totales en los meses de marzo, abril y mayo en función de los cuatro sectores evaluados. En el mes de marzo alcanzó mayor eficiencia (98,10%), seguida de abril (97,50%), mientras que en mayo se observó una

disminución a 87,76%. Esto indica que el biodigestor mantuvo una elevada capacidad de eliminación de microorganismos indicadores de contaminación fecal, debido a las condiciones ambientales óptimas y una adecuada actividad microbiana.

Figura 9

Porcentaje de eficiencia de remoción de los coliformes totales en los biodigestores por mes



4.2. Contrastación de la hipótesis

4.2.1. Pruebas de normalidad

Se aplicaron pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk (los datos evaluados fueron menores de 50) con el fin de conocer si tienen una distribución normal en los parámetros sólidos

suspendidos totales, temperatura, demanda química de oxígeno, pH, demanda bioquímica de oxígeno, *Escherichia coli* y coliformes totales.

Se rechazará H_0 si $p < 0,05$.

Criterios de decisión:

H_0 = Los datos presentaron una distribución normal.

H_1 = Los datos no presentaron una distribución normal.

Tabla 12

Pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk

Variable	n	Media	D.E.	W*	Sig.
SST	3	92,29	19,87	0,94	0,5223
Temperatura	3	18,08	2,13	0,866	0,2565
DQO	3	86,61	20,18	0,78	0,0553
pH	3	6,97	0,19	1,00	0,9830
DBO ₅	3	83,92	9,31	0,97	0,6881
<i>E. coli</i>	3	125833,33	21433,89	0,91	0,4153
Coliformes totales	3	743750,00	69327,12	0,78	0,0682

Mediante la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk (Tabla 12), se determinó que los parámetros temperatura, SST, DQO, pH, DBO₅ y *E. coli* y coliformes totales presentaron un nivel de significancia mayor al 0,05; no se rechaza la H_0 , lo que indica que presentan una distribución normal. Por lo tanto, se analizará mediante ANOVA y Tukey.

4.2.2. Prueba de hipótesis

Se rechazará H_0 si $p < 0,05$.

Criterios de decisión:

H0: Los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan baja eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

H1: Los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan alta eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Tabla 13

Análisis de la varianza (ANOVA)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1382704664020,92	6	230450777336,82	306,35	0,0001
PARAMETROS	1382704664020,92	6	230450777336,82	306,35	0,0001
Error	10531324702,63	14	752237478,76		
Total	1393235988723,55	20			

Mediante el análisis de ANOVA (Tabla 13), se determinó que existen diferencias estadísticamente significativas ($F = 306,35$; $p = 0,0001 < 0,05$) en los parámetros evaluados (temperatura, SST, DQO, pH, DBO_5 y *E. coli* y coliformes totales), indicando que influye de manera significativa en la eficiencia de tratamiento biológico de las aguas residuales. Por lo tanto, se rechaza la H_0 ; entonces, los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan alta eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

Tabla 14*Prueba de Tukey*

Parámetros	Medias	n	E.E.	Grupo de Tukey
Coliformes totales	743750,00	3	15834,96	A
<i>E. coli</i>	125833,33	3	15834,96	B
SST	92,29	3	15834,96	C
DQO	86,61	3	15834,96	C
DBO ₅	83,92	3	15834,96	C
Temperatura	18,08	3	15834,96	C
pH	6,97	3	15834,96	C

Nota. Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0.05$)

Mediante la prueba de Tukey (Tabla 14), se identificó que los parámetros presentaron diferencias significativas ($p < 0,005$). Coliformes totales (grupo A) presentaron las medias más elevadas y distinguiéndose de manera significativa de los otros parámetros. *E. coli* (grupo B) mostraron diferencias significativas en los parámetros fisicoquímicos (SST, DQO, DBO₅, temperatura y pH). Así mismo, SST, DQO, DBO₅, temperatura y pH (grupo C) no difieren significativamente entre sí, indicando un comportamiento homogéneo en la eficiencia de remoción. Por lo tanto, los biodigestores prefabricados instalados en la comunidad de San Antonio de la Iraca, Chota, presentan alta eficiencia de remoción en el tratamiento biológico de las aguas residuales.

4.3. Discusión de resultados

4.3.1. *Parámetros físicos*

A. Sólidos suspendidos totales.

Los sólidos suspendidos totales en los biodigestores presentaron diferencias significativas en los meses evaluados ($p < 0,05$). Se obtuvieron concentraciones promedio de 334,54 mg/L a la entrada del biodigestor y 92,29 mg/L a la salida del biodigestor (Tabla 5), siendo el mes de marzo con mayor concentración en todos los sectores, con una eficiencia de 81,48% de remoción. Los resultados son distintos a los de Huaccha y Muñoz (2023), quienes obtuvieron concentraciones en el efluente de 389,9 mg/L y en el afluente de 1,63 mg/L, con una eficiencia de eliminación de 99,576%. Asimismo, Huertas y Cubillos (2018) registraron concentraciones en el afluente de 3186,67 mg/L y en el efluente de 580,60 mg/L, con una eficiencia de solo el 81,04%, similar a Rios y Cisneros (2019), que obtuvieron concentraciones de 1788,6 y 187 mg/L, logrando el 89,5% de remoción. A pesar de que las concentraciones fueron altas en el afluente (EB), el biodigestor logra alta eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales durante el proceso anaerobio en el sistema. Según Daviran (2021), los sólidos totales abarcan tanto sales orgánicas como inorgánicas y habitualmente fluctúan en una concentración preferida de 200 mg/L. Los biodigestores evaluados mostraron un adecuado desempeño en la reducción de SST y eficiencia, reflejando un proceso biológico eficiente y estable, capaz de disminuir significativamente la carga orgánica del efluente (SB) tratado. Para Vera y Zambrano (2019), son indicadores empleados en los procesos de purificación y valoración de la calidad del agua.

En el mes de marzo se obtuvieron concentraciones altas en la entrada del biodigestor, pero en las salidas bajaron considerablemente (465,0 a 48,5 mg/L); por el contrario, en el mes de mayo

se mantuvo la tendencia de reducción (353,0 a 147,0 mg/L). Esto indica que tiende a disminuir la eficiencia de remoción (81,48 a 61,26%). Domínguez y Rojas (2019), al monitorear en los meses de febrero, marzo y abril, registraron 123,92 mg/L (SB), logrando una remoción del 50,09% a una temperatura de 13,73 °C, logrando determinar que la remoción se ve influenciada por la temperatura. En el mes de marzo se registraron altas temperaturas (EB=23,65 °C y ES=18,80 °C) y bajas temperaturas en el mes de mayo (EB=16,25 °C y SB=16,25 °C). En cambio, Silva (2022), al evaluar la eficiencia de remoción de un biodigestor, solo alcanzó una eficiencia de 52,8% a temperaturas de 20,50 °C (afluente) y 19,00 °C (efluente). Un descenso de temperatura podría posponer la generación de metano, sin afectar la actividad de las bacterias que producen ácido, lo que facilita un exceso de acumulación de ácidos y una potencial avería en el biodigestor y baja eficiencia (Rivas et al., 2011).

El pH también es otro indicador en la eficiencia de remoción de SST, obteniendo 7,40 (EB) y 6,97 (SB). Según Chowdhury et al. (2013), indica que al aproximarse al pH neutro se consiguen los porcentajes más altos de eliminación de los sólidos totales disueltos. Por lo tanto, el pH y la temperatura son factores indispensables para la eficiencia de remoción de los sólidos suspendidos totales.

B. Temperatura.

Existieron diferencias significativas de temperatura ($p < 0,05$), obteniendo que la desviación estándar fue de 1,22 °C (EB) y 0,55 °C (SB) (Figura 3); la variación en la desviación indica que las temperaturas tienden a cambiar debido a la influencia de su entorno o a la exposición de cada biodigestor. Las temperaturas obtenidas en promedio fueron de 18,37 °C en la entrada del biodigestor y 18,15 °C en la salida del biodigestor (Tabla 5). Siendo el mes de marzo el que registró

altas temperaturas (EB=23,65 °C y SB=18,80 °C) y el mes de mayo bajas temperaturas (16,10 °C y 17 °C, tanto en la entrada como en la salida del biodigestor). Estos registros son cercanos a lo descrito por Huaccha y Muñoz (2023), quienes al medir la temperatura en el efluente obtuvieron 19,5 °C y en el afluente fue de 19,6 °C. También es similar a lo registrado por Silva (2022), quien determinó que el biodigestor alcanzó una temperatura en el afluente de 20,50 °C, mientras que el efluente alcanzó los 19,00 °C. Los cambios de temperatura se ven influenciados por los cambios estacionales; según Garnica y Rivera (2022), para el tratamiento de aguas residuales, tanto de uso doméstico como industrial, usualmente son de 18°C.

4.3.2. *Parámetros químicos*

A. Demanda química de oxígeno (DQO).

En la demanda química de oxígeno (DQO) existieron diferencias significativas ($p < 0,05$) en cada mes de evaluación (Tabla 15). Se obtuvieron concentraciones en promedio de 809,50 mg O₂/L (EB) y 86,61 mg O₂/L (SB). Los resultados son muy cercanos a los de Rios y Cisneros (2019), quienes obtuvieron concentraciones de 3799,3 mg/L (afluente) y 680 mg/L (efluente) con un 82% de remoción. En cambio, Huaccha y Muñoz (2023) obtuvieron concentraciones de 749 mg/L (efluente) y 299,9 mg/L (afluente), con una eficiencia del 57,543%. También, Silva (2022) verificó que en el afluente las concentraciones de la demanda química de oxígeno fueron de 746,25 mg/L; en contraste, el efluente presentó un valor de 402,75 mg/L, con una eficiencia estimada del tratamiento de 46,00%. La baja eficiencia puede ocurrir por varias razones: el biodigestor no es adecuado para el tratamiento o no cumple con lo especificado, o se está manejando de forma incorrecta.

Los cambios en la eficiencia de remoción pueden ser resultado de los cambios estacionales, siendo el mes de marzo con altas concentraciones de DQO (EB = 852,98 mg O₂/L y SB = 67,55 mg O₂/L), con una eficiencia del 91,09%, reflejando una buena eficiencia del tratamiento biológico; por el contrario, en el mes de mayo se obtuvo una ligera disminución de DQO (EB = 923,10 mg O₂/L y SB = 120,80 mg O₂/L), con una eficiencia del 85,69%. Los resultados son muy cercanos a los de Trejo y Rojas (2020); al evaluar en los meses de marzo a junio, obtuvieron concentraciones de 289,20 - 127,00 mg/L, con un 56,08% de eficiencia de remoción. Para Ramos y Vargas (2020), la eficiencia de remoción de un biodigestor para la eliminación de la DQO puede fluctuar dependiendo de los parámetros operativos, como el rango mínimo de pH, la temperatura, el tiempo de retención hidráulica (TRH), la concentración de AGV y la alcalinidad. En los biodigestores, la temperatura tiene un efecto directo en la eficacia. Los procesos de transferencia de energía, materia y cantidad de movimiento son afectados tanto por las condiciones ambientales del entorno como por la configuración del propio biodigestor (Sossa y Alvarez, 2016). El pH tiene un impacto en la estabilidad del proceso de biodegradación, dado que estabiliza la presencia de microorganismos (Cendales, 2011) y debe estar en rangos de 6,5 a 7,5 (Castro y Flores, 2019). La temperatura (EB=18,35 °C y SB=18,08 °C) y el pH (EB=7,40 y SB=6,97) son parámetros muy importantes en la remoción de la demanda química de oxígeno.

B. Potencial de hidrógeno (pH).

Existieron diferencias significativas del pH ($p < 0,05$), registrando en promedio 7,40 pH (EB) y 6,97 pH (SB) (Tabla 13); considerando la desviación estándar como indicador de dispersión de los datos, se observa que el valor promedio del pH presenta una desviación estándar de 0,18 (EB) y aumenta ligeramente a 0,25 (SB). A pesar de esta ligera variación, los valores del pH se mantienen dentro del rango óptimo de funcionamiento (6,5 – 8,5) para los biodigestores

anaerobios, indicando que el sistema conserva un ambiente óptimo para la actividad microbiana. Los resultados obtenidos guardan similitud con Trejo y Rojas (2020); al evaluar afluente (entrada) y efluente (salida), obtuvo 6,88 - 7,11 de pH. También para Huaccha y Muñoz (2023), tomó registros de 7,58 pH en el efluente y afluente de 7,43 pH; los cambios no fueron tan significativos. El pH oscila entre 6 y 8; a medida que las excretas sean más frescas, el pH será más neutro (Osorio et al., 2007). Según Pérez, 2002, como se citó en Ajahuana et al. (2017), el pH tiene un impacto significativo en los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, especialmente en el anaerobio, ya que, al existir variaciones muy significativas, algunas bacterias como las metanogénicas se ven seriamente afectadas. El pH es un factor muy importante para la eficiencia de remoción al estar en rangos cerca de la neutralidad, ya que genera las condiciones óptimas para el desarrollo de factores biológicos que son responsables de la reducción de la materia orgánica con el fin de mejorar la eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales, DQO, DBO₅, *Escherichia coli* y coliformes totales en biodigestores. Por lo tanto, el pH es un indicativo muy importante para el tratamiento de aguas residuales y, al estar en un rango promedio de neutralidad, el biodigestor es más eficiente.

C. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno tuvo cambios significativos (p-valor de 0,0001) en cada mes de evaluación (Tabla 15), registrando concentraciones de 588,50 a 389,5 mg O₂/L (EB); en cambio, en la salida se obtuvo de 63,00 mg O₂/L de DBO₅ (mes de marzo), con el 84,24% de eficiencia de remoción; en cambio, en el mes de mayo, las concentraciones oscilaron de 379,35 mg O₂/L de DBO₅ (EB) y 80,95 mg O₂/L de DBO₅ (SB), con el 69,83% de eficiencia de remoción. Los resultados son cercanos a la investigación de Trejo y Rojas (2020) al evaluar un biodigestor obtuvieron concentraciones de 289,20 (EB) mg/L y 127,00 mg/L (SB), logrando obtener el 61,25%

eficiencia a de remoción, también, Huaccha y Muñoz (2023), obtuvieron concentración de 380,5 mg/L (entrada) y 299,9 mg/L (salida), logrando una eficiencia de remoción de 63,106%, este autor señala que el mantenimiento y limpieza apropiados del biodigestor prefabricado son elementos relevantes para lograr mayor la eficacia de remoción; así mismo, Silva (2022), obtuvo concentraciones de 338,50 mg/L en el afluente y de 163,90 mg/L en el efluente, logrando obtener una eficiencia media del tratamiento del 51,48%, especifica que el biodigestor no se está manejado de forma correcta.

La baja remoción de DBO₅ se debe a que el contenido del efluente se incrementó debido a la interrupción del proceso de fermentación bacteriana; por ende, la aportación de materia orgánica e inorgánica se incrementa significativamente en la liberación de su vertimiento. Raffo y Ruiz (2014) mencionan que, a mayor, concentración de elementos orgánicos se requiere una mayor necesidad de oxígeno para que se pueda descomponer la materia orgánica en el agua residual; en otras palabras, a mayor volumen de materia orgánica en una muestra de agua, más microorganismos portadores de oxígeno se requerirán para oxidarla o desintegrarla. Según Menéndez y Dueñas (2018), la DBO₅ en aguas residuales permite establecer la cantidad de compuestos orgánicos que los microorganismos son capaces de desintegrar durante el proceso de procesamiento biológico, y por ende presenta una baja eficiencia de remoción.

4.3.3. *Parámetros microbiológicos*

A. *Escherichia coli*

La *Escherichia coli* tuvo cambios significativos (p-valor de 0,0001) en cada mes de evaluación (Tabla 15); se obtuvieron cantidades desde $1,3 \times 10^7$ NMP/100 mL (EB) y $1,7 \times 10^5$ NMP/100 mL (SB), obteniendo el 97,64% de eficiencia (marzo). Estos resultados son cercanos a

los de Ajahuana et al. (2017), quienes al evaluar biodigestores anaerobios obtuvieron una reducción de *E. coli* que fue de 16×10^4 a 16×10^2 NMP/100 mL, siendo un 99% de remoción de microorganismos. Así mismo, Da Silva et al. (2019), al evaluar la eliminación de microorganismos patógenos (bacterias y virus) en las zonas rurales, verificaron la reducción del 99,9% de *E. coli*. En cambio, en el mes de mayo se obtuvieron cantidades de $3,95 \times 10^6$ NMP/100 mL (EB) y $3,15 \times 10^5$ NMP/100 mL (SB), obteniendo 92,04% de eficiencia de remoción. Su alta concentración se debe a la elevada concentración de la carga orgánica; alrededor del 95% de los coliformes presentes en las heces fecales se componen de *E. coli* (Ajahuana et al., 2017). El descenso de remoción en los biodigestores de San Antonio de la Iraca se debe a los cambios estacionarios (altas temperaturas desde 23,65 °C EB y 18,80 °C SB, un descenso al mes de mayo desde 16,10 °C EB y 17 °C SB) y cambios en el pH (7,40 pH EB y 6,97 pH SB) del agua residual. La temperatura influye de manera directa en el proceso de regulación del ritmo de crecimiento de los microorganismos en el biodigestor (Cárdenas, 2009); también, el pH tiene un impacto significativo en los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales (Pérez, 2002, como se citó en Ajahuana et al., 2017). Al pasar por el biodigestor, la supervivencia se limita (cambios de temperatura y pH) y, por ende, se reduce considerablemente, lo cual indica que el biodigestor tiene una eficiencia alta en el tratamiento biológico de aguas residuales. La supervivencia de *E. coli* depende del consumo de nutrientes específicos presentes en las heces (Sánchez, 2016). Durante el tratamiento anaerobio en el biodigestor, las colonias de *E. coli* se reducen considerablemente por la desintegración de la materia fecal.

B. Coliformes totales

Los coliformes totales obtuvieron diferencias significativas (p-valor de 0,0001), obteniendo cantidades de $1,50 \times 10^8$ NMP/100 mL (EB) y $2,02 \times 10^6$ (SB), obteniendo el 98,10%

de remoción (marzo). Estos resultados son similares a los de Ajahuana et al. (2017); al evaluar un biodigestor, concluyó que hubo una reducción de coliformes totales de 16×10^4 NMP/100 mL a 16×10^2 NMP/100 mL, siendo un 99% de remoción de microorganismos, y que el biodigestor es eficiente para el tratamiento de aguas residuales. En San Antonio de la Iraca, en el mes de mayo, se obtuvieron cantidades de $1,65 \times 10^7$ NMP/100 mL (EB) y $1,62 \times 10^6$ (SB), con una eficiencia de 87,76% de remoción. Estos resultados son similares a los de Rios y Cisneros (2019), al evaluar el afluente y efluente de biodigestor, donde se obtuvo una reducción desde $9,4 \times 10^7$ NMP/100 mL y $1,5 \times 10^6$ NMP/100 mL, obteniendo 98,3% de eficiencia de remoción. En los biodigestores de San Antonio de la Iraca se verificó la utilización de plástico PET (tereftalato de polietileno) como medio filtrante (Figura 12). La utilización de plástico PET como medio filtrante es eficaz para mejorar las características biológicas de las aguas residuales en un biodigestor prefabricado (Vilchez, 2020). La eliminación de los coliformes totales influye en la retención de las excretas en el biodigestor. Según las investigaciones de Estrada et al. (2008), se determinó que los coliformes totales pueden ser eliminados completamente en el biodigestor a los 46 días.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La evaluación de los parámetros físico, químicos y microbiológicos, tanto en la entrada como en la salida del biodigestor, permitió identificar diferencias significativas entre ambos puntos de muestreo. Se evidenció una disminución de las concentraciones de SST, DQO, DBO₅, *E. coli* y coliformes totales, indicando que el biodigestor tiene la capacidad para reducir parcialmente la carga orgánica de las aguas residuales. En cambio, la temperatura y pH se mantuvieron dentro de los rangos adecuados para una actividad biológica del biodigestor.

La eficiencia de remoción demostró que el biodigestor presenta un desempeño favorable de la reducción de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos, alcanzando porcentajes de remoción adecuados para SST, DQO, DBO₅, *E. coli* y coliformes totales, mayor al 60%. Así mismo, solo en el mes de marzo se obtuvo mayor eficiencia de remoción. No obstante, estos resultados confirman la necesidad de incorporar o mejorar unidades complementarias de tratamiento para garantizar la desinfección del efluente.

5.2. Recomendaciones

Se recomienda a la comunidad de San Antonio de la Iraca fortalecer las prácticas de operación y el mantenimiento de los biodigestores, realizando las descargas de agua de manera adecuada en cada uso, que no incorporen aguas grises al sistema, con el fin de asegurar su correcto funcionamiento y eficiencia.

Se recomienda a los profesionales que van a seguir investigando evaluar diversos materiales como medio filtrante, ya sea piedra chancada, caucho, botellas de vidrio, que puedan funcionar de manera eficiente como filtro biológico del biodigestor, con el fin de mejorar la eficiencia de remoción de aguas residuales.

Se recomienda a las entidades públicas responsables de la gestión y ejecución de proyectos de agua y saneamiento que, en la construcción de unidades básicas de saneamiento basadas en biodigestores, incorporen y optimicen componentes adicionales que permitan mejorar la eficacia de remoción de aguas residuales.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abdoli, S., Asgari Lajayer, B., Dehghanian, Z., Bagheri, N., Vafaei, A. H., Chamani, M., Rani, S., Lin, Z., Shu, W., y Price, G. (2024). A Review of the Efficiency of Phosphorus Removal and Recovery from Wastewater by Physicochemical and Biological Processes: Challenges and Opportunities. *Water (Switzerland)*, 16(17), 1-36. <https://doi.org/10.3390/w16172507>
- Ajahuana, C., Crisóstomo, R., y Quispe, R. (2017). Evaluación del desempeño de un sistema de tratamiento primario anaerobio mediante un prototipo de biodigestor para aguas residuales domésticas. *In 6ta Jornada Científica de estudiantes-FIA*, 1(1), 1-22. https://www.academia.edu/download/57260784/ARTICULO_-_BIODIGESTOR_FINAL.pdf
- Álvarez, J. (2003). *Tratamiento anaerobio de aguas residuales urbanas en planta piloto* [Posgrado, Universidad da Coruña]. https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/990/AlvarezRodriguez_JuanAntonio_TD_2004_01de2.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Anand, U., Dey, S., Parial, D., Federici, S., Ducoli, S., Bolan, N., Dey, A., y Bontempi, E. (2023). Algae and bacteria consortia for wastewater decontamination and transformation into biodiesel, bioethanol, biohydrogen, biofertilizers and animal feed: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 21(3), 1585-1609. <https://doi.org/10.1007/s10311-023-01562-w>
- Angelcola, M., Delprino, M., Rodrigues, G., Iolster, P., Bernardez, A., Cuellas, M., Di, M., y Pagliaricci, L. (2021). *Sistema de evaluación Ponderada de Impacto Ambiental- SEPIA: una herramienta de trabajo para la gestión sostenible de los territorios* (Primera Ed). INTA. <http://hdl.handle.net/20.500.12123/10830>
- Augusto, C., y Bressani, T. (2023). *Tratamiento de aguas residuales municipales*. División de Agua y Saneamiento. <https://publications.iadb.org/publications/spanish/document/Tratamiento-de-aguas-residuales-municipales.pdf>

- Autoridad Nacional del Agua y Ministerio de Agricultura y Riego de Perú. (2017). *Guía para la determinación de la zona de mezcla y la evaluación del impacto de un vertimiento de aguas residuales tratadas a un cuerpo natural de agua*. Autoridad Nacional del Agua. https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/guia_de_la_zona_de_mezcla_1_0.pdf
- Baird, R., Eaton, A., y Rice, E. (2017). Standard methods for the examination of water and wastewater. En *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, American Public Health Association. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>
- Barrera, V., Barrios, T., Córdova, P., Cordova, I., Martínez, J., y Candia, V. (2024). Vertimiento de aguas residuales domiciliarias y el grado de contaminación del río Pisco, Ica. *Revista Alfa*, 8(24), 916-929. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v8i24.313>
- Becerra, L., Horna, M., y Barrionuevo, K. (2014). Nivel de contaminación en los efluentes provenientes de camales de la región la Libertad. 7(3), 23-26. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=a9h&AN=116301041&lang=es&sitete=ehost-live>
- Betancourt, C., y Labaut, Y. (2013). La calidad físicoquímica del agua en embalses, principales variables a considerar. *Revista Científica Agroecosistemas*, 1(1), 78-103. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/65/65>
- Cabezas, E., Andrade, D., y Torres, J. (2018). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. [http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion a la Metodologia de la investigacion científica.pdf](http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/bitstream/21000/15424/1/Introduccion%20a%20la%20Metodologia%20de%20la%20investigacion%20cientifica.pdf)
- Cabrejo, J. (2022). *Evaluación experimental de la mejora de un biodigestor a partir de la aplicación de microorganismos eficientes (EM)* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomás]. <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/49180/2023josecabrejo.pdf?sequence>

=6&isAllowed=y

- Cacciari, M. (2005). Eliminación de nutrientes de las aguas residuales domésticas: una revisión exhaustiva de las tecnologías convencionales y avanzadas. *Revista de Gestión Ambiental*, 45(1), 13-22. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11010044>
- Calvopiña, H. (2015). *Determinación de la calidad del agua, para la elaboración de un plan de mitigación ambiental, del parque náutico La Laguna, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, período 2015* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. <https://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2685/1/T-UTC-00221.pdf>
- Camacho, L. (2020). La paradoja de la disponibilidad de agua de mala calidad en el sector rural colombiano. *Revista de Ingeniería*, 1(3), 38-50. <https://revistas.uniandes.edu.co/index.php/rdi/article/view/7489/7889>
- Castañeda, A., y Flores, H. (2014). Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitos típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Paakat: Revista de Tecnología y Sociedad*, 4(7), 33-46. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5815442>
- Castillo, L. (2016). *Caracterización de virus entéricos contaminantes, presentes en diferentes tipos de agua relacionados con el consumo y uso humano* [Tesis de pregrado, Universidad Galileo]. <http://biblioteca.galileo.edu/tesario/handle/123456789/466>
- Castro, C., y Flores, J. (2019). *Biogás a partir de lodos producidos en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Comas 2019* [Tesis de pregrado, Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/42516>
- Castro, E., y Delgadillo, L. (2024). Tratamiento y disposición de aguas residuales. Propuesta didáctica pedagógica con estudiantes de grado 5.º de la I.E. San Antonio, sede El Revés municipio Cunday, Tolima. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 8(5), 11038-11053. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v8i5.14490
- Cely, N., Bonilla, C., y Carrillo, G. (2022). *Tratamientos de aguas residuales*. Ecoe Ediciones S.A.S. https://www.researchgate.net/profile/Carlos-Bonilla-11/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales/links/65747cf1cbd2c535ea011/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales/links/65747cf1cbd2c535ea011/publication/376375373_Tratamientos_de_aguas_residuales/

e46b8/Tratamientos-de-aguas-residuales.pdf?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0a

- Cendales, E. (2011). *Producción de biogás mediante la codigestión anaeróbica de las mezclas de residuos cítricos y estiércol bovino para su utilización como fuente de energía renovable* [Tesis de posgrado, Universidad Nacional de Colombia]. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/45153202/edwindariocendalesladino.2011.parte1-libre.pdf?1461812916=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DProduccion_de_biogas_mediante_la_codiges.pdf&Expires=1737569943&Signature=FbQ11APDN-ComD6TIXw59uUbH
- Cevallos, A., Polo, E., Salgado, D., y Orbea, M. (2017). *Métodos y técnicas de investigación* (Primera ed). Ediciones Grupo Compás. <http://142.93.18.15:8080/jspui/bitstream/123456789/498/3/metodología.pdf>
- Chavarría, E., Huamaní, L., Basurto, C., y Carvo, O. (2023). Nivel de calidad de la demanda bioquímica de oxígeno del proceso de filtros biológicos. *Revista Alfa. Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, 7(19), 153-159. <https://doi.org/10.33996/revistaalfa.v7i19.205>
- Chowdhury, M., Mostafa, M., Kumar, T., y Kumar, A. (2013). Treatment of leather industrial effluents by filtration and coagulation processes. *Water Resources and Industry*, 3, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.wri.2013.05.002>
- Córdova, L., y Fernández, J. (2021). *Propuesta de vivienda ecológica implementando biodigestores en la asociación de vivienda amazónica del distrito de Yarinacocha – Coronel Portillo – Ucayali* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://orcid.org/0000-0002-3185-3036>
- Cusiche, L., y Miranda, G. (2019). Contaminación por aguas residuales e indicadores de calidad en la reserva Nacional ‘Lago Junín’, Perú. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10(6), 1433-1447. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i6.1870>

- Da Silva, M., Viancelli, A., Michelón, W., Vinícius, S., Dos Reis, D., Fernández, L., Sant'Anna, I., Resende, L., Souza, C. de, Das, I., Hernández, M., Treichel, H., Rodríguez, D., y Fongaro, G. (2019). Biodigestores domésticos promueven la reducción de virus y bacterias entéricos en zonas rurales vulnerables y pobres. *Contaminación ambiental*, 252, 8-13. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.05.104>
- Dagnino, J. (2014). La distribución normal. *Rev Chil Anest*, 43, 116-121. <http://editorialkamar.com/et/archivo11.pdf>
- Daviran, J. (2021). *Remoción de turbiedad y sólidos suspendidos totales con la utilización de la cáscara de cacao (Theobroma cacao) como coagulante natural en las aguas del río Chillón* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Callao]. <http://hdl.handle.net/20.500.12952/6368>
- Del Nery, V., Damianovic, M., Moura, R., Pozzi, E., Pires, E., y Foresti, E. (2016). Poultry slaughterhouse wastewater treatment plant for high quality effluent. *Water Science and Technology*, 73(2), 309-316. <https://doi.org/10.2166/wst.2015.494>
- Delgadillo, M., y Condori, L. (2010). Planta de tratamiento de aguas residuales con macrófitas para comunidades cercanas al lago Titicaca. En *Revista Boliviana de Ciencias*. Universidad del Valle - La Paz. http://www.revistasbolivianas.ciencia.bo/pdf/jbc/v7n21/a13_v7n21.pdf
- Domínguez, L., y Rojas, K. (2019). *Eficacia de los biodigestores autolimpiables en las unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS-AH) en el tratamiento de aguas residuales domésticas, Huando 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Huancavelica]. <https://repositorio.unh.edu.pe/bitstreams/65274d07-5f76-4694-afbd-5b24752d8422/download>
- Estrada, J., Gómez, G., y Jaramillo, A. (2008). *Efecto del biodigestor plástico de flujo continuo en el tratamiento de aguas residuales de establos bovinos*. 2(2), 9-20. https://doctoradoagrarias.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/04/art_2008_efecto_del_biodigestor_plastico_de_flujo_continuo-en_el_tratamiento_de_aguas_residuales_de_establos_bovinos_bovidae-1.pdf

- Fernández, M. (2017). Determinación de coliformes totales y fecales en aguas de uso tecnológico para las centrífugas. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar, Cuba*, 51(2), 70-73. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223154251011.pdf>
- Fernández, M., Manosalva, I., Quintero, R., Marín, C. E., Cuesta, Y., Mahecha, D., y Vásquez, P. (2022). Análisis multitemporal de coliformes totales y Escherichia coli en la cuenca media del río Bogotá, 2007-2019. *Sustainability (Switzerland)*, 14(3), 1-26. <https://doi.org/10.3390/su14031769>
- García, P. (2010). *Caracterización del agua recirculada y optimización de la dosificación de lechada de cal en el agua residual del Ingenio Risaralda S.A* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/27c8954b-46bd-467b-b818-ee830c16df26/content>
- Garnica, D., y Rivera, L. (2022). Géneros de Archaeas Metanogénicas presentes en biodigestores anaerobios y su rendimiento en la producción de biogás [Pregrado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas]. En *Braz Dent J*. <http://hdl.handle.net/11349/30313>
- Garro, J. (2016). *El suelo y los abonos orgánicos* (Primera Ed). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F04-10872.pdf>
- Germán Cárdenas. (2009). *Aislamiento térmico de biodigestores en planta de tratamiento de aguas servidas Osorno* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2009/bmfcic266a/doc/bmfcic266a.pdf>
- Goicochea, L. (2022). *Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables en la provincia de Celendín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4986/TESIS_LIANE_EMILY_GOICOCHEA_PEREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gonzalez, J. (2023). *Tecnologías avanzadas del tratamiento de agua, una revisión bibliográfica*. University of La Guajira. https://www.researchgate.net/profile/Jorge-Gonzalez-147/publication/372744275_Tecnologias_avanzadas_del_tratamiento_de_agua/links/64c53

- González, R., y Ramírez, H. (2011). Modelación numérica de la hidrodinámica, del oxígeno disuelto y la demanda bioquímica de oxígeno en sistemas con vegetación. *Hidrobiológica*, 21(2), 147-158. <https://www.scielo.org.mx/pdf/hbio/v21n2/v21n2a5.pdf>
- Guerrero, C., Inga, E., y Samaniego, F. (2011). Optimización de un biodigestor en la depuración de agua residual con estiércol de ganado bovino [Tesis de pregrado, Universidad politécnica salesiana]. En *Universidad Politécnica Salesiana*. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1215/14/UPS-CT002194.pdf>
- Gutiérrez, R. (2025). Rol del trabajo social en proyectos de agua y saneamiento : percepción desde los beneficiarios en la comunidad rural de Tanahuasi. *Geociencias Y Humanidades*, 3, 1-13. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15721900>
- He, X., Zhang, T., Ren, H., Li, G., Ding, L., y Pawlowski, L. (2017). Phosphorus recovery from biogas slurry by ultrasound/H₂O₂ digestion coupled with HFO/biochar adsorption process. *Waste Management*, 60, 219-229. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.08.032>
- Huaccha, L., y Muñoz, A. (2023). *Evaluación de la eficiencia del biodigestor prefabricado en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad Pampa Larga, Cajamarca 2022* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. [https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/35404/Huaccha Machuca Ledy Janeth - Miranda Muñoz Alberto-Restringido.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/35404/Huaccha%20Machuca%20Ledy%20Janeth%20-%20Miranda%20Muñoz%20Alberto-%20Restringido.pdf?sequence=2&isAllowed=y)
- Huang, X. (2024). The Promotion of Anaerobic Digestion Technology Upgrades in Waste Stream Treatment Plants for Circular Economy in the Context of “Dual Carbon”: Global Status, Development Trend, and Future Challenges. *Water (Switzerland)*, 16(24), 3718. <https://doi.org/10.3390/w16243718>
- Huertas, D., y Cubillos, D. (2018). *Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica de un biodigestor tubular anaerobio a escala piloto para el tratamiento de aguas residuales porcinas en la Institución Educativa Agrícola Guacavia, Cumaral-Meta* [Tesis de pregrado, Universidad Santo Tomas]. <http://hdl.handle.net/11634/15536>

- Humanante, J., Moreno, L., Grijalva, A., Saldoya, R., y Suárez, J. (2022). Eficiencia de remoción e impacto del sistema de tratamiento de aguas residuales del sector urbano y rural de la provincia de Santa Elena. *Manglar*, 19(2), 177-187. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.022>
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2020). *Perú: Formas de acceso al agua y saneamiento básico*. Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI). https://m.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/boletin_agua_2023.pdf
- Kumar, K., Soni, R., Sajid, Q., Tripathi, P., Lal, J., Jha, N. K., Haris, M., Kumar, P., Tripathi, V., y Ruokolainen, J. (2021). Tratamiento y reutilización de aguas residuales: una revisión de sus aplicaciones e implicaciones para la salud. *Water Air Soil Pollut*, 232: 208, 1-28. <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s11270-021-05154-8.pdf>
- Kumar, T., Rajpal, A., Arora, S., Bhargava, R., Hari Prasad, K., y Kazmi, A. (2016). A comparative study on vermifiltration using epigeic earthworm *Eisenia fetida* and *Eudrilus eugeniae*. *Desalination and Water Treatment*, 57(14), 6347-6354. <https://doi.org/10.1080/19443994.2015.1010230>
- Leiva, S. (2024). *Determinación de la remoción de DQO Y DBO₅ en el tratamiento de las aguas residuales domésticas mediante la electrocoagulación en el distrito de Ahuac* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/14036/1/IV_FIN_107_TE_Leiva_Gonzales_2024.pdf
- Leon, E., Alfaro, R., Huaquisto, E., Zapana, M., Huanacuni, W., y Belizario, G. (2023). Efficiency of prefabricated biodigesters in the treatment of domestic wastewater in dispersed rural localities. *E3S Web of Conferences*, 405, 1-9. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340504035>
- Limache, F., y Tirado, L. (2022). Acción de dos macrófitos para el tratamiento del agua residual de las lagunas de estabilización de Magollo, Tacna – Perú. *Ciencia & Desarrollo*, 21(1), 29-39. <https://doi.org/10.33326/26176033.2022.1.1239>
- López, P., y Fachelli, S. (2015). *Metodología de la investigación social Cuantitativa* (Primer edi).

Dipóst digital de la Universidad Autónoma de Barcelona. <https://ddd.uab.cat/record/185163>

MacKay, M., Neale, P., Arp, C., Domis, L., Fang, X., Gal, G., Jöhnk, D., Kirillin, G., Lenters, J., Litchman, E., MacIntyre, S., Marsh, P., Melack, J., Mooij, W., Peeters, F., Quesada, A., Schladow, S., Schmid, M., Spence, C., y Stokes, S. (2009). Modelado de lagos y embalses en el sistema climático. *Sociedad Americana de Limnología y Oceanografía*, 54, 2315-2329. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.6_part_2.2315

Madondo, N., Tetteh, E., Rathilal, S., y Bakare, B. (2021). Synergistic effect of magnetite and bioelectrochemical systems on anaerobic digestion. *Bioengineering*, 8(12), 1-12. <https://doi.org/10.3390/bioengineering8120198>

Manyuchi, M., Mupoperi, N., Mbohwa, C., y Muzenda, E. (2019). Treatment of wastewater using vermifiltration technology. *Water Conservation, Recycling and Reuse: Issues and Challenges*, 215-230. https://doi.org/10.1007/978-981-13-3179-4_12

Martins, R., Salgado, E., Gonçalves, A., Esteves, A., y Pires, J. (2024). Microalgae-Based Remediation of Real Textile Wastewater: Assessing Pollutant Removal and Biomass Valorisation. *Bioengineering*, 11(1), 44-60. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11010044>

Mayta, R., y Mayta, J. (2017). Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 83(3), 331-340. <https://doi.org/10.37761/rsqp.v83i3.117>

Mego, T. (2023). *Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales de los biodigestores instalados en Cabracancha, Chota, 2022* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Chota]. https://repositorio.unach.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14142/342/Mego_Torres_TY.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Mejía, A., Cabrera, M., y Carrillo, Y. (2017). Remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. *La Granja*, 26(2), 72. <https://doi.org/10.17163/lgr.n26.2017.06>

Mejía, E. (2019). *Eficiencia de la adición de tres concentraciones de probióticos, en la calidad*

- microbiológica del efluente de agua residual domestica rural tratada en biodigestores* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893 BANCES PISCOYA-ROJAS PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/5092/BC-3893_BANCES_PISCOYA-ROJAS_PUICON.pdf?sequence=3&isAllowed=y)
- Mejía, E., Vasquez, Á., Gamarra, J., Cabrera, T., y Morales, L. (2021). Eficiencia de probióticos en la calidad del efluente de agua residual doméstica tratada en biodigestores. *UCV Hacer*, 10(3), 11-16. <https://doi.org/10.18050/revucvhacer.v10n3a1>
- Mejía, F. (2015). *Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse-Apurímac* [Tesis de pregrado, Universidad Agraria la Molina]. https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/2591/P10_M43-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Menéndez, C., y Dueñas, J. (2018). Los procesos biológicos de tratamiento de aguas residuales desde una visión no convencional. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 39(3), 97-107. <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n3/1680-0338-riha-39-03-97.pdf>
- MINAM. (2010). Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. En *Normas Legales El Peruano*. http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2013/09/ds_003-2010-minam.pdf
- Ministerio de la Producción. (2020). *Protocolo para el monitoreo de efluentes de los establecimientos industriales pesqueros de consumo humano directo e indirecto*. Ministerio de la Producción Viceministerio de Pesca y Acuicultura. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/protocolo.pdf>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales*. SIAR. https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/siar-puno/archivos/public/docs/propuesta_de_protocolo_de_monitoreo_de_la_calidad_de_los_efluentes_de_la_planta.pdf

- Miranda, S., Harahap, A., Mu'minin, A., Fitriana, A., y Indah, N. (2023). Meningitis por beta-lactamasas de espectro extendido por *Escherichia coli* en un lactante de 3 meses con absceso subdural e hidrocefalia comunicante: reporte de un caso. *International Journal of Surgery Case Reports*, 106(1), 1-3. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2023.108128>
- Mori, K. (2021). *Eficiencia de un biodigestor tubular en la remoción de la carga orgánica y sólidos de un efluente del beneficio cárnico, en Celendín* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4337>
- Moscoso, J. (2016). Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas. En *Ministerio de agricultura y riego*. Autoridad Nacional del Agua. http://www.ana.gob.pe/sites/default/files/publication/files/manual_de_buenas_practicas_para_el_uso_seguro_y_productivo_de_las_aguas_residuales_domesticas.pdf
- Niquén, M., Vasquez, A., Hinojosa, Y., y Niquen, A. (2021). Impactos ambientales generados por vertimiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Tumbes - Perú. *Reciamuc*, 5(3), 222-232. [https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.\(3\).agosto.2021.222-232](https://doi.org/10.26820/reciamuc/5.(3).agosto.2021.222-232)
- Osorio, J., Ciro, H., y González, H. (2007). *Evaluación de un sistema de biodigestión en serie para clima frío*. 60(2), 4145-4162. <https://www.redalyc.org/pdf/1799/179914078017.pdf>
- Osorio, M. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo Conocimiento*, 6(3), 228245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Palacios, Í., y Moreno, D. (2022). Contaminación ambiental. *Recimundo*, 62(2), 93–103. [https://doi.org/10.26820/recimundo/6.\(2\).abr.2022.93-103](https://doi.org/10.26820/recimundo/6.(2).abr.2022.93-103)
- Paucar, F., y Iturregui, P. (2020). Los desafíos de la reutilización de las aguas residuales en el Perú. *South Sustainability*, 1(1), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.21142/SS-0101-2020-004>
- Paucar, J., y Álvarez, J. (2025). *Análisis comparativo para el manejo de residuos, entre el sistema sanitario conectado a un biodigestor y a un sistema de compostaje seco para la comunidad piñal de abajo, parroquia Limonal* [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/30281/1/UPS-GT006285.pdf>

- Paz, K. (2007). Media Aritmética Simple. *Boletín Electrónico No. 7, 07*, 1-13.
<http://editorialkamar.com/et/archivo11.pdf>
- Pérez, B., y Alvarado, C. (2021). *Análisis de características generales a partir de un prototipo de biodigestor discontinuo* [Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica Centroamericana].
<https://repositorio.unitec.edu/bitstream/handle/123456789/11418/21641033-OCTUBRE2021-L32-PG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Pérez, Y., Garcia, D., y Jauregui, U. (2022). Humedales construidos como alternativa de tratamiento de aguas residuales en zonas urbanas: una revisión. *Ecosistemas*, 31(1), 1-9.
<https://doi.org/10.7818/ECOS.2279>
- Raffo, E., y Ruiz, E. (2014). Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. *Journal of the American Chemical Society*, 17(1), 71-80.
<https://doi.org/10.1021/ja00334a047>
- Ramos, H., y Vargas, G. (2020). *Remoción de DQO y SST en el tratamiento de aguas residuales de curtiembre en un reactor UASB: Revisión Sistemática* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Vallejo].
http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/47102/Gutierrez_RS-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Reina, J. (2015). *Evaluación de la eficiencia y cinética de remoción de materia orgánica en un reactor biológico aerobio horizontal con medio de soporte pet (politereftalato de etileno)* [Tesis de pregrado, Escuela Politécnica Nacional].
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10550/1/CD-6244.pdf>
- Rios, J., y Cisneros, L. (2019). *Eficiencia de un Biodigestor en el Tratamiento de Agua Residual Domestica a nivel familiar en la Asociación “los Víquez” Carapongo - Luriganchos Chosica-Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión].
<http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1815>
- Rivas, O., Faith, M., y Guillén, R. (2011). Biodigestores: factores químicos, físicos y biológicos relacionados con su productividad. *Tecnología en Marcha*, 23(1), 39.

https://revistas.tec.ac.cr/index.php/tec_marcha/article/view/132/131

- Robert, M., Mayarí, R., y Espinosa, M. (2005). Estimación de la incertidumbre en los ensayos microbiológicos de coliformes totales en aguas. *Revista CENIC Ciencias Biológicas*, 36, 1-8. <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181220525009.pdf>
- Rodrigo, E., y Vega, O. (2020). *Estudio comparativo de la eficiencia entre los biodigestores y los humedales artificiales en el tratamiento de aguas residuales domésticas* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/32457/villanueva_mj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Román, A. (2019). Desarrollo sostenible y saneamiento ecológico: opciones para los asentamientos humanos de Huaral (Lima, Perú). *Global Business Administration Journal*, 3(1), 4-10. <https://doi.org/10.31381/gbaj.v3i1.2271>
- Rotoplas. (2024). *Ficha técnica biodigestor autolimpiable*. https://globalss.com.pe/wp-content/uploads/2025/01/FT-Biodigestor_new-1.pdf
- Salgado, I., Durán, C., Cruz, M., Carballo, M., y Martínez, A. (2011). Bacterias rizosféricas con potencialidades fisiológicas para eliminar materia orgánica de aguas residuales. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 28(1), 17-26. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rica/v28n1/v28n1a2.pdf>
- Sánchez, M. (2016). *Evaluación integral de un biodigestor de aguas residuales domésticas* [Tesis de posgrado, Instituto Politécnico Nacional]. https://tesis.ipn.mx/bitstream/handle/123456789/23301/Sánchez_Góngora%2C_María_Antonieta_Tesis.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Saunders, A., Albertsen, M., Vollertsen, J., y Nielsen, P. (2016). The activated sludge ecosystem contains a core community of abundant organisms. *ISME Journal*, 10(1), 11-20. <https://doi.org/10.1038/ismej.2015.117>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. (2024, julio 23). *Datos Hidrometeorológicos en Cajamarca*.

<https://www.senamhi.gob.pe/main.php?dp=cajamarca&p=estaciones>

- Severiche, C., Castillo, M., y Acevedo, R. (2013). *Manual de métodos analíticos para la determinación de parámetros fisicoquímicos básicos en aguas*. Fundación Universitaria Andaluza Inca Garcilaso. <http://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm%0Ahttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978009%0Ahttp://www.eumed.net/libros-gratis/2013a/1326/index.htm%0Ahttp://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92012978009>
- Silva, J. (2022). *Evaluación de la eficiencia del biodigestor comercial en el tratamiento de las aguas residuales domiciliarias* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Martín]. <https://tesis.unsm.edu.pe/bitstream/11458/4673/1/Ing. Sanitaria - Jhony Silva Flores.pdf>
- Soria, M., Ferrera, R., Etchever, J., Alcántar, G., Trinidad, J., Borges, L., y Pereyda, G. (2001). La biodigestión del purín de cerdo para producir biomasa. *Terra*, 19(4), 353-362. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319408>
- Sossa, J. J., y Alvarez, R. (2016). Modelación matemática del proceso de digestión anaerobia en condiciones de clima frío utilizando biodigestores tubulares. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 3(1), 81-93. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182016000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es%0Ahttp://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2409-16182016000100010&lng=es&nrm=iso&tlng=es
- Srivastava, G., Kapoor, A., y Kazmi, A. A. (2023). Improved Biological Phosphorus Removal under Low Solid Retention Time Regime in Full-Scale Sequencing Batch Reactor. *Sustainability (Switzerland)*, 15(10), 7918. <https://doi.org/10.3390/su15107918>
- Sushila, S., y Kumar, P. (2024). Pollution Load Reduction from Domestic Wastewater with Electrocoagulation Process for Agricultural Reuse. *Indian Journal Of Science And Technology*, 17(14), 1409-1418. <https://doi.org/10.17485/ijst/v17i14.168>
- Torres, P. (2013). Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. *Revista EIA*, 9(18), 115-129. <http://www.scielo.org.co/pdf/eia/n18/n18a10.pdf>

- Torrijos, V., Gonzalo, O., Trueba-Santiso, A., Ruiz, I., y Soto, M. (2016). Efecto del by-pass y la recirculación de efluentes sobre la eliminación de nitrógeno en humedales híbridos contruidos para el tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales. *Water Research*, 103, 92-100. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.07.028>
- Trejo, J., y Rojas, G. (2020). Eficiencia de una unidad básica de saneamiento (UBS) – HBC, Nueva Requena, Ucayali. *Revista de Investigación Universitaria*, 10(1), 1-15. <http://revistas.unu.edu.pe/index.php/iu/article/view/36/48>
- Unfer, J. (2021). *Una revisión crítica de los métodos analíticos para determinar la demanda química de oxígeno (DQO)*. Universidad Federal de Rio Grande do Sul. <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/222711>
- Valera, K. (2016). *Caracterización de las aguas residuales de la industria azucarera Tres Valles, en Honduras* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/051b1961-9aae-44a8-8fbe-d37c58af4c3a/content>
- Vásquez, A., Guanuchi, L., Cahuana, R., Vera, R., y Holgado, J. (2023). Métodos de investigación científica. En *Métodos de investigación científica* (Primera ed). Instituto Universitario de Innovación Ciencia y Tecnología Inudi Perú S.A.C. <https://doi.org/10.35622/inudi.b.094>
- Vera, K., y Zambrano, M. (2019). *Evaluación del polvo de moringa (m. Oleífera) para remoción de sólidos suspendidos totales en agua residual del camal municipal de Calceta*. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. <http://repositorio.esпам.edu.ec/bitstream/42000/996/1/TTMA42.pdf>
- Vera, P., Martínez, G., Vera, L., Minchán, J., y Pastor, D. (2023). Efecto del polvo de semilla de Moringa oleífera sobre la turbidez de las aguas residuales en Cajamarca, Perú. *Revista Amazónica de Ciencias Ambientales y Ecológicas*, 2(2), e510. <https://doi.org/10.51252/reacae.v2i2.510>
- Vilchez, R. (2020). *Eficiencia del uso de plástico PET en los filtros biológicos paratratamiento de aguas residuales domésticas del Asentamiento Humano 09 de Octubre – Comas* [Tesis de

pregrado, Universidad César Vallejo].
https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/64259/Vilchez_TRB-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Visnevschi, A., y Povar, I. (2025). New biological treatment method of domestic wastewater with simultaneous nitrification and denitrification based on detached biofilm. *Applied Water Science*, 15(4), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s13201-025-02408-2>
- Wang, J., Long, Y., Yu, G., Wang, G., Zhou, Z., Li, P., Zhang, Y., Yang, K., y Wang, S. (2022). A Review on Microorganisms in Constructed Wetlands for Typical Pollutant Removal: Species, Function, and Diversity. *Frontiers in Microbiology*, 13(1-22). <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.845725>
- Wong, M., y Jiménez, E. (2009). Comparación del efecto de 2 biofertilizantes líquidos a base de estiércol caprino y vacuno sobre parámetros de crecimiento de algarrobo (*Prosopis juliflora* (Sw .) DC .) en fase de vivero. *Temas Agrarios*, 1(1), 1-7. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/509>
- Xia, S., Song, Z., Jeyakumar, P., Shaheen, S., Rinklebe, J., Ok, Y. S., Bolan, N., y Wang, H. (2019). A critical review on bioremediation technologies for Cr(VI)-contaminated soils and wastewater. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 49(12), 1027-1078. <https://doi.org/10.1080/10643389.2018.1564526>
- Zhang, J., Li, H., Zhou, Y., Dou, L., Cai, L., Mo, L., y You, J. (2018). Bioavailability and soil-to-crop transfer of heavy metals in farmland soils: A case study in the Pearl River Delta, South China. *Environmental Pollution*, 235, 710-719. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2017.12.106>
- Zhang, T., Wu, X., Shaheen, S., Zhao, Q., Liu, X., Rinklebe, J., y Ren, H. (2020). Ammonium nitrogen recovery from digestate by hydrothermal pretreatment followed by activated hydrochar sorption. *Chemical Engineering Journal*, 379, 122254. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122254>
- Zhao, W., Peng, Y., Wang, M., Huang, Y., y Li, X. (2019). Nutrient removal and microbial

community structure variation in the two-sludge system treating low carbon/nitrogen domestic wastewater. *Bioresource Technology*, 294, 122161.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122161>

ANEXOS

ANEXO 01: MONITOREO DE LOS PARÁMETROS FÍSICOS, QUÍMICOS Y BIOLÓGICOS

Tabla 15

Registro de temperatura

Meses	FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
		EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
Marzo									
	6/03/2024	23.20	22.00	23.50	20.50	18.30	18.50	20.80	20.50
	20/03/2024	22.70	21.50	23.80	22.10	19.60	19.10	19.60	19.99
Promedio		22.95	21.75	23.65	21.30	18.95	18.80	20.20	20.25
Abril									
	9/04/2024	17.90	17.30	18.10	17.40	16.00	16.60	15.00	16.20
	28/04/2024	18.20	17.50	18.00	17.20	16.10	17.60	16.60	17.40
Promedio		18.05	17.40	18.05	17.30	16.05	17.10	15.80	16.80
Mayo									
	14/05/2024	16.40	16.10	16.60	16.40	15.50	15.10	15.50	16.50
	28/05/2024	16.90	16.40	17.40	17.60	17.60	17.10	17.00	17.40
Promedio		16.65	16.25	17.00	17.00	16.55	16.10	16.25	16.95
Promedio total		19.22	18.47	19.57	18.53	17.18	17.33	17.42	18.00

Tabla 16

Sólidos suspendidos totales en los tres meses de evaluación

FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	450,00	58,00	390,00	52,00	320,00	76,00	430,00	110,00
20/03/2024	480,00	56,00	425,00	45,00	435,00	95,00	348,00	115,00
Promedio	480,00	57,00	407,50	48,50	377,50	85,50	389,00	112,50

Eficiencia de remoción	88,13		88,10		77,35		71,08	
09/04/2024	397,00	48,00	320,00	56,00	392,00	81,00	350,00	100,00
28/04/2024	232,00	54,00	220,00	98,00	130,00	108,0	348,00	148,00
	0							
Promedio	314,50	51,00	270,00	77,00	261,00	94,50	349,00	124,00
Eficiencia de remoción	83,78		71,48		63,79		64,47	
14/05/2024	370,00	88,00	392,00	150,00	245,00	108,0	256,00	110,00
	0							
28/05/2024	336,00	91,00	305,00	145,00	228,00	100,0	230,00	123,00
	0							
Promedio	353,00	89,50	348,50	147,50	236,50	104,0	243,00	116,50
	0							
Eficiencia de remoción	74,65		57,68		56,03		52,06	

Tabla 17

Demanda química de oxígeno (DQO) en los tres meses evaluados

FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	923,8	66,7	738,4	66,7	745,7	77,5	834,5	88,7
20/03/2024	827,6	68,4	889,1	77,8	798,2	69,5	923,7	79,7
Promedio	875,7	67,55	813,75	72,25	771,95	73,5	879,1	84,2
Eficiencia de remoción	92,29		91,12		90,48		90,42	
09/04/2024	936,6	63,6	945,6	78,2	823,8	76,5	950,5	107,1
28/04/2024	834,8	48,7	687,4	41,7	575,1	96,1	849,9	92,6
Promedio	885,7	56,15	816,5	59,95	699,45	86,3	900,2	99,85
Eficiencia de remoción	93,66		92,66		87,66		88,91	

14/05/2024	804,9	125,2	735,6	108,8	567,6	110,5	969,5	107,8
28/05/2024	790,2	116,4	720,5	105,6	678,4	105,2	876,7	99,7
Promedio	797,55	120,8	728,05	107,2	623	107,85	923,1	103,75
Eficiencia de remoción	84,85		85,28		82,69		88,76	

Tabla 18

pH en los tres meses de evaluación

FECHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	7,92	8,00	7,33	6,56	7,90	6,85	7,80	6,90
20/03/2024	7,50	7,07	7,70	6,79	7,70	6,78	7,56	6,78
Promedio	7,71	7,54	7,52	6,68	7,80	6,82	7,68	6,84
09/04/2024	7,80	7,60	7,80	7,05	6,35	6,93	7,70	6,96
28/04/2024	9,15	7,76	6,78	7,03	6,66	6,97	6,62	6,97
Promedio	8,48	7,68	7,29	7,04	6,51	6,95	7,16	6,97
14/05/2024	6,70	7,00	7,77	6,99	7,80	7,00	7,50	5,99
28/05/2024	6,33	6,50	7,20	7,00	6,45	6,90	7,63	6,85
Promedio	6,52	6,75	7,49	7,00	7,13	6,95	7,57	6,42

Tabla 19

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en todos los meses de evaluación

FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	541	65,7	337,5	61,6	388,1	55,7	420	99,4
20/03/2024	636	60,3	480,7	79,6	390	73	556	95,6
Promedio	588,5	63,0	409,1	70,6	389,05	64,35	488	97,5
Eficiencia de remoción	89,29		82,74		83,46		80,02	
09/04/2024	345	98,6	390,8	95,8	405	100,3	398,5	110,5
28/04/2024	316	116	250,7	46,5	244	60,5	350	57

Promedio	330,5	107,3	320,75	71,15	324,5	80,4	374,25	83,75
Eficiencia de remoción	67,53		77,82		75,22		77,62	
14/05/2024	311	65	280,7	96,8	289,3	91,5	369,5	110,6
28/05/2024	296	96,9	220,1	91	290	90,6	389,2	95,5
Promedio	303,5	80,95	250,4	93,9	289,65	91,05	379,35	103,05
Eficiencia de remoción	73,33		62,50		68,57		72,84	

Tabla 20*Escherichia coli en los meses de evaluación*

FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	12000000,00	6000,00	560000,00	150000,00	4500000,00	150000,00	1400000,00	150000,00
20/03/2024	14000000,00	32000,00	490000,00	25000,00	2900000,00	170000,00	1100000,00	190000,00
Promedio	13000000,00	19000,00	525000,00	87500,00	3700000,00	160000,00	1250000,00	170000,00
Eficiencia de remoción	99,85		83,33		95,68		86,40	
09/04/2024	13000000,00	42000,00	650000,00	160000,00	3200000,00	110000,00	1900000,00	270000,00
28/04/2024	12000000,00	35000,00	540000,00	110000,00	3500000,00	110000,00	1700000,00	110000,00
Promedio	12500000,00	38500,00	595000,00	135000,00	3350000,00	110000,00	1800000,00	190000,00
Eficiencia de remoción	99,69		77,31		96,72		89,44	
14/05/2024	1300000,00	34000,00	560000,00	120000,00	4000000,00	180000,00	1500000,00	300000,00
28/05/2024	1200000,00	36000,00	420000,00	100000,00	3900000,00	100000,00	2200000,00	330000,00
Promedio	1250000,00	35000,00	490000,00	110000,00	3950000,00	140000,00	1850000,00	315000,00
Eficiencia de remoción	97,20		77,55		96,46		82,97	

Tabla 21*Coliformes totales en los meses de evaluación*

FEHAS	San Antonio		Saca Saca		Corralillo		Sitacucho	
	EB	SB	EB	SB	EB	SB	EB	SB
06/03/2024	190000000,00	3700000,00	8200000,00	1500000,00	3300000,00	130000,00	3200000,00	120000,00
20/03/2024	110000000,00	340000,00	8700000,00	180000,00	3400000,00	170000,00	2900000,00	110000,00
Promedio	150000000,00	2020000,00	8450000,00	840000,00	3350000,00	150000,00	3050000,00	115000,00
Eficiencia de remoción	98,65		90,06		95,52		96,23	
09/04/2024	180000000,00	4000000,00	880000,00	150000,00	3800000,00	180000,00	3600000,00	150000,00
28/04/2024	170000000,00	350000,00	9200000,00	170000,00	3500000,00	140000,00	3500000,00	170000,00
Promedio	94000000,00	2175000,00	5040000,00	160000,00	3650000,00	160000,00	3550000,00	160000,00
Eficiencia de remoción	97,69		96,83		95,62		95,49	
14/05/2024	160000000,00	840000,00	930000,00	1400000,00	3700000,00	1100000,00	270000,00	100000,00
28/05/2024	170000000,00	2400000,00	9100000,00	190000,00	3500000,00	120000,00	900000,00	140000,00
Promedio	165000000,00	1620000,00	5015000,00	795000,00	3600000,00	610000,00	585000,00	120000,00
Eficiencia de remoción	90,18		84,15		83,06		79,49	

ANEXO 02: PANEL FOTOGRÁFICO

Figura 10

Toma de datos de ubicación del biodigestor



Figura 11

Verificación del biodigestor para dar inicio al muestreo de aguas residuales



Figura 12

Identificación de la entrada y salida del biodigestor



Figura 13

Extracción del agua residual (EB) del biodigestor



Figura 14

Extracción de agua residual (SB) del biodigestor



Figura 15

Recolección de muestra para el parámetro DQO



Figura 16

Adicionando el reactivo ácido sulfúrico (H_2SO_4) para DQO



Figura 17

Codificación para la DQO



Figura 18

Recolección de muestra para el parámetro de coliformes totales y Escherichia coli



Figura 19

Codificación para coliformes totales y Escherichia coli



Figura 20

Recolección de muestra para el parámetro de pH SST



Figura 21

Codificación para pH y SST



Figura 22

Recolección de muestra para el parámetro DBO_5



Figura 23

Codificación para la DBO_5



Figura 24

Registro de temperatura en la salida del biodigestor



Figura 25

Registro de temperatura en la entrada del biodigestor



Figura 26

Acondicionamiento de las muestras de agua en el contenedor para su respectivo traslado



Figura 27

Recepción de las muestras en el laboratorio de agua del gobierno regional de Cajamarca



Figura 28

Llenado de la cadena de custodia



ANEXO 3: RESULTADOS DE LABORATORIO



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 04240485

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre: **RAFAEL DIAZ JOSELINO**
Dirección: **JR SANTA CLARA NRO 183 - CHOTA**
Persona de contacto: **RAFAEL DIAZ JOSELINO** Correo electrónico: joselinorafaeldiaz@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo: **28.04.24** Hora de Muestreo: **14:07 a 17:30**
Responsable de la toma de muestra: **Cliente** Plan de muestreo N°: **-**
Procedimiento de Muestreo: **-**
Tipo de Muestreo: **Puntual**
Número de puntos de muestreo: **08**
Ensayos solicitados: **Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos- Microbiológicos**
Breve descripción del estado de la muestra: **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**
Referencia de la Muestra: **Chota- Cajamarca**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato: **SC-595** Cadena de Custodia: **CC - 0485 - 24**
Fecha y Hora de Recepción: **29.04.24 11:16** Inicio de Ensayo: **29.04.24 11:23**
Reporte Resultado: **10.05.24 09:00**

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Enver Zulueta Santa Cruz
Especialista de Biología
CBP: 9778

Cajamarca, 10 de mayo de 2024

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240485

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	San Antonio-SA-BE		San Antonio-SA-BE	Saca Saca-SS-3E	Saca Saca-SS-BE	Cornillo-C-3E	Cornillo-C-BE	
Código Laboratorio	04240485-01		04240485-02	04240485-03	04240485-04	04240485-05	04240485-06	
Matriz	Residual		Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	San Antonio de Inca		San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	9.15	7.76	6.78	7.03	6.66	6.97
Sólidos Suspendidos Totales	mg/L	2.5	232.0	54.0	220.0	98.0	130.0	108.0
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DRO5)	mg O ₂ /L	2.6	316.0	116.0	250.7	46.5	244.0	60.5
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	834.8	48.7	687.4	41.7	575.1	96.1

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



Firmado digitalmente por
ZULETA SANTA CRUZ Ewer
PAU 234537441133.pdf
Nuevo. Válido en señal de
conformidad
Fecha: 20240510 09:55 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 10 de mayo de 2024

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240485

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra	Sitacucho-S-BE		Sitacucho-S-BE	-	-	-	-	-
Código Laboratorio	04240485-07		04240485-08	-	-	-	-	-
Matriz	Residual		Residual	-	-	-	-	-
Descripción	San Antonio de Iruca		San Antonio de Iruca	-	-	-	-	-
Localización de la Muestra	San Antonio de Iruca		San Antonio de Iruca	-	-	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
pH a 25°C	pH	NA	6.62	6.97	-	-	-	-
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	2.6	348.0	148.0	-	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6	350.0	57.0	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	8.3	849.6	92.9	-	-	-	-

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



Firmado digitalmente por
JULIANA SANTA CRUZ LIMA
Firma electrónica
Módulo: Vicio en carta de
conformidad
Fecha: 10/05/2024 10:05 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 10 de mayo de 2024

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240485

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra	San Antonio-SA- BE		San Antonio-SA- BS	Saca Saca-SS-SE	Saca Saca-SS- BS	Camelito-C-BE	Camelito-C-BS	
Código Laboratorio	04240485-01		04240485-02	04240485-03	04240485-04	04240485-05	04240485-06	
Matriz	Residual		Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	
Localización de la Muestra	San Antonio de Inca		San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	San Antonio de Inca	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformos Totales	NMP/ 100ml	1.8	17×10^7	35×10^4	92×10^5	17×10^4	35×10^5	14×10^4
Escherichia coli	NMP/ 100ml	1.8	12×10^6	35×10^3	54×10^5	11×10^4	35×10^5	11×10^4

Nota: Los Resultados <1.8, <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

V° B°  
 RUT 300 01012 00103 001
 ZULUETA SANTA CRUZ Enay
 PAU 25452/44135 441
 R01012 0150 CA 20101 00
 02010101 001
 Fecha: 10/05/2024 13:50 p.m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

Cajamarca, 10 de mayo de 2024

INFORME DE ENSAYO N° IE 04240485

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Potencial de Hidrógeno (pH) a 25°C	pH	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-H ⁺ B, 24 th Ed. 2023: pH Value: Electrometric Method
Sólidos Suspensos Totales	mg/l	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 2550 A, D, 24 th Ed. 2023: Solids: Total Suspended Solids: Dried at 103 - 105 °C
Demanda Bioquímica de Oxígeno (CBO ₅)	mg O ₂ /L	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 24 th Ed. 2023: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 24 th Ed. 2023: Chemical Oxygen Demand (COD): Closed Reflux, Colorimetric Method
Coliformes Totales	NMP/100mL	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C, 24 th Ed. 2023: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group: Standard Total Coliform Fermentation Technique
Escherichia coli	NMP/100mL	SM/WW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E,G 24 th Ed. 2023: Multiple Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group: Other Escherichia coli Procedures

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 10 de mayo de 2024

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por
J.B. PITA SANCHEZ
CUI: 20403744100
Validez: Vale en señal de
conformidad
Fecha: 12/06/2024 03:03 a.m.

Cadena de custodia

[illegible]