

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria



TESIS

**“EFECTO DE LA ALTITUD EN LA EFICIENCIA DE BIODIGESTORES
PREFABRICADOS EN LOS DISTRITOS DE COCHABAMBA, CHOTA Y
TACABAMBA, PROVINCIA DE CHOTA”**

Para obtener el Título Profesional de
INGENIERO SANITARIO

PRESENTADO POR:

Bach. Ing. JOSÉ JORGE CASTILLO ROJAS

ASESOR:

Dr. Ing. GASPAR VIRILO MÉNDEZ CRUZ

Cajamarca – Perú

- 2025 -

CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

- FACULTAD DE INGENIERÍA -

1. Investigador: **JOSÉ JORGE CASTILLO ROJAS**
DNI: **77698166**
Escuela Profesional: **Ingeniería Sanitaria**
2. Asesor: **Gaspar Virilo Méndez Cruz**
Facultad: **Ingeniería**
3. Grado académico o título profesional
☐ Bachiller ☒ Título profesional ☐ Segunda especialidad
☐ Maestro ☐ Doctor
4. Tipo de Investigación:
☒ Tesis ☐ Trabajo de investigación ☐ Trabajo de suficiencia profesional
☐ Trabajo académico
5. Título de Trabajo de Investigación:
EFFECTO DE LA ALTITUD EN LA EFICIENCIA DE BIODIGESTORES PREFABRICADOS EN LOS DISTRITOS DE COCHABAMBA, CHOTA Y TACABAMBA, PROVINCIA DE CHOTA
6. Fecha de evaluación: **26/10/2025**
7. Software antiplagio: ☒ TURNITIN ☐ URKUND (OURIGINAL) (*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: **20 %**
9. Código Documento: **Oid: 3117:518562028**
10. Resultado de la Evaluación de Similitud:
☒ APROBADO ☐ PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha Emisión: Cajamarca, 27 de octubre de 2025



FIRMA DEL ASESOR
Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz

DNI: 26631950



Firmado digitalmente por:
BAZAN DIAZ Laura Sofia
FAU 20148258601 soft
Motivo: En señal de
conformidad
Fecha: 27/10/2025 23:19:57-0500

UNIDAD DE INVESTIGACIÓN FI



ACTA DE SUSTENTACIÓN PÚBLICA DE TESIS.

ACTA N° 0009-2026

TÍTULO : EFECTO DE LA ALTITUD EN LA EFICIENCIA DE BIODIGESTORES PREFABRICADOS EN LOS DISTRITOS DE COCHABAMBA, CHOTA Y TACABAMBA, PROVINCIA DE CHOTA.

ASESOR : Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.

En la ciudad de Cajamarca, dando cumplimiento a lo dispuesto en Art. 035 del Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Cajamarca, la Secretaría Académica de la Facultad de Ingeniería, da a conocer que a los **treinta días del mes de enero de 2026**, siendo las quince horas con treinta minutos (3:30 p.m.) en la Sala de Audiovisuales (Ambiente 1A - Segundo Piso), de la Facultad de Ingeniería, se reunieron los Señores Miembros del Jurado Evaluador:

Presidente : Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Vocal : Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Secretario : M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.

Para proceder a escuchar y evaluar la sustentación pública de la tesis titulada **EFECTO DE LA ALTITUD EN LA EFICIENCIA DE BIODIGESTORES PREFABRICADOS EN LOS DISTRITOS DE COCHABAMBA, CHOTA Y TACABAMBA, PROVINCIA DE CHOTA**, presentado por el Bachiller en Ingeniería Sanitaria **JOSÉ JORGE CASTILLO ROJAS**, asesorado por el Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz, para la obtención del Título Profesional

Los Señores Miembros del Jurado replicaron al sustentante debatieron entre sí en forma libre y reservada y lo evaluaron de la siguiente manera:

EVALUACIÓN PRIVADA : 05 PTS.
EVALUACIÓN PÚBLICA : 11 PTS.
EVALUACIÓN FINAL : 16 PTS.

Dieciseis (En letras)

En consecuencia, se lo declara Aprobado con el calificativo de Dieciseis.
acto seguido, el presidente del jurado hizo saber el resultado de la sustentación, levantándose la presente a las horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el acto, para constancia se firmó por quintuplicado.

Dr. Ing. José Francisco Huamán Vidaurre.
Presidente

Dr. Ing. Luis Vásquez Ramírez.
Vocal

M.Cs. Ing. José Hilario Longa Álvarez.
Secretario

Dr. Ing. Gaspar Virilo Méndez Cruz.
Asesor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por protegerme y guiarme durante este camino, por darme la sabiduría para cada día ser mejor.

A mi familia por su apoyo incondicional.

A mi asesor Dr. Gaspar Virilo Méndez Cruz; por su esfuerzo y dedicación, por su paciencia y enseñanza durante mis estudios universitarios y en todo el período de ejecución del trabajo de tesis.

A la Universidad Nacional de Cajamarca, por ser mi alma mater profesional y a todos los docentes de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Sanitaria, por sus enseñanzas y su apoyo incondicional.

DEDICATORIA

A mis padres con todo el amor del mundo, Jorge Antonio Castillo Coronel y Lidia Rojas Gálvez; por haber sido mi apoyo en todo momento, por sus consejos, por su ejemplo de trabajo, perseverancia y constancia, por sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien, por ser las personas que me enseñaron a ser quien soy y por su amor incondicional.

A mi hermano Msc. Ing. Eisner Will Castillo Rojas; por ser el motor y la fuerza unida a mí, por su apoyo incondicional en este trabajo de investigación ya que sin su apoyo no se hubiese realizado este trabajo de investigación y para juntos lograr grandes cosas en bien de nuestra familia.

A mis abuelos, tíos, primos y demás familiares que confían en mí y me dan sus muestras de amor, respeto, unión y fuerza cada día.

A Deysi Zamora Livaque, por su apoyo incondicional, por su motivación y perseverancia para el logro de grandes cosas en la vida, por su capacidad de superación.

A mis familiares, amigos, compañeros de la universidad y a quienes se sumaron a mi vida para hacerme compañía con sus sonrisas de ánimo, con sus consuelos y sus grandes enseñanzas.

ÍNDICE DE CONTENIDO

PÁGINA

AGRADECIMIENTO	i
DEDICATORIA	ii
RESUMEN	ix
ABSTRACT	x
1. CAPITULO I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	2
1.2. Formulación del problema	4
1.3. Justificación de la investigación	4
1.4. Alcances y delimitación de la investigación	5
1.5. Limitaciones	6
1.6. Objetivos	7
1.6.1. Objetivo General.....	7
1.6.2. Objetivos Específicos.....	7
2. CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	8
2.1. Antecedentes Teóricos	8
2.1.1. Antecedentes Internacionales	8
2.1.2. Antecedentes Nacionales	9
2.1.3. Antecedentes Locales.....	10
2.2. Bases teóricas	11
2.2.1. Aguas residuales	11
2.2.2. Tipos de aguas residuales.....	12
2.2.3. Composición de las aguas residuales.....	13
2.2.4. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual	14
2.2.5. Materia orgánica en aguas residuales	19
2.2.6. Teoría de la biodegradabilidad de la materia orgánica en biodigestores ..	19
2.2.7. Digestión anaeróbica.....	20
2.2.8. Biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales.....	29
3. CAPITULO III. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN	37
3.1 Hipótesis general	37
3.2 Hipótesis específica	37
4. CAPITULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS	41

4.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación.....	41
4.2. Metodología.....	44
4.2.1. Tipo, nivel, diseño, y método de investigación.....	44
4.2.1.1. Tipo de investigación.....	44
4.2.1.2. Nivel.....	44
4.2.1.3. Diseño	44
4.2.1.4. Método de investigación	46
4.3. Población.....	64
4.4. Muestra... ..	64
4.5. Unidad de análisis.....	64
4.6. Aspectos administrativos	54
4.7. Cronograma.....	66
5.CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	57
5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno.....	57
5.2. Demanda Química de Oxígeno	59
5.3. Coliformes Termotolerantes.....	62
5.4. Potencial de Hidrógeno (pH).....	65
5.5. Temperatura (°C).....	67
5.6. Influencia de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados	69
5.7. Líneas de tendencia	82
5.8. Comprobación de la hipótesis general	74
6.CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	76
6.1. Conclusiones.....	76
6.2. Recomendaciones	77
7.CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	78
7.1. Bibliografía	77
7.2. Linkografía	77
8.CAPÍTULO VIII. ANEXOS	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 01. Porcentajes de la cobertura del alcantarillado en la zona rural de la región Cajamarca.....	02
Figura N° 02. Esquema de reacciones de la digestión anaerobia.....	22
Figura N° 03. Biodigestor prefabricado.....	30
Figura N° 04. Características Dimensionales Biodigestor Prefabricado.....	33
Figura N° 05. Componentes biodigestor prefabricado.....	34
Figura N° 06. Mantenimiento biodigestor prefabricado.....	35
Figura N° 07. Ubicación del proyecto en la provincia de Chota.....	42
Figura N° 08. Relación entre la altitud y la eficiencia de biodigestores prefabricados.....	45
Figura N° 09. Esquema del sistema de tratamiento con biodigestor prefabricado.....	45
Figura N° 10. Ubicación de los Biodigestores Prefabricados en el Caserío de Santa Isolina – Cochabamba.....	47
Figura N° 11. Ubicación del Biodigestor Prefabricado en la comunidad de San Antonio de la Iraca – provincia de Chota.....	47
Figura N° 12. Ubicación del Biodigestor Prefabricado en el sector Conga Chucmar, CC.PP Chucmar – Tacabamba.....	48
Figura N° 13. Puntos de monitoreo.....	50
Figura N° 14. Concentraciones Promedio de Demanda bioquímica de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.....	58
Figura N° 15. Concentraciones Promedio de Demanda química de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.....	61
Figura N° 16. Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.....	64
Figura N° 17. Potencial de hidrógeno de los efluentes de los biodigestores monitoreados a diferentes altitudes.....	66
Figura N° 18. Variación de la temperatura del efluente de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes.....	68
Figura N° 19. Eficiencia de remoción de biodigestores prefabricados ubicados a diferente altitud.....	70
Figura N° 20. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5).....	72
Figura N° 21. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO).....	73

Figura N° 22. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de Coliformes Termotolerantes (CT).....	74
Figura N° 23. Identificación de los puntos de monitoreo BP1 y BP2.....	84
Figura N° 24. Identificación de los puntos de monitoreo BP3 y BP4.....	84
Figura N° 25. Identificación de los puntos de monitoreo BP5 y BP6.....	85
Figura N° 26. Cooler con envases enviado por el laboratorio regional del agua para la toma de muestras.....	85
Figura N° 27. Unidad Básica de Saneamiento (UBS) ubicada a 1757 m.s.n.m donde estará ubicado el punto de monitoreo BP1	86
Figura 28. Caja de registro de la UBS, donde se realizará la toma de muestras del afluente.	86
Figura 29. Toma de muestras para DBO ₅ en el afluente del punto de monitoreo BP1.....	87
Figura 30. Envase para la toma de muestra para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1	87
Figura 31. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1.....	88
Figura 32. Muestra tomada para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1.....	88
Figura 33. Toma de muestras para DQO en el afluente del punto de monitoreo BP1.....	89
Figura 34. Toma de muestras para DBO ₅ en el efluente del punto de monitoreo BP1.....	89
Figura 35. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el efluente del punto de monitoreo BP1.....	90
Figura 36. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP4 a 2641 m.s.n.m.....	90
Figura 37. Muestra para análisis de Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP4 a 2641 m.s.n.m.....	91
Figura 38. Verificación de la altitud con GPS Garmin para la toma de muestras en el afluente y efluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.....	91
Figura 39. Toma de muestras para DBO ₅ en el afluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.....	92
Figura 40. Toma de muestras para DQO en el afluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.....	92

INDICE DE TABLAS

Tabla N° 01: Principales constituyentes de las aguas residuales a reducir.....	13
Tabla N° 02. Reacciones químicas involucradas en el proceso de digestión anaerobia partiendo de glucosa.....	22
Tabla N° 03: Tiempo de retención recomendable según temperaturas.....	28
Tabla N° 04. Operacionalización de las variables.....	38
Tabla N° 05 Identificación de los puntos de monitoreo.....	46
Tabla N° 06. Homogeneidad de puntos de monitoreo.....	48
Tabla N° 07. Técnica de recolección de datos de laboratorio.....	51
Tabla N° 08. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación.....	54
Tabla N° 09. Cronograma de actividades.....	56
Tabla N° 10. Concentraciones de Demanda bioquímica de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores.....	57
Tabla N° 11. Concentraciones Promedio de Demanda bioquímica de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.....	58
Tabla N° 12. Concentraciones de Demanda química de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores.....	60
Tabla N° 13. Concentraciones Promedio de Demanda química de oxígeno ($\text{mg O}_2/\text{L}$) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.....	61
Tabla N° 14. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) en el afluente y efluente de los biodigestores.....	62
Tabla 15. Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.....	63
Tabla N° 16. Variación del pH de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes.....	65
Tabla N° 17. Concentraciones Promedio de potencial de hidrógeno en los efluentes.....	66
Tabla N° 18. Variación de la temperatura del efluente de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes.....	67
Tabla 19. Concentraciones Promedio de la variación de la temperatura en los efluentes....	68
Tabla 20. Eficiencia de tratamiento de biodigestores prefabricados ubicados a diferente altitud.....	70
Tabla N° 21. Relación entre la variable altitud y eficiencia de tratamiento de los biodigestores prefabricados.....	75

RESUMEN

La presente investigación se realizó en el distrito de Cochabamba, centro poblado Santa Isolina, en el distrito de Chota comunidad de San Antonio de la Iraca y en el distrito de Tacabamba, en el sector Conga Chucmar anexo de Pampa Grande, provincia de Chota, región Cajamarca, con el objetivo de evaluar el efecto de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados, en función a la remoción de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y Coliformes Termotolerantes, asimismo se midieron los parámetros de campo de potencial de hidrógeno y temperatura del agua residual doméstica.

Los biodigestores están ubicados a una altitud de 1758 m.s.n.m. en el centro poblado Santa Isolina, a 2647 m.s.n.m. en la comunidad de San Antonio de la Iraca y a 3340 m.s.n.m. en el sector Conga Chucmar anexo de Pampa Grande, el muestreo se realizó de manera puntual en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados, donde se tomaron las muestras periódicamente cada 30 días, durante 04 meses, obteniendo 12 muestras en cada punto de monitoreo, para los respectivos análisis correspondientes. En base a los resultados obtenidos se determinó que el biodigestor prefabricado ubicado a una altitud de 1758 m.s.n.m., logra un porcentaje de remoción de DBO_5 de 61.47 %, un 53.09 % en DQO y un porcentaje de remoción de 94.15 % en coliformes termotolerantes; en el biodigestor ubicado a 2647 m.s.n.m. logra porcentajes de remoción de 27.65 % de DBO_5 , 40.26 % en DQO y 72.06 % en coliformes termotolerantes y en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m., logra un porcentaje de remoción de DBO_5 de 15.83 %, un 36.35 % en DQO y un porcentaje de remoción de 62.02 % en coliformes termotolerantes, estos resultados muestran que la altitud influye de manera significativa en la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

ABSTRACT

This research was carried out in the district of Cochabamba, in the Santa Isolina population center, in the Chota district, in the community of San Antonio de la Iraca, and in the district of Tacabamba, in the Conga Chucmar sector, annex of Pampa Grande, Chota province, Cajamarca region, with the objective of evaluating the effect of altitude on the efficiency of prefabricated biodigesters, based on the removal of biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand and Thermotolerant Coliforms. The parameters of the hydrogen potential field and temperature of domestic wastewater were also measured.

The biodigesters are located at an altitude of 1758 m.a.s.l. in the Santa Isolina population center, at 2647 m.a.s.l. in the community of San Antonio de la Iraca and at 3340 m.a.s.l. In the Conga Chucmar sector annex to Pampa Grande, sampling was carried out punctually in the influent and effluent of the prefabricated biodigesters, where samples were taken periodically every 30 days, for 08 months, obtaining 12 samples at each monitoring point, for the respective corresponding analyses. Based on the results obtained, it was determined that the prefabricated biodigester located at an altitude of 1758 m a.s.l., achieves a BOD₅ removal percentage of 61.47%, 53.09% in COD and a removal percentage of 94.15% in thermotolerant coliforms; in the biodigester located at 2647 m a.s.l. The prefabricated biodigester located at 3340 m a.s.l. achieves removal percentages of 27.65% of BOD, 40.26% of COD and 72.06% of thermotolerant coliforms and in the prefabricated biodigester located at 3340 m a.s.l., it achieves a removal percentage of 15.83% of BOD₅, 36.35% of COD and a removal percentage of 62.02% of thermotolerant coliforms. These results show that altitude significantly influences the efficiency of prefabricated biodigesters in the treatment of domestic wastewater.

PALABRAS CLAVE:

1. **Aguas residuales domésticas:** las aguas residuales domésticas, son aquellas que resultan del uso del agua en viviendas, comercios y lugares de trabajo, siendo ricas en contaminantes orgánicos, sólidos sedimentables y bacterias. (MVCS, 2021)
2. **Biodigestor:** un biodigestor es un tanque cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (en ausencia de aire) las cuales degradan la materia orgánica disuelta en medio acuoso conocido como aguas residuales domesticas. (Nicoll, 2020)
3. **Proceso anaerobio:** un proceso anaerobio se refiere a un tratamiento de aguas residuales que ocurre en ausencia de oxígeno y que se utiliza para la estabilización de lodos. Este proceso implica la acción de microorganismos para descomponer la materia orgánica, transformándola en gases como el metano y dióxido de carbono, y es una aplicación común en el tratamiento de aguas residuales municipales e industriales. (Metcalf & Eddy,2018)
4. **Demanda bioquímica de oxígeno:** es una medida de la cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en una muestra de agua. (Kaiser,1998)
5. **Demanda química de oxígeno:** es la cantidad de oxígeno requerida para oxidar la materia orgánica y algunas inorgánicas en una muestra de agua, ya sea directamente o mediante un oxidante químico fuerte, como el dicromato de potasio. (Kaiser,1998)
6. **Coliformes termotolerantes:** son un grupo de bacterias que incluyen a especies como Escherichia coli (E. coli), Citrobacter, Klebsiella y Enterobacter, capaces de crecer y fermentar la lactosa a temperaturas elevadas (44-45 °C), un criterio que permite identificarlas como indicadores de contaminación de origen fecal. Su presencia en agua o alimentos sugiere una posible contaminación por heces humanas o animales, lo que podría indicar un riesgo para la salud pública debida a la posible presencia de patógenos más difícil de detectar. (Kaiser,1998)
7. **Eficiencia:** se refiere a la capacidad de lograr un objetivo utilizando la menor cantidad de recursos posible o de maximizar los resultados con una inversión mínima de recursos. (Idalberto Chiavenato, 2017)

CAPITULO I. INTRODUCCIÓN

El estado peruano mediante decreto supremo N° 007-2017-VIVIENDA, aprobó la política nacional de saneamiento, cuyo objetivo principal es incrementar la cobertura, calidad y sostenibilidad de los servicios de saneamiento, con la finalidad de alcanzar el acceso universal; así como, reducir la brecha de infraestructura en el sector y asegurar el acceso a los servicios de saneamiento prioritariamente de la población rural y de escasos recursos. En este contexto, la Dirección Regional de Vivienda, Construcción y Saneamiento de Cajamarca, como ente rector del saneamiento regional, ha desarrollado el plan regional de saneamiento de Cajamarca 2018-2021, describiendo la implementación de unidades básicas de saneamiento - UBS, que consta de la instalación de baño, ducha, pileta, biodigestor prefabricado y zanjas de infiltración y/o pozos de percolación, que tienen como objetivo el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

Esta investigación surge con la finalidad de evaluar el efecto de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba, provincia de Chota. Considerando la realidad geográfica de la provincia de Chota, presentando un amplio rango de altitudes lo cual implica una variación de la temperatura ambiental y teniendo este elemento climático una influencia directa sobre el funcionamiento del biodigestor, surge la necesidad de evaluar la eficiencia en la remoción de materia orgánica a diferentes altitudes; (ETERNIT, 2019), asegura la eficiencia de tratamiento en climas variados, desde 5 °C hasta los 55 °C de temperatura ambiente, en tal virtud la presente investigación busca conocer el efecto de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba, provincia de Chota.

Esta investigación se realizó específicamente en el distrito de Cochabamba, centro poblado Santa Isolina con una altitud de 1758 msnm, en el distrito de Chota comunidad de San Antonio de la Iraca con una altitud de 2647 msnm y en el distrito de Tacabamba en el sector Conga Chucmar, anexo Pampa Grande con una altitud de 3340 msnm; se tomó muestras del afluente del sistema de tratamiento el cual nos proporcionó un dato de referencia inicial, luego el siguiente muestreo se realizó en el efluente del biodigestor prefabricado determinando así el porcentaje de remoción de materia orgánica, este muestreo se realizó en los tres lugares Cochabamba, Chota y Tacabamba presentado estos tres lugares diferente temperatura ambiental por su altitud.

1.1. Planteamiento del problema

En el mundo se trata aproximadamente sólo el 20% de las aguas residuales que se generan en las ciudades y el resto no recibe un tratamiento adecuado evacuándose directamente en cuerpos de agua superficiales causando graves daños a los ecosistemas (PNUMA y UN-Hábitat 2018)

El Perú genera aproximadamente 2 217 946 m³ de aguas residuales por día descargadas a la red de alcantarillado, de este volumen solo el 32% recibe tratamiento (OEFA 2014), en la región Cajamarca la cobertura de alcantarillado para los hogares de la zona rural ha disminuido por la poca priorización frente al alcantarillado urbano, pasando de 21.6% en el año 2011 a 19.4% en el año 2016, tal y como se observa en el siguiente gráfico

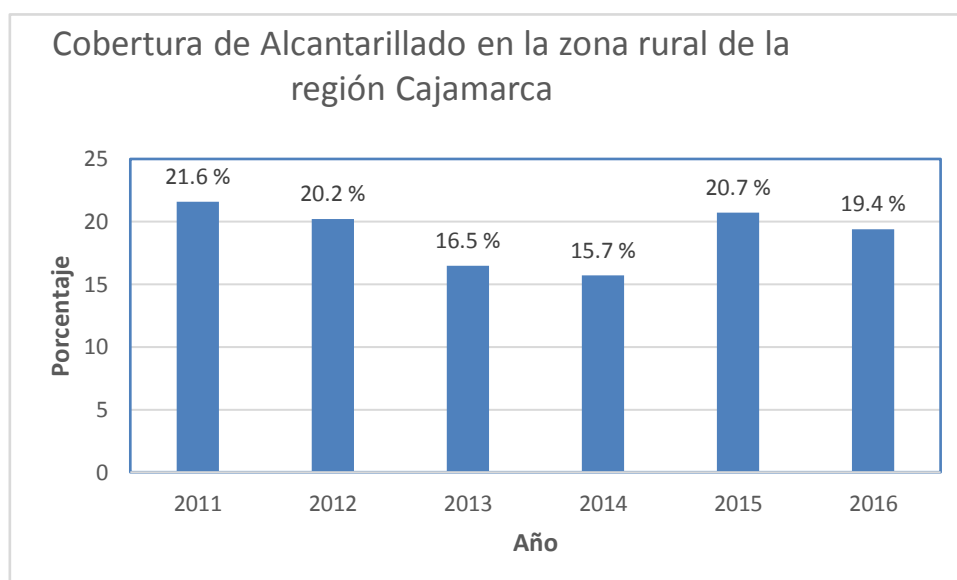


Figura N° 01. Porcentajes de la cobertura del alcantarillado en la zona rural de la región Cajamarca

Fuente: Adaptado de Plan Regional de Saneamiento Cajamarca 2018 – 2021.

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2018), la población rural de la provincia de Chota representa el 78.7 % y de este porcentaje solo un 60 % tiene un debido tratamiento de sus aguas residuales, lo cual constituye un riesgo de salud pública inminente, por la contaminación del ambiente, el agua, el suelo y generando focos infecciosos, propiciando la proliferación de agentes de contaminación y la transmisión de enfermedades.

En la provincia de Chota, se ha ejecutado múltiples proyectos de inversión pública a través de la implementación de unidades básicas de saneamiento con arrastre hidráulico (UBS - AH) que consta de baño, ducha, pileta, biodigestor prefabricado y zanjas de infiltración que tienen como objetivo el tratamiento de las aguas residuales domésticas a través de un tratamiento anaerobio primario el cual evacua un agua de tipo 3. Se utiliza este sistema de eliminación de excretas en zonas donde no hay acceso a la red pública, en lugares donde no es factible la habilitación de un sistema de alcantarillado convencional ya sea por su lejanía, topografía del terreno o por grado de dispersión de la población en el área (Rotoplas, 2014); las investigaciones realizadas sobre la eficiencia de los biodigestores prefabricados en zonas frías con gran altitud indican que las aguas residuales tratadas por el biodigestor prefabricado no cumplen con los límites máximos permisibles para efluentes en los siguientes parámetros DBO, DQO, Coliformes termotolerantes, alcanzando eficiencias muy bajas, más que todo en las zonas alto andinas donde la temperatura es baja.

En un estudio realizado para optar el título profesional de Ingeniero Agrícola, en el Centro Poblado de Sanquira, distrito de Yunguyo, Provincia de Yunguyo – Puno, con una Altitud de 3826 msnm, menciona que los resultados obtenidos del efluente en el laboratorio conforme a la eficiencia de remoción del sistema son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 28.24%, demanda química de oxígeno (DQO) 26.44%, sólidos totales en suspensión (SST) 57.16%, coliformes totales 47.41% y coliformes fecales 33.60%. (Mancha, R. 2015)

Esto sumado a la insuficiente cobertura de servicios de agua potable, saneamiento básico y tratamiento de aguas residuales domésticas, mala calidad de la prestación de servicios que pone en riesgo la salud de la población, deficiente sostenibilidad de los sistemas construidos, tarifas que no permiten cubrir los costos de administración, operación y mantenimiento de los servicios, debilidad institucional y recursos humanos poco calificados que acentúan mucho más la problemática de la eficiencia en la remoción de materia orgánica a través de biodigestores prefabricados que es una tecnología en el tratamiento de aguas residuales validada por el ministerio de vivienda, construcción y saneamiento. En resumen, la situación del sector saneamiento en el Perú es aun deficiente desde el punto de vista institucional, de gestión y financiero (Plan Nacional de Saneamiento 2006 - 2015).

La remoción de materia orgánica en biodigestores prefabricados es de gran importancia sanitaria, ya que una inadecuada disposición final de aguas residuales con una elevada carga orgánica genera contaminación ambiental y con ello la proliferación de agentes infecciosos, lo que influye en la calidad de vida de la población. (Mejía y Pérez 2016)

En la actualidad las diferentes entidades públicas y gobiernos locales impulsan este tipo de proyectos, dejando de lado la investigación o sistemas piloto para evaluar las eficiencias en la remoción de la carga orgánica de esta tecnología de tratamiento en las condiciones ambientales de la provincia de Chota.

1.2. Formulación del problema

¿Cuál es el efecto de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba, provincia de Chota?

1.3. Justificación de la investigación

Identificada la realidad problemática se evidencia la necesidad de evaluar la eficiencia de remoción de materia orgánica en biodigestores prefabricados y su viabilidad como alternativa para el tratamiento de las aguas residuales domésticas en tres distritos de la provincia de Chota a diferentes altitudes y condiciones de temperatura ambiental diferente.

Para ello se determinó tres lugares centro poblado Santa Isolina, distrito de Cochabamba, comunidad San Antonio de la Iraca, distrito de Chota y sector Conga Chucmar, anexo Pampa Grande en el distrito de Tacabamba para el monitoreo del afluente y efluente de los biodigestores prefabricados con la finalidad de hacer un análisis estadístico comparativo y evaluar la influencia de la temperatura en la remoción de materia orgánica, determinando valores de eficiencia reales bajo estas condiciones de temperatura instalado en campo y proponer criterios de funcionamiento acordes con las condiciones climáticas de cada distrito donde se pretende ejecutar la presente investigación; con el desarrollo de la investigación y los datos que se generen servirá para proponer mejoras en los sistemas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito rural bajo condiciones reales de funcionamiento que contribuya a la disminución de la creciente contaminación de los recursos hídricos, suelo, flora y fauna.

Es fundamental determinar cuáles son las restricciones de este tipo de sistemas de tratamiento y cuáles son las consecuencias ambientales del vertimiento de sus efluentes, de tal manera poder plantear alternativas técnicas para su solución.

En investigaciones realizadas se ha evidenciado una baja eficiencia de esta tecnología de tratamiento en zonas altoandinas donde la temperatura es una de las condiciones determinantes en el desarrollo de la actividad microbológica, por lo tanto influye directamente en la tratabilidad del agua residual. Crites y Tchobanoglous (2002), menciona que la temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 25 a 35°C. Los procesos de digestión aerobia y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 50°C. Cuando la temperatura se acerca a los 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 5°C, las bacterias autotróficas nitrificantes dejan de actuar. Cuando la temperatura es de 2°C, se alcanza incluso la inactivación de bacterias quimioheterotróficas que actúan sobre la materia orgánica carbonácea.

1.4. Alcances y delimitación de la investigación

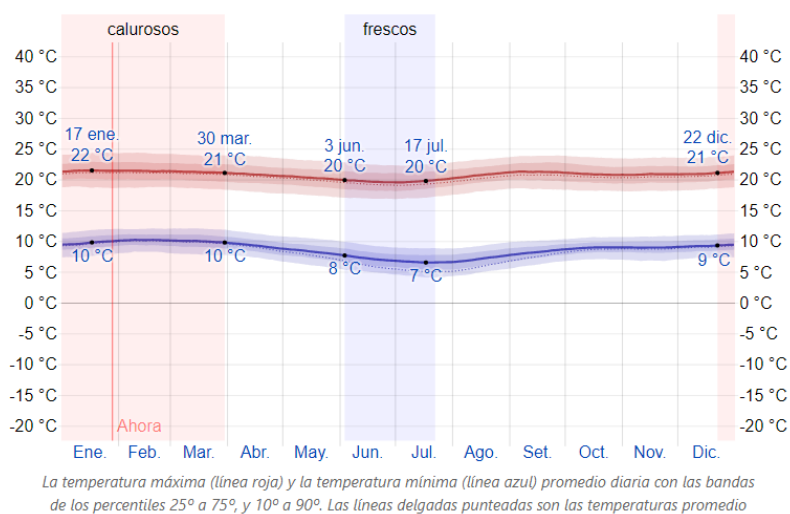
1.4.1. Delimitación espacial

La presente investigación se desarrolló en la provincia de Chota, específicamente en el distrito de Cochabamba, centro poblado Santa Isolina cuyas coordenadas UTM son 739893.63E, 9281415.18N, con una altitud de 1755 msnm; en el distrito de Chota comunidad de San Antonio de la Iraca con coordenadas UTM 753869E, 9272792N, con una altitud de 2678 msnm y en el distrito de Tacabamba, en el sector Conga Chucmar anexo de Pampa Grande con coordenadas UTM 772675.68E, 9288895.26N, con una altitud de 3340 msnm.

1.4.2. Delimitación temporal

La presente investigación se desarrollará por muestreo simultaneo en los tres puntos de monitoreo establecidos iniciando en el mes de enero al mes de abril del 2025, periodo con las condiciones climáticas más estables, considerando que el mes con la temperatura más alta es noviembre y la más baja se da en el mes de julio (SENAMHI 2021).

Grafico N° 01. Temperaturas máximas y mínimas de la provincia de Chota



Fuente: SENAMHI (2020).

Según SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú) para CHOTA, el mes con temperatura más alta es noviembre (**26.6°C**); la temperatura más baja se da en el mes de julio (**12.6°C**); y llueve con mayor intensidad, los meses de febrero, marzo y abril, así como lluvias frecuentes en los meses de setiembre y octubre

1.4.3. Delimitación temática

La presente investigación tendrá por delimitación temática el marco conceptual de sus dos variables y sus dimensiones respectivas temperatura ambiental, temperatura interna del agua residual en el biodigestor, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO), Coliformes Termotolerantes (CTT), potencial de hidrógeno (pH) y temperatura del agua residual doméstica (T°).

1.5. Limitaciones

Ubicación distante de los biodigestores.

No existe una base de datos de biodigestores prefabricados instalados, en la provincia de Chota.

1.6. Objetivos

1.6.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba, provincia de Chota

1.6.2. Objetivos Específicos

Determinar la concentración de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda química de oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT) en el afluente y efluente del biodigestor prefabricado.

Monitorear la temperatura interna del agua residual y el Potencial de Hidrógeno (pH), en el biodigestor prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes Teóricos

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En el proyecto de tesis titulado “Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del Municipio de San Buenaventura”, cuyo objetivo general es recuperar Aguas Residuales Domésticas a través de un biodigestor anaerobio, obteniendo agua de tratamiento primario para el aprovechamiento uso agrícola en la comunidad Altamarani, de la provincia Abel Iturralde, teniendo como resultado en la Remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) con una eficiencia de 27.28 %, Demanda Química de Oxigeno (DQO) una eficiencia de 26.79 %, remoción de Aceites y Grasas una eficiencia de 98.07%, sólidos totales una eficiencia de 51.35 % y en sólidos suspendidos una eficiencia de 53.15%. (Yapu. 2018)

En Cumaral evaluaron la efectividad de un biodigestor tubular anaeróbico a escala piloto en la disminución de materia orgánica, para el tratamiento de aguas residuales porcinas de la Institución Educativa Agrícola Guacavia, Cumaral; obteniendo como resultado los siguientes porcentajes de remoción: 84,95% en la DBO; 88,74% en la DQO; 81,04% en SST y 86,5% en SSV. En los análisis estadísticos los parámetros DBO y DQO, SST y SSV se obtuvo diferencias entre los datos arrojados de los tiempos de retención hidráulica y las relaciones estiércol – agua. (Cubillos y Huertas. 2018)

En Tumbaco se propuso el diseño de un biodigestor para el tratamiento de las aguas residuales de la parroquia de Tumbaco. El análisis de las características del efluente arrojó como resultado una baja en la contaminación, y debido a las condiciones anaeróbicas no generaba mal olor. Además, se observó que una gran cantidad de los parásitos presentes se exterminaron, logrando una disminución en los casos de enfermedades infecciosas. Como finalidad de esta investigación, se espera que el biodigestor efectúe un tratamiento primario y a su vez anaeróbico, puesto que sería más económico por lo que ya no se necesitaría de elevadas porciones de energía para la introducción de oxígeno en las lagunas aireadas, además no necesita mucho espacio. (García. 2016),

2.1.2. Antecedentes Nacionales

En el trabajo de titulación denominado “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”, cuyo objetivo es determinar la eficacia de los biodigestores autolimpiables, obtenidos como resultados promedios en la eficiencia de remoción de: 50.09 % en remoción de STS, 73.14 % de remoción de DQO, 71.47 % en remoción de DBO5, 93.45 % en remoción de AyG, y 36.75 % en remoción de CTT; concluyendo que los biodigestores autolimpiables, son eficaces en el tratamiento de aguas residuales domésticas. (Dominguez y Rojas. 2019)

En la tesis denominada “Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de las aguas residuales domesticas en la localidad de Chibaya Baja – Torata – Moquegua”, cuyo objetivo general es determinar la eficiencia del biodigestor en la localidad de Chibaya Baja a una altitud de 2020 msnm. En base a los resultados obtenidos del laboratorio la eficiencia de tratamiento de las aguas residuales domesticas cuyos parámetros evaluados son: DBO 59.51%, DQO 49.16%, aceites y grasas 35.92%, sólidos totales en suspensión 52.78% y Coliformes fecales (termotolerantes) 89.19%. Se realizó la comparación de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles establecidos por el MINAM, en el decreto supremo N° 003-2010, donde se observa que la DBO y DQO no cumplen con los límites máximos permisibles y estas aguas no deben ser vertidos a cuerpos de aguas (ríos, lagos, aguas subterráneas, etc.). (León 2018)

En el trabajo de titulación denominado “Eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales domesticas en la localidad de Ñausilla”, cuyo objetivo es determinar la eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales domesticas en la localidad de Ñausilla, concluyéndose que los parámetros fisicoquímico y bacteriológico (DBO, DQO, Coliformes Termotolerantes, Oxígeno Disuelto y Solidos Totales) en la salida del biodigestor están dentro de los Límites Máximos Permisibles. (Gonzáles y Simeón. 2018)

En el trabajo de titulación denominado “Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse - Apurímac”, cuyo objetivo es determinar la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado, menciona que tres parámetros importantes en la evaluación de calidad de las aguas tratadas en el biodigestor prefabricado, no cumplieron con los límites máximos permisibles. Estos fueron los porcentajes de remoción en la DBO es de 44.6 %, de los coliformes termotolerantes es de 30% y en la DQO no se produjo remoción, por el contrario el valor se incrementó en un porcentaje de 21.1 %. Por lo tanto, las aguas tratadas por el biodigestor prefabricado no podrán ser vertidas en cuerpos de agua como ríos, lagos o el mar por su grado de contaminación. (Mejía y Pérez. 2016),

En la tesis denominada “Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el centro poblado de Sanquira – Yunguyo”, menciona que los resultados obtenidos del efluente en el laboratorio conforme a la eficiencia de remoción del sistema son: demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) 28.24%, demanda química de oxígeno (DQO) 26.44%, aceite y grasas 62.03%, sólidos totales en suspensión (SST) 57.16%, coliformes totales 47.41% y coliformes fecales un 33.60%. Se realizó el análisis comparativo de parámetros evaluados con los límites máximos permisibles (LMP), de los cuales no cumplen con los LMP para ser descargados a cuerpos receptores sin generar contaminación la (DBO) y la (DQO). (Mancha, R. 2015),

2.1.3. Antecedentes Locales

En la tesis denominada “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”, realizada a una altitud de 2900 m.s.n.m menciona como conclusión que Los biodigestores instalados en el sector 1 de la comunidad de Cabracancha son eficientes en la remoción de la DBO5, DQO y SST en un 77,84%; 79,76% y 89,32%, respectivamente, sin embargo, los efluentes procedentes de estos no cumplen los LMP establecidos mediante D.S. N° 003-2010-MINAM. (Mego. 2023)

En la tesis denominada “Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables en la provincia de Celendín”, cuyo objetivo es determinar la influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables, menciona que La concentración de demanda bioquímica de oxígeno promedio, en el biodigestor autolimpiable ubicado a 3135 m.s.n.m. alcanza el 18.77 % de remoción; y en el biodigestor autolimpiable ubicado a 2645 m.s.n.m. el 24.52 % de remoción, en conclusión a menor altitud mayor eficiencia de tratamiento en los biodigestores autolimpiables, con respecto a demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes. (Goicochea. 2022),

En la tesis denominada “Nivel de eficiencia del sistema de biodigestores en el caserío el Tingo – Celendín, Cajamarca”, cuyo objetivo principal es determinar el nivel de eficiencia de los biodigestores en el caserío el tingo, menciona que después de haber aplicado los instrumentos de medida en la presente investigación en el caserío El Tingo, se llegó a la conclusión que el nivel de eficiencia de los biodigestores es de 75% regular, 15% malo y 15% bueno. Con estos resultados se cumple la hipótesis planteada. (Aguilar, 2018),

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Aguas residuales

A través de la norma OS.090, las aguas residuales so definidas como aquellas que han sido usadas por una comunidad o industria y que contiene material orgánico o inorgánico, disuelto o en suspensión (MVCS 2019). Para Romero (2004) las aguas residuales son las aguas usadas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante un sistema de alcantarillado; además define a las aguas residuales domesticas (ARD) como los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios institucionales o comerciales e institucionales; y del mismo modo el autor denomina aguas residuales municipales a los residuos líquidos transportados por el alcantarillado de una ciudad o población y tratados en una planta de tratamiento municipal. Crites y Tchobanoglous (2002), menciona que las aguas residuales domiciliarias, tal como salen de la casa, contienen distintos contaminantes que, de no ser tratados, pueden afectar nuestra salud y la calidad del ambiente en el que vivimos. Entre estos contaminantes encontramos:

- Microorganismos patógenos (bacterias, Virus, parásitos) que producen enfermedades como la hepatitis, cólera, disentería, diarreas, etc.
- Materia orgánica (material fecal, papel higiénico, restos de alimentos, jabones y detergentes) que consume el oxígeno del agua y produce malos olores.
- Nutrientes que propician el desarrollo desmedido de algas y malezas acuáticas en arroyos, ríos y lagunas.
- Otros contaminantes como aceite, ácidos, pinturas, solventes, veneno, etc., que alteran el ciclo de la vida de las comunidades acuáticas.

El tratamiento de las aguas residuales domiciliarias debe ser entendido como una necesidad, a fin de mantener condiciones adecuadas de salud e higiene para la población, conservar la calidad de las fuentes de agua y propender a un uso racional y sustentable de los recursos acuáticos.

2.2.2. Tipos de aguas residuales

La norma OS.090 2019, distingue las siguientes definiciones de aguas residuales domésticas y municipales.

a. Agua residual doméstica

Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.

b. Agua residual municipal

Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas de origen industrial, siempre que esas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

2.2.3. Composición de las aguas residuales

Crites y Tchobanoglous (2002), las aguas residuales están compuesta fundamentalmente por las aguas de abastecimiento de una población, después de haber sido contaminados por diversos usos, desde el punto de vista de su origen resultando de la combinación de los líquidos o desechos arrastrados por el agua, procedentes de las casas de habitación, edificios comerciales e institucionales, junto con los provenientes de los establecimientos industriales y las aguas subterráneas, superficiales o de precipitación que pueden agregarse, la cantidad o volumen de aguas residuales que se produzca varía de acuerdo con la población y depende de los diversos factores.

Las aguas residuales pueden ser originadas por:

- a) Desechos humanos y animales
- b) Desperdicios domésticos

2.2.3.1. Desperdicios domésticos

Crites y Tchobanoglous (2002), proceden de las manipulaciones de lavado de ropa, baño, desperdicios de cocina, limpieza y preparación de alimentos, etc.

Casi todos estos desechos contienen jabones, detergentes, sintéticos que generalmente tienen agentes espumantes y que son de usos común en las labores domésticas. Los desechos de cocina tienen partículas de alimentos y grasas que se están convirtiendo en la parte más importante de los desechos domésticos.

Tabla N° 01: Principales constituyentes de las aguas residuales a reducir

CONTAMINANTES	IMPORTANCIA
Sólidos Suspendidos	Forman depósitos de lodo y favorecen las condiciones anaerobias cuando son descargados a los ecosistemas
Materia Orgánica	Compuesta principalmente de proteínas, carbohidratos y grasas; por lo general, se miden en términos de DBO y DQO. Si es descargada sin tratamiento a un cuerpo de agua, reduce en este oxígeno disuelto y desarrolla condiciones anaeróbicas.
Patógenos	Los organismos patógenos existentes en las aguas residuales pueden transmitir enfermedades.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fosforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando son descargados en los cuerpos de agua generan crecimiento excesivo de algas y condiciones anaeróbicas.
Contaminantes Importantes	Compuestos orgánicos e inorgánicos que causan alteraciones genéticas, mutaciones, además son cancerígenos.

Materia Orgánica Refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir los métodos convencionales de tratamiento de aguas residuales. Ejemplos típicos incluyen detergentes y pesticidas agrícolas.
Metales Pesados	Se encuentran en las aguas residuales provenientes de industrias, pueden ser removidos y reutilizados.
Compuestos Orgánicos Disueltos	El calcio, sodio y sulfato, son adicionados a los sistemas domésticos de abastecimiento de aguas, debiendo ser removidos si se va a usar nuevamente el agua residual.
Temperatura	Ligeramente alta con el agua de beber. Variaciones acorde al año (estaciones). Influye en la actividad microbiana. Influye en la solubilidad de los gases. Influye en la viscosidad.
Color	Aguas frescas: ligeramente gris. Aguas sépticas: gris oscuro o negro.
Olor	Aguas frescas: relativamente desagradable. Aguas sépticas: olor ofensivo, tanto del ácido sulfhídrico como de otros productos de la descomposición.
Turbiedad	Causado por una gran variedad de sólidos suspendidos. Las aguas frescas presentan mayor concentración de sólidos.

Fuente: Texto Ingeniería de Aguas Residuales de Metcalf y Eddy (2003).

2.2.4. Características físicas, químicas y biológicas del agua residual

Hernández (1994), el conocimiento de la naturaleza de las aguas residuales es fundamental para la gestión de la calidad del ambiente y para el establecimiento de normativas o leyes que regulan las concentraciones de contaminantes presentes en ellos, así como la planificación de proyectos y explotación de las infraestructuras tanto de acopio como de tratamiento y evaluación de las mismas; en las aguas residuales viven organismos de diversos tamaños, estas pueden identificarse con la ayuda de un microscopio, completando con la observación de sus reacciones con respecto al medio ambiente; en las aguas residuales son varias los componentes orgánicos e inorgánicos para la determinación y control de calidad del agua.

a) Temperatura (T°)

Es un parámetro importante en las aguas residuales por su efecto sobre las características del agua, sobre las operaciones y proceso de tratamiento, así como el método de disposición final; la temperatura afecta a la alteración de la vida acuática, modifica la concentración y saturación de oxígeno disuelto y la velocidad de las reacciones químicas y de la actividad bacterial (Romero 2004).

La temperatura de las aguas residuales es mayor que la de las aguas no contaminadas, debido a la energía liberada en las reacciones bioquímicas, que se presentan en la degradación de la materia orgánica. (Olivos. 2010),

La velocidad de la depuración aumenta con la temperatura, en especial en lo que concierne a la actividad de las bacterias (CENTA 2008).

La temperatura del agua residual es por lo general mayor que la temperatura del agua para abastecimiento como consecuencia de la incorporación de agua caliente proveniente del uso doméstico e industrial. La medición de la temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura. La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 45 a 65°F (7 a 18°C) mientras que en regiones cálidas la variación será de 55 a 86°F (13 a 30°C). La temperatura del agua es un parámetro muy importante porque afecta directamente las reacciones químicas y las velocidades de reacción, la vida acuática y la adecuación del agua para fines benéficos; la temperatura óptima para el desarrollo de la actividad bacteriana está en el rango de 77 a 95°F (de 25 a 35°C); los procesos de digestión aerobia y nitrificación se detienen cuando la temperatura alcanza valores del orden de los 122°F (50°C); cuando la temperatura se acerca a los 15°C, las bacterias productoras de metano cesan su actividad, y alrededor de los 41°F (5°C), las bacterias autotróficas aurificantes dejan de actuar; cuando la temperatura es de 36°F (2°C), se alcanza incluso la inactivación de bacterias quimioheterotrofas que actúan sobre la materia orgánica carbonácea. (Crites y Tchobanoglous. 2000)

b) Sólidos totales

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hiladas hasta materiales coloidales. Los sólidos domésticos incluyen los procedentes de inodoro, fregaderos, baños, lavaderos, trituradores de basura y ablandadores de agua. Los sólidos totales son los materiales suspendidos y disueltos en el agua. Se obtiene evaporando del agua a 105°C y pesando el residuo. Además, este residuo puede ser dividido en los sólidos volátiles en orgánicos y sólidos fijos o inorgánicos. (Hernández. 1994),

c) pH

El potencial de hidrógeno es la medida de la concentración de ión hidrógeno en el agua, expresada como el logaritmo negativo de la concentración molar del ión hidrógeno; las aguas residuales en concentración adversa del ión hidrógeno son difíciles de tratar biológicamente, alteran la biota de las fuentes receptoras y eventualmente son fatales para los microorganismos (Romero. 2004). El pH de las lagunas facultativas viene determinado fundamentalmente por la actividad fotosintética del fitoplancton y la degradación de la materia orgánica por las bacterias; las algas consumen anhídrido carbónico en la fotosíntesis, lo que desplaza el equilibrio de los carbonatos y da lugar a un aumento del pH; por otra parte, la degradación de la materia orgánica conduce a la formación de CO_2 como producto final, lo que causa una disminución del pH; cuando las lagunas facultativas están operando correctamente el pH presenta valores ligeramente alcalinos, del orden de 7,5-8,5 (CENTA 2008).

d) Tiempo de retención hidráulica (TRH)

Es el tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento, usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. Para Romero et al. (2009) el tiempo de retención define el lapso en que los contaminantes permanecen en contacto con las plantas y los microorganismos para ser transformados biológica y químicamente; de acuerdo con la remoción de la DQO, fósforo y nitrógeno de las aguas residuales, el tiempo de retención hidráulica óptimo es de cinco días. (Cabrera y Ortiz. 2005)

e) Caudal o gasto (Q)

Es la cantidad de agua que pasa por un riachuelo o río, por una tubería, por una sección normal de una corriente de agua, o cuando se mide el volumen del agua que produce un pozo o la que entra a o sale de una planta de tratamiento, en una unidad de tiempo, se conoce como caudal. (Ramírez.2005)

f) Demanda química de oxígeno (DQO)

La DQO se utiliza para determinar el contenido de materia orgánica químicamente oxidable, presente en el agua residual. La determinación se lleva a cabo utilizando un oxidante fuerte (bicromato de potasio) en medio ácido y a temperatura elevada. La DQO de un agua residual es por lo general mayor que su DBO ya que es mayor el número de

compuestos que pueden ser oxidados por vía química, que aquellos que pueden serlo biológicamente.

Este ensayo suele ser empleado para responder a las objeciones hechas a la prueba de la demanda bioquímica de oxígeno en lo referente al tiempo necesario y a la demanda de oxígeno disuelto en la fase inicial. Ello puede resultar de gran utilidad, dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 03 horas, frente a los 05 días necesarios para determinar la DBO.

g) Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)

La DBO es la cantidad de oxígeno requerido para la respiración de los microorganismos responsables de la estabilización (oxidación) de la materia orgánica a través de su actividad metabólica en medio aerobio, la demanda bioquímica de oxígeno representa indirectamente una medida de la concentración de la materia orgánica biodegradable contenida en el agua.

h) Relación entre la (DBO) y la (DQO).

Es posible establecer la relación entre la DBO y la DQO con valores mayores a la unidad indicativa, de que una porción de las sustancias orgánicas oxidables por bicromato no es biodegradables o relativamente resistentes a la degradación biológica. Esta relación puede ser utilizada para cálculos rápidos de la DBO cuando se mantiene más o menos constante dentro de ciertos límites.

i) Microorganismos

Los principales microorganismos presentes en las aguas superficiales y las aguas residuales, están conformados por eucariotas eubacterias y arqueobacterias. Una característica importante de los microorganismos es su habilidad para transformarse en formas resistentes que la hacen a la desinfección por calor o agentes químicos.

j) Bacterias

El papel que desempeñan las bacterias en los procesos de descomposición y estabilización de la materia orgánica, tanto en el marco natural como en las plantas de tratamiento, es amplio y de gran importancia.

Por ello resulta imprescindible conocer sus características funciones, metabolismo y procesos de síntesis. Los coliformes también se emplean como indicadores de la contaminación por desechos humanos.

k) Hongos

Muchos de los hongos son saprofitos basan su alimentación en materia orgánica muerta. Sin la colaboración de los hongos en los procesos de degradación de la materia orgánica, el ciclo del carbono se interrumpiría en poco tiempo, y la materia orgánica empezaría a acumularse.

l) Algas

Las algas pueden presentar serios inconvenientes en las aguas superficiales, puesto que pueden reproducirse rápidamente cuando las condiciones son favorables. Puesto que el efluente de las plantas de tratamiento del agua residual suele ser rico en nutrientes biológicos. La descarga de los afluentes en los lagos provoca su enriquecimiento y aumenta su tasa de eutrofización. Uno de los problemas más importantes a que se enfrenta la ingeniería sanitaria en el campo de la gestión de la calidad del agua es la de encontrar el proceso de tratamiento que hay que aplicar a las aguas residuales de diferentes orígenes de modo que los afluentes no favorezcan el crecimiento de algas y demás plantas acuáticas.

m) Protozoo

Los protozoos como las amebas, los flagelados y los ciliados libres y fijos, tiene una importancia capital tanto en el funcionamiento de los tratamientos biológicos como en la purificación de los cuerpos de aguas ya que son capaces de mantener el equilibrio natural entre los diferentes tipos de microorganismos.

n) Organismos patógenos

Los organismos patógenos se encuentran en las aguas residuales pueden proceder de desechos humanos que estén infectados o que sean portadores de una determinada enfermedad. Las principales clases de organismos patógenos presentes en el agua residual son las bacterias, los virus, los protozoos y el grupo de los helmintos, algunos de estos

organismos resisten condiciones ambientales desfavorables, y pueden sobrevivir a los tratamientos convencionales de desinfección de las aguas residuales.

2.2.5. Materia orgánica en aguas residuales

La materia orgánica en aguas residuales para (Ramalho 2003), se constituye básicamente de proteínas (40 a 60 %), carbohidratos (25 a 50 %) grasas y aceites (8 a 12 %). La urea, el mayor constituyente de la orina, es otro componente orgánico importante que hace parte de las aguas residuales frescas.

Dada su rápida descomposición no es usual encontrarla en otro tipo de aguas. Además de proteínas, carbohidratos, grasas y aceites. (Benítez 2013), aclara que las sustancias orgánicas de las aguas residuales urbanas están constituidas mayoritariamente por materia fecal, siendo la contribución diaria de DBO_5 por parte de un adulto de 39 a 42 g de los cuales 10.3 g corresponden a orina, entre 24.7 y 30.6 g a materia fecal y de 2.0 a 3.5 g a material de limpieza anal. Además también contiene hidratos de carbono (celulosa, almidón, y azúcares), grasas y jabones, detergentes sintéticos, proteínas y sus productos de descomposición; así como hidróxido de amonio y sales amoniacaes procedentes de la descomposición de complejos orgánicos nitrogenados, (Cubillos 1970) agrega que la concentración de materia orgánica en los ríos aumenta por vertimientos de aguas residuales domésticas.

2.2.6. Teoría de la biodegradabilidad de la materia orgánica en biodigestores

Gran parte de las sustancias que transporta el agua residual, ya sea disuelta, suspendida o coloidal, es materia orgánica (como carbohidratos, lípidos y proteínas), una parte importante es biodegradable (Benítez.2013). Esta propiedad es la que permite que las aguas residuales puedan ser depuradas por medio de microorganismos, que utilizan estas sustancias como alimento y fuente de energía para su metabolismo y reproducción; Dependiendo de las características de los compuestos orgánicos y de la capacidad de que éstos puedan ser degradados, determinan o condicionan en gran medida la viabilidad de un tratamiento biológico de un efluente determinado. La materia orgánica biodegradable puede dividirse en dos grupos: rápidamente biodegradable y lentamente biodegradable. (Hernández. 1992)

La materia fácilmente biodegradable estaría formada por las moléculas de pequeño tamaño (ácido acético, glucosa, etanol, entre otros.) que a medida que son degradadas por los microorganismos, da como resultado final el aumento de la población al ser utilizadas como fuente de alimentación. La materia lentamente biodegradable está formada por moléculas de gran tamaño en cuyo proceso de degradación están involucradas las enzimas extracelulares liberadas por los microorganismos que las hidrolizan convirtiéndolas en materia de fácil degradación. (Rosenkranz. 2013)

La digestión anaerobia consiste en un proceso fermentativo en el que la materia orgánica es transformada, en ausencia de oxígeno, por los microorganismos en dos sub productos principales que son; el biogás en su mayor parte compuesto por metano y lodo estabilizado. El proceso de degradación de materia orgánica se realiza mediante reacciones bioquímicas que tienen lugar al interior del reactor en cuatro diferentes etapas las cuales se detallan a continuación. (Centro Superior de Investigaciones Científicas, 2013).

2.2.6.1. Procesos físicos

Es el tipo de tratamiento en el cual se llevan cambios a través de la aplicación de fuerzas físicas, para la remoción de partículas flotantes la retención de partículas de gran tamaño y las unidades típicas incluyen: cribado, mezclado, adsorción, deserción, flotación, sedimentación etc.

2.2.6.2. Procesos químicos

En este tipo de tratamiento la remoción o tratamiento de los contaminantes se realiza mediante la adición de reactivos que llevan a cabo diferentes reacciones químicas disueltas las que producen precipitación química, coagulación y desinfección, presentes en las aguas residuales.

2.2.6.3. Procesos biológicos

En estos la remoción de contaminantes se realiza a través de la oxidación biológica de la materia orgánica, sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales.

2.2.7. Digestión anaeróbica

La digestión anaeróbica consiste en la descomposición de material biodegradable en ausencia de oxígeno para dar como resultado dos productos principales: biogás (compuesto mayoritariamente por metano) y el lodo estabilizado, conocido como digerido. Esta tecnología utiliza reactores (biodigestor) cerrados donde se controlan los parámetros para favorecer el proceso de fermentación anaeróbica, un proceso muy conocido ya que también se produce de un modo natural y espontáneo en diversos ámbitos, como por ejemplo en pantanos, en yacimientos subterráneos o incluso en el estómago de los animales. (Rodríguez. 2006)

La digestión anaerobia es un proceso biológico degradativo en el cual mediante un consorcio de bacterias en ausencia de oxígeno los materiales orgánicos de un sustrato son convertidos en biogás es decir, una mezcla de dióxido de carbono (CO_2) y metano (CH_4) con trazas de otros elementos. (Chen y col., 2008)

Utilizando el proceso de digestión anaerobia es posible convertir gran cantidad de residuos como: residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aerobio (Muñoz Valero y col., 1987), esta consta de cuatro etapas: hidrólisis, acidogénesis, acetogénesis y metanogénesis.

A continuación en la figura N° 02, se presentan las reacciones involucradas en el proceso de digestión anaerobia partiendo de un sustrato de glucosa, además de las bacterias que intervienen en las diferentes etapas.

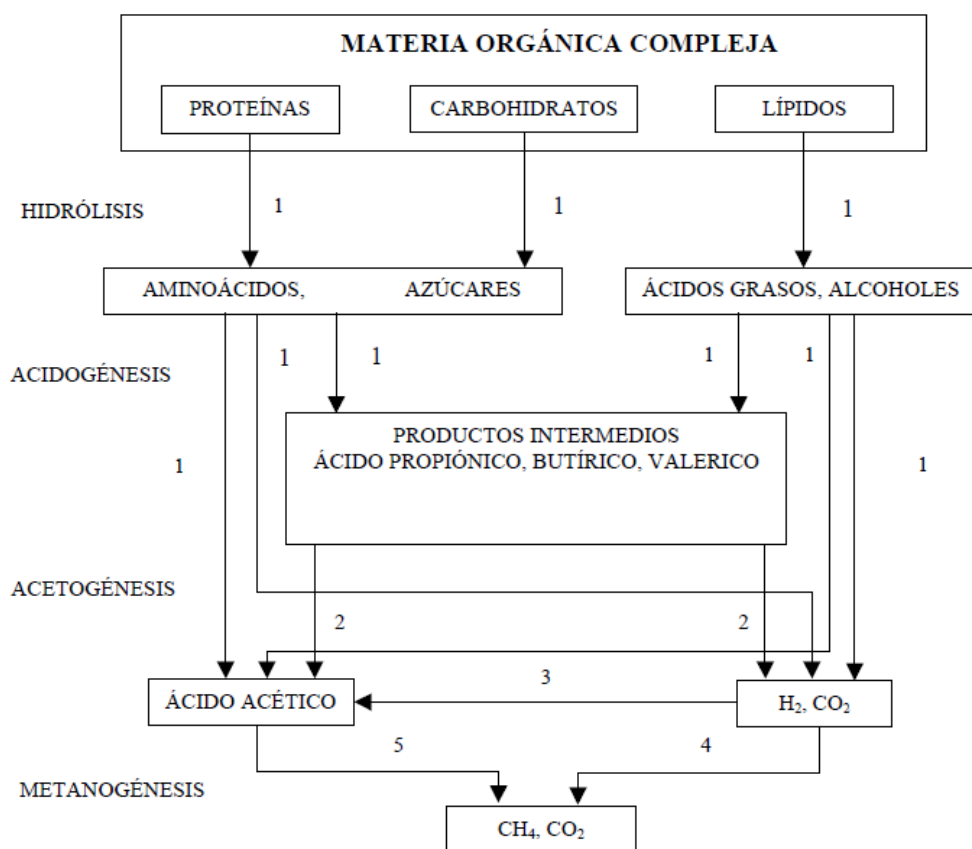


Figura N° 02. Esquema de reacciones de la digestión anaerobia (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991) y los números indican bacterias que participan en ella: 1) Bacterias fermentativas, 2) Bacterias acetogénicas 3) Bacterias homoacetogénicas 4) Bacterias Metanogénicas hidrogenotróficas 5) Bacterias metanogénicas acetoclásticas.

Tabla N° 02. Reacciones químicas involucradas en el proceso de digestión anaerobia partiendo de glucosa (Angenent y col.2004)

Proceso	Reacción	Número (Bacteria involucrada)
Fermentación a hidrógeno y ácido acético	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 4H_2 + 2CH_3COOH + 2CO_2$	1
Fermentación a hidrógeno y ácido butírico	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2H_2 + CH_3CH_2CH_2COOH + 2CO_2$	1
Fermentación a etanol	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$	1
Producción de ácido propiónico con hidrógeno	$C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$	1
Producción de etanol con hidrógeno	$CH_3COOH + H_2 \rightarrow CH_3CH_2OH + H_2O$	-
Oxidación sintrófica del ácido propiónico	$CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow CH_3COOH + 3H_2 + CO_2$	2
Oxidación sintrófica del ácido butírico	$CH_3CH_2CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$	2

Oxidación sintrófica del ácido acético	$\text{CH}_3\text{COOH} + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 4\text{H}_2 + 2\text{CO}_2$	3
Metanogénesis hidrogenotrófica	$4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$	4
Metanogénesis acetoclástica	$\text{CH}_3\text{COOH} \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$	5
Formación de metano con celulosa	$\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6 \rightarrow 3\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$	1,2,3,4 y 5

5.1. Etapas de la Digestión Anaerobia.

5.1.1 Hidrólisis.

La materia orgánica polimérica no puede ser utilizada directamente por los microorganismos a menos que se hidrolicen en compuestos solubles, que puedan atravesar la membrana celular.

La hidrólisis es, por tanto, el primer paso necesario para la degradación anaerobia de sustratos orgánicos complejos (aminoácidos en el caso de las proteínas, monosacáridos para los carbohidratos y ácidos grasos en el caso de lípidos). La hidrólisis de estas partículas orgánicas es llevada a cabo por enzimas extracelulares excretadas por las bacterias fermentativas que pueden ser facultativas o anaerobias.

La etapa metanogénica es considerada relativamente más lenta, siendo generalmente considerada como la que controla la velocidad del proceso. Sin embargo, en el caso de sustratos complejos o con alto contenido de sólidos, normalmente la etapa limitante es la hidrolítica. (Campos, E. 2001)

El grado de hidrólisis y la velocidad del proceso depende de muchos factores, entre otros del pH, de la temperatura, de la concentración de biomasa hidrolítica, del tipo de materia orgánica particulada (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991), y del tamaño de partícula. La tasa de hidrólisis, en general, aumenta con la temperatura independientemente del compuesto que se trate.

Según Batstone y col. (2000), en el proceso de digestión anaerobia existen principalmente tres mecanismos para la liberación de enzimas y la posterior hidrólisis de los sustratos complejos:

El primero de ellos es cuando los microorganismos secretan enzimas al medio líquido, donde se absorben en las partículas o sustrato para liberar un sustrato soluble (Jain y col., 1992).

Otro de los mecanismos los microorganismos se adhieren a las partículas, secretan las enzimas en la vecindad de la partícula y luego los microorganismos se benefician de los sustratos disueltos liberados (Vavilin y col., 1996), y por último donde los microorganismos secretan enzimas que tienen la doble capacidad de actuar como transportador-receptor hacia el interior de la célula. Por supuesto, este mecanismo requiere que el microorganismo se adhiera a la superficie de la partícula (Campos, E. 2001)

5.1.2 Acidogénesis.

En la segunda fase del proceso de degradación anaerobia, ocurren las reacciones de fermentación o acidogénesis, en los cuales los distintos monómeros son metabolizados a productos intermediarios más simples, principalmente acetato, propionato y butirato, y en menor proporción CO₂ y H₂ (Poirrer, 2005). Algunos de estos compuestos (ácido acético, ácido fórmico, H₂) pueden ser utilizados directamente por las bacterias metanogénicas y otros compuestos orgánicos más reducidos (ácido láctico, etanol, ácido propiónico y ácido butírico) tienen que ser oxidados por bacterias acetogénicas a sustratos que puedan utilizar las bacterias metanogénicas. (Stams. 1994)

Algunas de las especies de bacterias acidogénicas que comúnmente podemos encontrar en los reactores anaerobios son: *Butyrivibrio*, *Propionibacterium*, *Clostridium*, *Bacteroides*, *Ruminococcus*, *Acetivibrio*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium*, *Peptostreptococcus*, *Peptococcus*, *Selenomonas*, *Lactobacillus*, *Streptococcus* (Zeikus, 1980). En general la población de bacterias acidogénicas representa alrededor del 90% del total de la población microbiana en un digestor anaerobio (Zeikus, 1980). Estas bacterias tienen el tiempo de vida más corto y por lo tanto la acidogénesis no se considera como un paso limitante en el proceso de la digestión anaerobia. (Gonçalves. 2009)

5.1.2.1 Fermentación de Aminoácidos.

La fermentación de aminoácidos, producto de la hidrólisis de proteínas, puede llevarse a cabo por medio del proceso de oxidación anaerobia unida a la producción de hidrógeno, lo que requiere la presencia de bacterias que utilizan el hidrógeno (Ramsay y Pullammanappallil, 2001).

Los principales productos de la fermentación de aminoácidos y de otras moléculas nitrogenadas son ácidos grasos de cadena corta, succínicos, aminovalérico e H₂. La fermentación de aminoácidos se considera un proceso rápido y que en general, no limita la velocidad de la degradación de compuestos proteicos (Pavlostathis y Giraldo-Gómez, 1991). Algunos organismos del género *Clostridium* pueden fermentar aminoácidos de entre los cuales se encuentran: *C. bifermentans*, *C. sordelii*, *C. botulinum*, *C. caloritolerans*, *C. sporogenes*, *C. cochleatum*, *C. difficile*, *C. putrificum*, *C. sticklandii*, *C. gonhi*, *C. manganotii*, *C. scatologenes*, *C. lituseburense*, *C. butyricum* (Hippe y col., 1992).

Es importante mencionar que la fermentación de aminoácidos genera una alta concentración de amonio, siendo éste un compuesto inhibidor de la flora metanogénica (Lokshina y col., 2003).

5.1.2.2 Fermentación de Carbohidratos Solubles.

La fermentación de azúcares solubles es llevada a cabo principalmente a través de la vía de Embden-Meyerhoff para la fermentación de glucosa (Figura 5.2), siendo el piruvato el principal intermediario. A partir de este compuesto y dependiendo del microorganismo involucrado y las condiciones ambientales se obtendrán distintos productos, siendo los más habituales ácidos grasos volátiles, etanol, acetato, hidrógeno y CO₂ (Poirrer, 2005). La fermentación de azúcares se realiza por diversos tipos de microorganismos, siguiendo diferentes rutas metabólicas, en función del organismo responsable, y obteniendo productos finales diferentes. Los principales microorganismos son los que producen ácido butírico o butanol, básicamente del género *Clostridium*, que convierten la glucosa y algunos aminoácidos en ácido butírico, ácido acético, CO₂ y H₂. La glucosa se convierte en piruvato mediante la ruta Embden-Meyerhof, y el piruvato se desdobla a Acetil-CoA y CO₂ (Madigan y col., 1998).

Las bacterias ácido-propiónicas, del género *Propionibacterium*, llevan a cabo un proceso distinto, conocido como fermentación ácido-propiónica, en el que se produce la fermentación del ácido láctico, carbohidratos y polihidroxicóholes, produciendo, principalmente, ácido propiónico, succínico, acético y CO₂.

5.1.2.3 Fermentación de Lípidos.

En el caso de los lípidos, sus productos de la hidrólisis como: glicerol, colina y ácidos grasos de cadena larga, son oxidados anaeróbicamente a ácidos grasos volátiles (C₂ a C₅), mediante el proceso denominado β -oxidación (McInerney, 1988). Los ácidos grasos libres son introducidos en la célula a través de la pared celular. Este proceso puede ser desarrollado por un gran número de microorganismos, incluso un número mayor que los organismos capaces de hidrolizar las grasas, dando como principal producto ácido acético.

Este proceso de metabolización es lento, debido a la baja solubilidad de los compuestos lipídicos y, bajo ciertas condiciones, los productos de degradación pueden ser tóxicos para la población acetogénica y metanogénica (Komatsu y col., 1991; Lalman y Bagley, 2002). La reacción de β -oxidación es inhibida por niveles altos de hidrógeno. (Novak y Carlson, 1970)

5.1.3 Acetogénesis.

Como se mencionó en la etapa anterior algunos productos de la fermentación pueden ser metabolizados directamente por los organismos metanogénicos como son el H₂ y acetato, otros valeriato, butirato, propionato y algunos aminoácidos, etc., necesitan ser transformados en productos más sencillos, acetato e hidrógeno, a través de las bacterias acetogénicas. Los procesos acetogénicos son energéticamente difíciles, por lo que necesitan ser “ayudados” por los organismos metanogénicos u otros organismos consumidores de hidrógeno (Stams, 1994) y la energía libre de la reacción depende de la presión parcial de hidrógeno del medio. Un tipo especial de microorganismos acetogénicos, son los llamados *homoacetogénicos*, que consumen H₂ y CO₂, y producen acetato.

5.1.4 Metanogénesis.

La metanogénesis es el paso final, donde se lleva a cabo la producción de CH_4 . Este proceso se realiza por los microorganismos metanogénicos, que pueden ser considerados como los más importantes dentro del consorcio de microorganismos anaerobios, ya que son los responsables de la formación de metano y de la eliminación del medio de los productos de los grupos anteriores.

Como se mencionó anteriormente las bacterias metanogénicas son las responsables de la formación de metano a partir de sustratos monocarbonados o con dos átomos de carbono unidos por un enlace covalente como: acetato, H_2 , CO_2 , formiato, metanol y algunas metilaminas (Madigan y col., 1998).

La mayoría del metano producido en un digestor anaerobio (cerca del 70%), se genera a través de la vía acetotrófica (LalmanyBagley, 2001). Además la mayoría de los organismos metanogénicos son capaces de utilizar el H_2 como aceptor de electrones, mientras que sólo dos géneros son capaces de utilizar el acetato (Ferguson y Mah, 1987). A pesar de ello, en ciertos ambientes anaerobios, éste es el principal precursor del metano. Los dos géneros que tienen especies acetotróficas son *Methanosarcina* y *Methanothrix*, siendo el principal exponente *Methanosarcinabarkeri*, que es capaz de crecer en diversos sustratos, entre los que están H_2 y CO_2 , acetato, metanol, metilaminas y CO (Cairó y París, 1988).

Por otro lado la metanogénesis que se obtiene por la ruta del CO_2 y H_2 juega un papel importante, ya que mantiene baja la presión de H_2 sobre algunas bacterias. Algunos autores (Gonçalves, 2009) coinciden que cuando el sustrato es fácilmente hidrolizado, la etapa limitante de la digestión anaerobia suele ser la metanogénesis.

La producción de metano está directamente relacionada con una disminución de la demanda química de oxígeno (DQO) en agua residual por degradación anaerobia. Por lo tanto, el rendimiento de CH_4 puede ser evaluado haciendo un balance de DQO, basado en la DQO eliminada. En condiciones normales, la producción teórica de metano en un reactor anaerobio es de $0.35 \text{ m}^3/\text{Kg}$ de la DQO degradada (Gossett y Belser, 1982).

Tabla N° 02 Producción potencial de biogás con diferentes clases de sustrato (Sousa, 2006).

Componente	Reacción Metanogénica	Biogás (g/L)	CH4 (%)
Proteínas	$C_{11}H_{24}O_5N_4 + 14.5H_2O \rightarrow 8.25CH_4 + 3.75CO_2 + 4NH_4 + 4HCO_3$	0.921	68.8
Carbohidratos	$nC_{16}H_{10}O_5 + nH_2O \rightarrow 3nCH_4 + 3nCO_2$	0.830	50.5
Lípidos	$C_{15}H_{90}O_6 + 24.5H_2O \rightarrow 34.75CH_4 + 15.25CO_2$	1.425	69.5

Diversos compuestos se han descrito como inhibidores del crecimiento de los microorganismos metanogénicos. Entre los más conocidos están el nitrógeno amoniacal, los ácidos grasos de cadena larga, ácidos grasos volátiles, algunos cationes, etc. No todos los grupos de bacterias metanogénicas resultan igualmente inhibidos por los mismos compuestos. La inhibición por amoníaco libre es más fuerte para los metanogénicos acetoclásticos que para los hidrogenotróficos (Hansen y col., 1998).

2.2.7.1. Condiciones para la biodigestión.

a) La temperatura

El diseño de un biodigestor depende directamente de la temperatura ambiente media del lugar donde se va a instalar. La temperatura marcará la actividad de las bacterias que digieran las excretas y cuanto menor sea la temperatura, menor actividad tendrá estas y por tanto será necesario que las excretas estén más tiempo en el interior del biodigestor; marcando de esta manera la temperatura el tiempo de retención. (Quipuzco. 2012)

Tabla N° 03: Tiempo de retención recomendable según temperaturas

TEMPERATURA (°C)	10	15	20	25	30	35
T.RETENCIÓN (Días)	90	60	45	32	30	25

Fuente: Gropelli Citado por Quipuzco (2012).

Hay tres clases de bacterias: Crioófilas, que viven a temperaturas menores de los 20°C, Mesófilas, de 20°C a 45°C, y las Termófilas que viven a temperaturas mayores de los 45°C. (Gálvez, F.2007)

b) El nivel de acidez:

El nivel de acidez determina como se desenvuelve la fermentación del material orgánico. El pH del material debe tener un valor entre 6.5 y 7.5, al estar fuera de este rango neutro la materia orgánica corre el riesgo de pudrirse, ya que se aumenta la actividad relativa de los microorganismos equivocados; esto normalmente produce un olor muy desagradable. (Quipuzco. 2012)

El pH, o potencial hidrogeno es un término utilizado universalmente para expresar la intensidad de las condiciones acidas o básicas de una solución cualquiera. Este influye en gran medida en los procesos de tratamiento biológico de aguas residuales, particularmente en el anaeróbico, porque las bacterias son afectadas en gran medida por sus fluctuaciones. (Santa. 2007)

c) El perfecto sellado:

El contenedor debe de estar perfectamente sellado para evitar que entre oxígeno y de esta manera tener un procedimiento anaeróbico adecuado; también evita fugas de biogás (metano). Otro aspecto importante en los procesos de biodigestión, es el mantener un ambiente estrictamente anaeróbico, esto significa un ambiente en ausencia de oxígeno. El ambiente anaeróbico a diferencia del aeróbico el cual produce amonio (NH_4) y dióxido de carbono (CO_2) como resultado final, produce metano (CH_4) y dióxido de carbono (CO_2). (Quipuzco.2012)

2.2.8. Biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales

Cuando se menciona las opciones tecnológicas de saneamiento se refiere a la solución de ingeniería que se ajusta a las características físicas locales y a las condiciones socio-económicas de la comunidad; esto permite seleccionar la manera óptima de dotar servicios de calidad de saneamiento a un costo compatible con la realidad local.

Según la norma técnica de diseño: opciones tecnológicas para sistemas de saneamiento en el ámbito rural del Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018), estas tecnologías tienen que permitir la separación adecuada de la parte sólida y líquida de las aguas residuales generadas por las familias, estas opciones tecnológicas operan con arrastre hidráulico y otras en un medio seco. A continuación, se describen las características y principales ventajas y desventajas de las diversas opciones tecnológicas para la disposición sanitaria de excretas que son seleccionables en los proyectos de saneamiento rural.

2.3. Biodigestor Prefabricado

2.3.1.1. Biodigestor

El biodigestor es un tanque cerrado donde se producen reacciones anaeróbicas (en ausencia de aire) las cuales degradan la materia orgánica disuelta en medio acuoso conocido como aguas residuales domésticas. El resultado es metano, dióxido de carbono, trazas de hidrógeno y ácido sulfúrico, así como lodos inertes que se pueden utilizar de abono.

En el proceso se logra una buena remoción de la materia orgánica en las aguas que serán dispuestas hacia el drenaje respectivo, zanja de oxidación, o campo de infiltración con o sin pozo de absorción, reduciendo el impacto en el ambiente.

No genera malos olores y evita la proliferación de insectos, el desagüe se infiltra en el terreno mediante un área de infiltración previamente diseñada. (NICOLL. 2020)



Figura N° 03. Biodigestor prefabricado

Fuente: Nicoll (2020)

2.3.1.2. Diseño de un Biodigestor

Según el Expediente Técnico de la Obra: “Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural en las comunidades de San Antonio de la Iraca, Saca Sacas, Corralillo y Sitacucho, distrito de Chota, provincia de Chota – Cajamarca”, El diseño del tanque biodigestor se ha realizado en forma análoga al diseño de un tanque séptico, tomando en cuenta la norma IS.020 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

Se cuenta con los siguientes datos iniciales:

q = Caudal de aporte unitario de aguas residuales

P = número de personas

Para el caudal de aporte unitario de aguas residuales se toma el valor promedio de 80 litros/hab.día, considerando la infraestructura, la zona y la actividad de las personas que habitarán en la vivienda.

Dotación asumida para el proyecto 80 l/p/d

Contribución de aguas residuales 80% de la dotación

Entonces $q = 64 \text{ l/h/d}$

$q = 64 \text{ litros/hab.día}$

$P = 4 \text{ personas}$

1) Periodo de retención hidráulica (IS. 020 - 6.2)

El período de retención hidráulico en los tanques sépticos será estimado mediante la siguiente fórmula:

$$PR = 1.5 - 0.3 \times \text{Log} (P \times q)$$

donde:

PR = Tiempo promedio de retención hidráulica, en días

P = Población Servida

q = Caudal de aporte unitario de aguas residuales, l/hab.d

El tiempo mínimo de retención hidráulico será de 6 horas.

2) Volumen del tanque biodigestor (IS. 020 - 6.3)

6.3.1. El volumen requerido para la sedimentación V_s en m^3 se calcula mediante la fórmula:

$$V_s = 10^{-3} \cdot (P \cdot q) \cdot PR$$

6.3.2. Se debe considerar un volumen de digestión y almacenamiento de lodos (V_d , en m^3) basado en un requerimiento anual de 70 litros por persona que se calculará mediante la fórmula:

$$V_d = t_a \cdot 10^{-3} \cdot P \cdot N$$

donde,

N : Es el intervalo deseado entre operaciones sucesivas de remoción de lodos, expresado en años. El tiempo mínimo de remoción de lodos es de 1 año.

t_a : Tasa de acumulación de lodos expresada en $l/hab.año$.

Su valor se ajusta a la siguiente tabla.

Intervalo entre limpieza del tanque séptico (años)	t_a (L/h.año)		
	$T \leq 10\text{ }^{\circ}\text{C}$	$10 < T \leq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$T > 20\text{ }^{\circ}\text{C}$
1	94	65	57
2	134	105	97
3	174	145	137

Se considerará un intervalo " N " de 1 años para la remoción de lodos, con el cual se obtiene de la tabla anterior el valor de " t_a "

$N = 1$ años, $t_a = 65$ L/h.año, $P = 4$ personas

Con los datos anteriores se obtiene el V_d

$V_d = 0,26\text{ }m^3$

c) Volumen de natas tomado de la norma IS 0.20 - 6.4

$V_{natas} = 0,1\text{ }m^3$

d) Volumen total

$V_t = V_s + V_d + V_{natas} = 0,56\text{ }m^3 = 559\text{ Lt}$

Se adopta un volumen comercial de 600 Litros.

2.3.1.3. Características dimensionales

	DIMENSIONES BIODIGESTOR (cm)														
Capacidad (L)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
750	160	94	6	35	36.5	12	6.3	12	54	24.6	12	10	16.5	5	44
1350	168	122	6	36	37	7	10.5	13.5	54	25.3	13.5	10	18	5	43

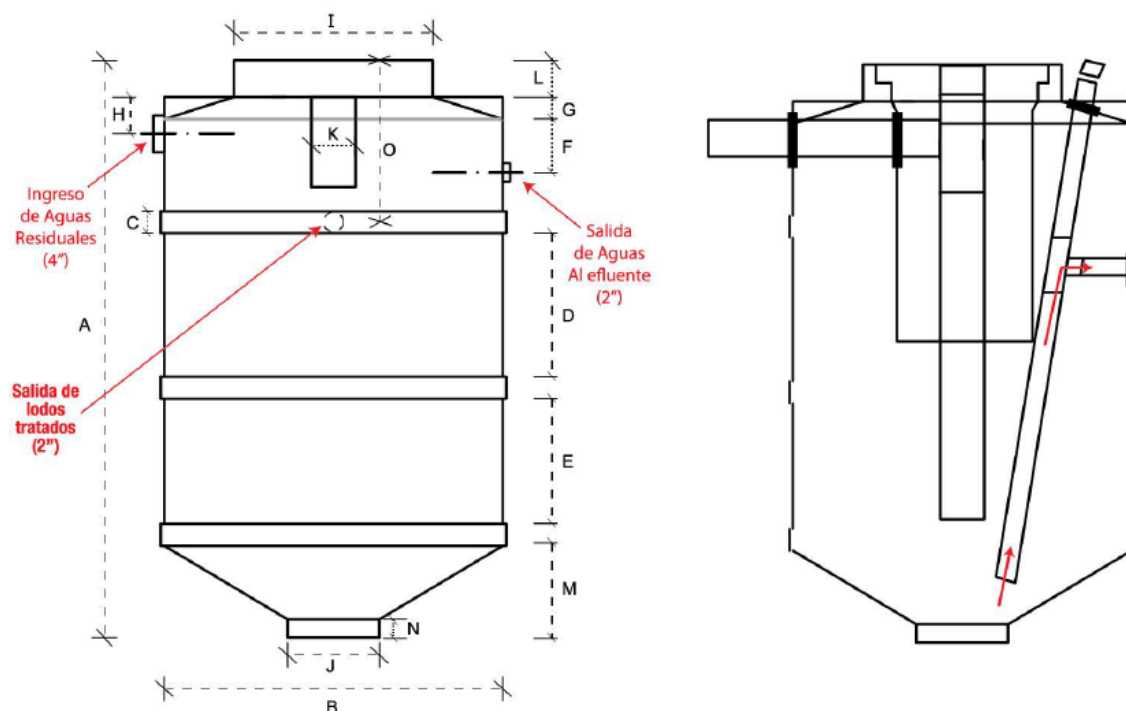


Figura N° 04. Características Dimensionales Biodigestor Prefabricado

Fuente: Tríptico Biodigestor Nicoll para Tratamiento de Agua Residual (2020)

2.3.1.4. Ventajas y desventajas del biodigestor prefabricado

Ventajas:

- Instalación rápida y sencilla: Al ser prefabricados, su instalación es más rápida y no requiere tanto mano de obra ni construcción compleja como los sistemas tradicionales, menos mantenimiento, mayor durabilidad, sostenibilidad ambiental, beneficio económico, mejora sanitaria y cuenta con un diseño compacto y hermético.

Desventajas:

- Coste Inicial: aunque menores a los sistemas contruidos, sigue siendo significativo inicialmente, depende de las condiciones ambientales su eficiencia, requiere de mantenimiento y se necesita contar con buen espacio libre.

2.3.1.5. Componentes



Figura N° 05. Componentes biodigestor prefabricado

Fuente: Nicoll, (2020)

1. Tubería PVC de 4" para entrada de agua.
2. Filtro biológico con aros de plástico (Pets)
3. Tubería PVC de 2" para salida de agua tratada al pozo de percolación o campo de infiltración.
4. Válvula esférica para extracción de lodos.
5. Tubería PVC de 2" de acceso para limpieza y/o desatoro.
6. Tapa con Cierre hermético.
7. Base cónica para acumulación de lodos.
8. Anillos (3) de reforzamiento que ayudan a evitar deformaciones.
9. Tee de 4" que permite el acceso directo para el desatoro de material disoluble.

2.3.1.6. Funcionamiento

El agua residual doméstica entra por el tubo N° 1 hasta el fondo del biodigestor, donde las bacterias empiezan la descomposición, luego sube y pasa por el filtro N° 2, donde la materia orgánica que asciende es atrapada por las bacterias fijadas en los aros PET. El agua tratada sale por el tubo N° 3 hacia el terreno aledaño mediante un pozo de percolación, zanja de infiltración según el tipo de terreno y zona.

2.3.1.7. Mantenimiento

- Abriendo la válvula N° 4, el lodo alojado en el fondo sale por gravedad a una sola caja de registro. Primero salen de dos a tres litros de agua de color beige, luego salen los lodos estabilizados (color café). Se cierra la válvula cuando vuelve a salir agua de color beige; dependiendo del uso, la extracción se realiza cada 1 a 24 meses.
- Si observa que el lodo sale con dificultad, introducir y remover con un palo de escoba en el tubo N° 5 (teniendo cuidado de no dañar el biodigestor)
- En la caja de extracción de lodos, la parte líquida del lodo será absorbida por el suelo, quedando retenida la materia orgánica que después de secar se convierte en polvo negro.
- Se recomienda limpiar los biofiltros (pets), echando agua con una manguera después de una obstrucción y cada 3 o 4 extracciones de lodos.

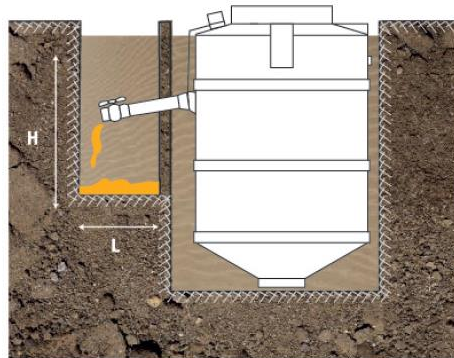


Figura N° 06. Mantenimiento biodigestor prefabricado

Fuente: Nicoll (2020)

2.4. Definición de termino básicos

2.4.1 Biodigestor: Es un reactor herméticamente cerrado e impermeable, dentro del cual se deposita material orgánico a fermentar, estos pueden ser desechos vegetales, excrementos de animales y humanos, con cierta cantidad de agua que permita la fermentación anaerobia, generando la disminución del potencial contaminante de los excrementos, además de producir gas metano y fertilizantes ricos en nitrógeno, fósforo y potasio (Pérez 2015).

2.4.2 Demanda Bioquímica de Oxígeno: Es la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. Este parámetro es el más usado para medir la calidad de aguas residuales y superficiales (Romero 2004).

2.4.3 Demanda Química de Oxígeno: Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar la materia orgánica por medios químicos (Romero 2004).

2.4.4 Coliformes termotolerantes: Los coliformes fecales o termotolerantes son bacterias anaeróbicas facultativas, no esporuladas, Gram negativas, que pueden fermentar la lactosa a 44,5 °C, en un período de 24 horas (Salazar 2003).

2.4.5 Digestión anaerobia: Es en un proceso fermentativo en el que la materia orgánica es transformada, en ausencia de oxígeno, por los microorganismos en dos sub productos principales que son; el biogás en su mayor parte compuesto por metano y lodo estabilizado (Lettinga 1994).

CAPITULO III. HIPÓTESIS DE INVESTIGACIÓN

3.1 Hipótesis general

La altitud influye directamente en la eficiencia de biodigestores prefabricados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba, provincia de Chota

3.2 Hipótesis específica

1. La Altitud influenciaría en la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT), provenientes del afluente del biodigestor prefabricado.
2. La Altitud influenciaría en la concentración de la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT), provenientes del efluente del biodigestor prefabricado.
3. Los parámetros fisicoquímicos de pH y la temperatura interna del agua residual en el biodigestor influenciaría en la remoción de materia orgánica.

3.1 Definición de Variables

Independiente :

Altitud

Dependiente :

Eficiencia de biodigestores prefabricados

3.2 Operacionalización de Variables

Tabla N° 04. Operacionalización de las variables

VARIABLE	CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
V. Independientes:				
• Altitud	Es la distancia vertical que existe entre un punto de la superficie terrestre y el nivel del mar.	m.s.n.m.	altitud	(1000 – 4000) m.s.n.m
V. Dependientes:				
• Eficiencia de biodigestores prefabricados.	Es la capacidad de un objeto, un proceso o una persona de alcanzar sus objetivos de la mejor manera posible.	%	Porcentaje	0 – 100 %
V. Influyentes:				
• Características fisicoquímicas del agua residual en el sistema de tratamiento.	Son los parámetros de campo que determinarán la remoción de materia orgánica del sistema de tratamiento.	Und. pH	pH	(4.5 – 10.5) Und. pH
		mgO ₂ /L	Demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	2.5 – 1000 mg/L
		mgO ₂ /L	Demanda química de oxígeno (DQO)	3.5 – 1000 mg/L
		°C	Temperatura interna del agua residual en el biodigestor prefabricado	(10 – 35) °C

3.3 Matriz de Consistencia

Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT), provenientes del efluente del biodigestor prefabricado? 3.¿Cómo se estimará los parámetros fisicoquímicos de pH, caudal, tiempo de retención hidráulica y la temperatura interna del agua residual en el biodigestor?	Bioquímica de Oxígeno (DBO₅), Demanda Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT), provenientes del efluente del biodigestor prefabricado. 3. Estimar los parámetros fisicoquímicos de pH, caudal, tiempo de retención hidráulica y la temperatura interna del agua residual en el biodigestor.	Química de Oxígeno (DQO) y Coliformes Termotolerantes (CTT), provenientes del efluente del biodigestor prefabricado. 3. Los parámetros fisicoquímicos de pH y la temperatura interna del agua residual en el biodigestor influenciaría en la remoción de materia orgánica.		Coliformes Termotolerantes (CTT)	NMP/100 ml	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 ndEd. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification
				Potencial de Hidrógeno (pH)	Unidades de pH	Análisis y registro de campo
				Temperatura interna del agua residual en el biodigestor	Grados °C	Análisis y registro de campo

CAPITULO IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La presente investigación se desarrollará en 3 lugares de la provincia de Chota, específicamente en el distrito de Cochabamba, centro poblado Santa Isolina cuyas coordenadas UTM son 739893.63E, 9281415.18N, con una altitud de 1755 msnm; en el distrito de Chota comunidad de San Antonio de la Iraca con coordenadas UTM 753869E, 9272792N, con una altitud de 2678 msnm y en el distrito de Tacabamba, en el sector Conga Chucmar anexo de Pampa Grande con coordenadas UTM 772675.68E, 9288895.26N, con una altitud de 3340 msnm. (Ver Figura 3).

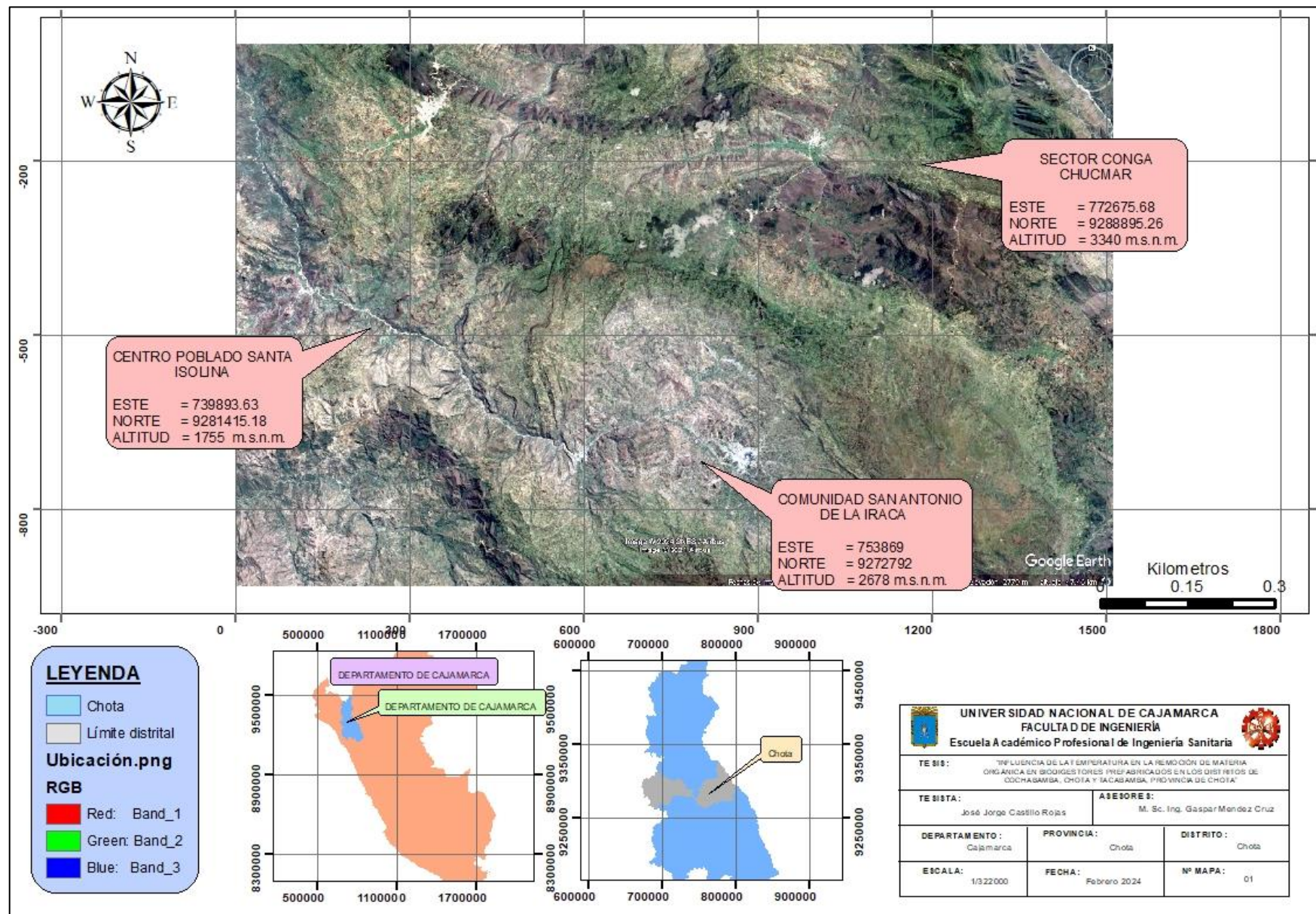


Figura N° 07. Ubicación del proyecto en la provincia de Chota.

a. Materiales

i. Material experimental

- Agua residual doméstica
- Biodigestores prefabricados

ii. Materiales de campo

- Fichas de registro de campo
- Cinta adhesiva
- Cita de embalaje
- Preservantes químicos
- Plumón indeleble
- Cajas térmicas pequeñas
- GPS, marca: Garmin, modelo: GPSmap76CSx
- Multiparámetro marca: DELTA OHM serie: 11036088hd98569
- pH-metro marca: OAKTON modelo: RS232
- Cámara fotográfica, marca: Samsung, modelo: ST72
- Cronómetro

iii. Materiales y equipo de laboratorio

- Frasco Winkler 50 mL de vidrio
- Frasco de plástico 100 mL
- Agua destilada
- Preservantes para DBO (Rx1 y Rx2)
- Preservante para DQO (ácido sulfúrico)
- Cooler de refrigeración
- Cadena de custodia

iv. Otros materiales

- Baldes
- Jarras
- Kit de muestreo (envases de plástico y vidrio)
- Equipo de protección personal (EPP)

4.2. Metodología

4.2.1. Tipo, nivel, diseño, y método de investigación

4.2.1.1. Tipo de investigación

Por su finalidad: Aplicada, debido a que los resultados de la investigación permitirán recomendar el uso de biodigestores prefabricados según la altitud del lugar.

Por su carácter de medida: Cuantitativa, se basará en resultados numéricos obtenidos de las muestras de laboratorio que servirán como base para el análisis y procesamiento de datos.

Por el método de investigación: Preexperimental, diseño de preprueba – posprueba; el análisis preprueba del afluente del sistema de tratamiento proporcionará un dato de referencia inicial, luego pasará por un tratamiento en el biodigestor prefabricado y al evaluar el análisis posprueba después del tratamiento se determinará la influencia de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados.

4.2.1.2. Nivel

Nivel Aplicativo

4.2.1.3. Diseño

Diseño del experimento

Según Hernández (2008), el presente proyecto de investigación es de tipo preexperimental, diseño de preprueba – posprueba; el análisis preprueba del afluente del sistema de tratamiento proporcionará un dato de referencia inicial, luego pasará por un tratamiento en el biodigestor prefabricado y al evaluar el análisis posprueba después del tratamiento se determinará la influencia de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados; el monitoreo se realizara en tres distritos de la provincia de Chota para comparar la eficiencia de biodigestores prefabricados en los tres lugares diferentes con influencia directa de la altitud propia de cada lugar.

G_1	0_1	X_1	0_4
G_2	0_2	X_2	0_5
G_3	0_3	X_3	0_6

Donde:

G_1, G_2 y G_3 : Afluentes del biodigestor prefabricado (descarga de la Unidad Básica de Saneamiento).

O_1, O_2 y O_3 : Análisis preprueba (previo al sistema de tratamiento con biodigestor prefabricado).

X_1, X_2 y X_3 : Tratamiento con biodigestor prefabricado.

O_4, O_5 y O_6 : Análisis posprueba (después del sistema de tratamiento con biodigestor prefabricado).



Figura N° 08. Relación entre la altitud y la eficiencia de biodigestores prefabricados.

Descripción del sistema de tratamiento

- El sistema de tratamiento está conformado por una unidad básica de saneamiento - UBS, que consta de la instalación de baño, ducha, pileta, biodigestor prefabricado y zanjas de infiltración y/o pozos de percolación, que tienen como objetivo el tratamiento de las aguas residuales domésticas.

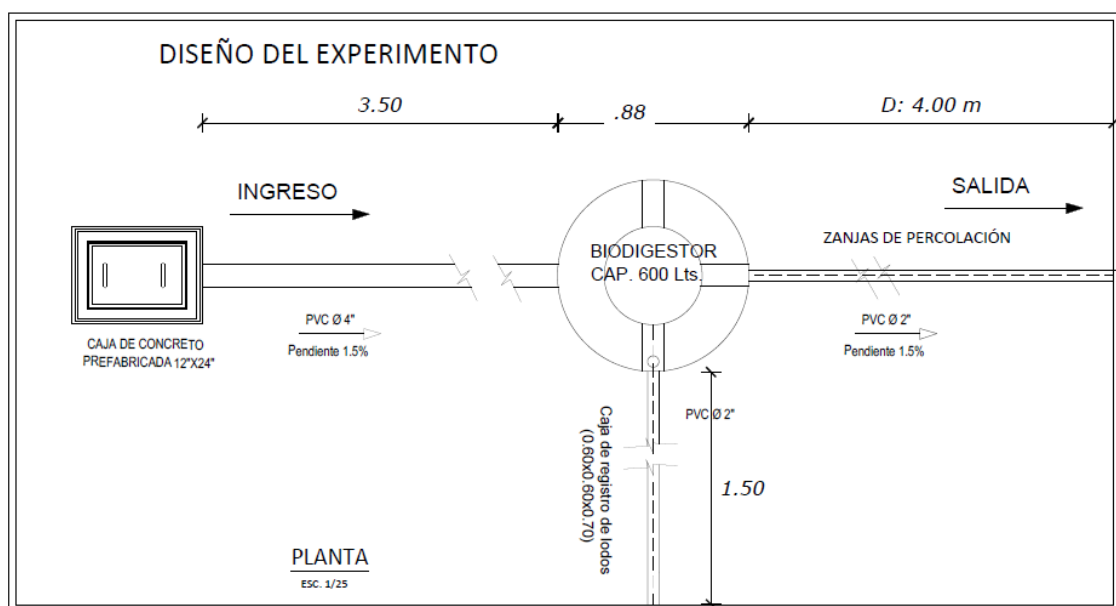


Figura N° 09. Esquema del sistema de tratamiento con biodigestor prefabricado

4.2.1.4. Método de investigación

2.1.4.1 Metodología aplicada

El presente proyecto de investigación se desarrollará en tres fases:

- a) Fase de campo
- b) Fase de laboratorio
- c) Fase de gabinete

a) La fase de campo comprende:

- Identificación y reconocimiento de los biodigestores prefabricados en el distrito de Cochabamba centro poblado Santa Isolina; en el distrito de Chota comunidad de San Antonio de la Iraca y en el distrito de Tacabamba, en el sector Conga Chucmar, provincia de Chota. Se realizará a través del estudio y revisión del expediente técnico de cada uno de los proyectos ejecutados, como también de la información técnica que se solicitó en las oficinas de la Empresa Nueva Jerusalén Contratistas Generales S.A.C quien ejecutó el proyecto en la Comunidad de San Antonio de la Iraca.

A.1. Identificación de puntos de monitoreo

Se identificó los puntos de monitoreo (3 biodigestores prefabricados en cada punto) ubicados en los distritos de Cochabamba, Chota y Tacabamba.

Tabla N° 05 Identificación de los puntos de monitoreo

Caserío	Punto	Muestra	Datum UTM WGS84 -17S			Referencia
			Este	Norte	Altura	
Santa Isolina	P1	Afluente	739890.37E	9281411.09N	1759	Cerca al puente Santa Isolina
		Efluente			msnm	
	P2	Afluente	739893.63E	9281415.18N	1757	
		Efluente			msnm	
San Antonio de la Iraca	P3	Afluente	753869E	9272792N	2653	Cerca a la cantera San Antonio
		Efluente			msnm	
	P4	Afluente	753865E	9272789N	2641	
		Efluente			msnm	
Conga Chucmar	P5	Afluente	772673.47E	9288892.32N	3338	Cerca al desvío al C.P Chucmar
		Efluente			msnm	
	P6	Afluente	772675.68E	9288895.26N	3342	
		Efluente			msnm	

- Ubicación y georreferenciación de los biodigestores prefabricados seleccionados para la instalación del sistema experimental, se tomará en cuenta la ubicación del afluente y efluente del biodigestor, topografía del terreno, condiciones climáticas; la georreferenciación se realizará con el uso de un GPS Garmin GPSmap76CSx.

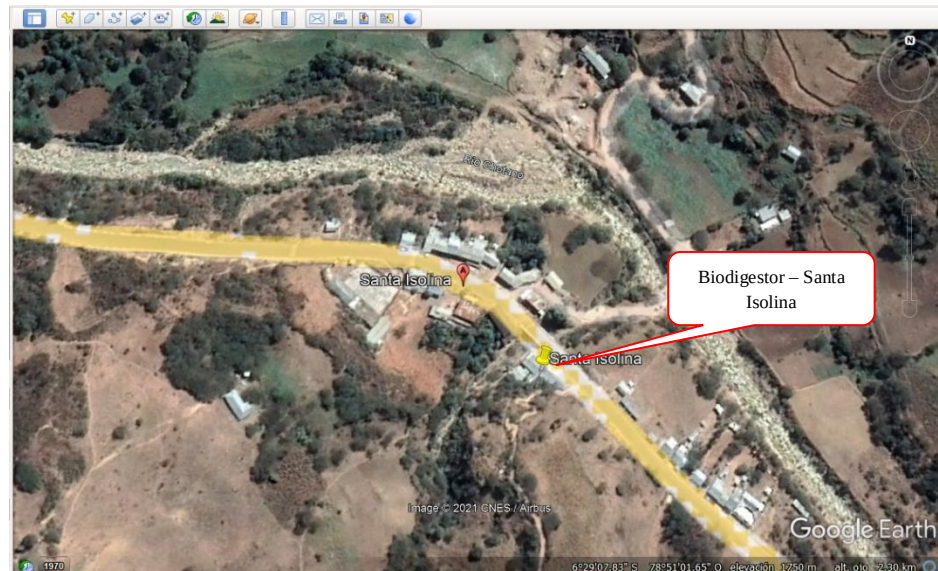


Figura N° 10. Ubicación de los Biodigestores Prefabricados en el Caserío de Santa Isolina – Cochabamba

Fuente: Google Earth, 2021

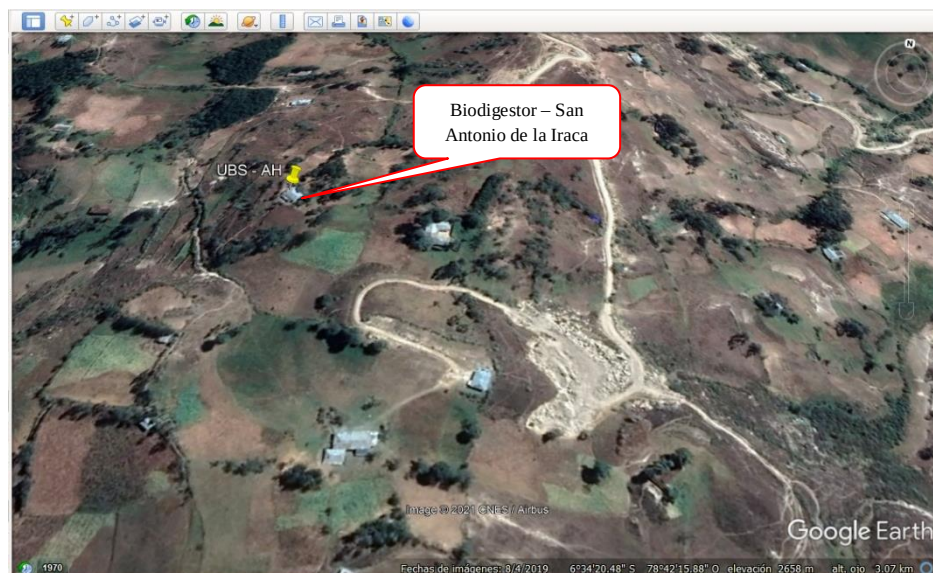


Figura N° 11. Ubicación del Biodigestor Prefabricado en la comunidad de San Antonio de la Iraca – provincia de Chota

Fuente: Google Earth, 2021

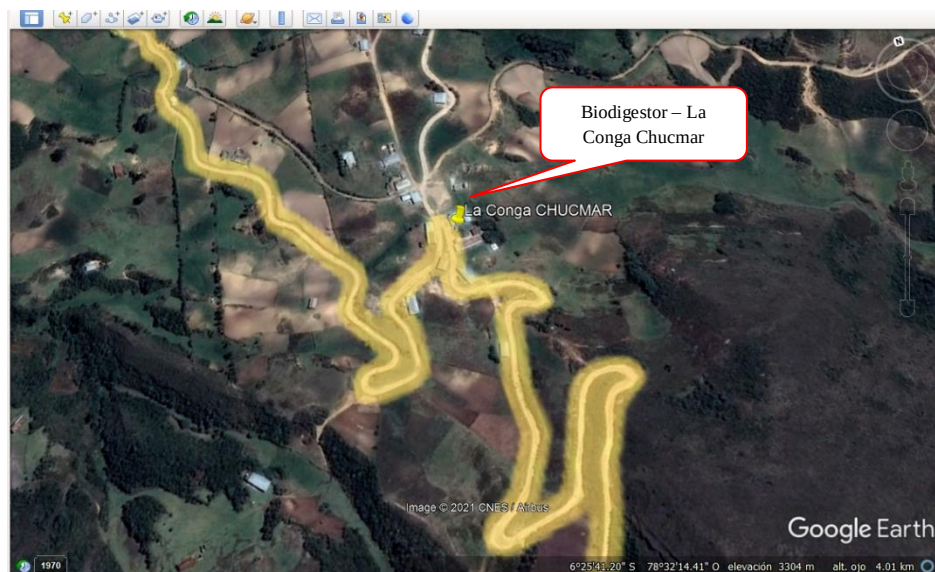


Figura N° 12. Ubicación de los Biodigestores Prefabricados en el Caserío de Santa Isolina – Cochabamba **11.** Ubicación del Biodigestor Prefabricado en el sector Conga Chucmar, CC.PP Chucmar – Tacabamba

Fuente: Google Earth, 2021

Se consideró estos puntos de monitoreo por la similitud en el tiempo de operación, la altitud y las condiciones de funcionamiento. Además, se consideró la homogeneidad de los puntos de monitoreo de acuerdo a las características siguientes:

Tabla N° 06. Homogeneidad de puntos de monitoreo

Vivienda N°	Punto	Localidad	N° de habitantes	Volumen del biodigestor	Origen del afluente
1	P1	Santa Isolina	5	600 L	UBS (excretas)
2	P2	Santa Isolina	5	600 L	UBS (excretas)
3	P3	San Antonio de la Iraca	5	600 L	UBS (excretas)
4	P4	San Antonio de la Iraca	5	600 L	UBS (excretas)
5	P5	Conga Chucmar	5	600 L	UBS (excretas)
6	P6	Conga Chucmar	5	600 L	UBS (excretas)

Para realizar la toma de muestras en el agua residual cruda (afluente) y en el agua residual tratada (efluente) durante el monitoreo seguimos los lineamientos del Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (MVCS 2013).

El objetivo del muestreo fue tomar una muestra representativa del afluente y efluente de los biodigestores prefabricados instalados en el centro poblado Santa Isolina, en la comunidad de San Antonio de la Iraca y en el sector Conga Chucmar.

A.2 Frecuencia de monitoreo

La frecuencia de toma de muestras en cada punto fue mensual en el periodo de 4 meses (Febrero a Mayo del 2024), en el afluente y efluente del biodigestor autolimpiable.

A.2.1 Medición de los parámetros de campo

Los parámetros pH y temperatura se determinaron in situ haciendo uso de un pHmetro marca OAKTON modelo RS. En donde una vez calibrado el equipo, se coló una muestra de afluente y/o efluente en un beaker y se introdujo el electrodo para realizar la lectura. Estos análisis se realizaron en el afluente y efluente del biodigestor autolimpiable una vez cada 2 meses (4 meses).

A fin de obtener la confiabilidad de los datos se requirió:

- Las lecturas de los valores se registraron de forma inmediata, luego de tomada la muestra de agua.
- Las mediciones fueron registradas en el formato de registro de datos de campo.
- Se limpió los equipos de muestreo inmediatamente después de su uso y, adicionalmente, entre muestreo, a fin de evitar posibles alteraciones de los resultados, contaminaciones y deterioro de instrumentos.

A.3 Toma, preservación y envió a laboratorio

Los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y coliformes termotolerantes, fueron evaluados en un laboratorio acreditado con la ISO/IEC 17025, laboratorio Regional del Agua – Cajamarca, para ello se siguió el siguiente procedimiento de toma de muestras:

- Se realizó el etiquetado o rotulación de los frascos antes de la toma de muestras de agua.
- Se hizo uso de guantes descartables antes del inicio de la toma de muestras de agua residual y luego fueron desechados al término del muestreo en cada punto.
- Luego se registró en el formato de cadena de custodia indicando los parámetros a evaluar, tipo de frasco, tipo de muestra de agua (agua residual cruda, agua residual tratada), volumen, número de muestras, reactivos de preservación, condiciones de conservación, operador del muestreo y otra información relevante.

- Las muestras de agua residual recolectadas y rotuladas, se colocaron en una caja de almacenamiento térmica con refrigerante (Ice pack), para cumplir con la recomendación de temperatura indicada.
- Se envió las muestras perecibles al laboratorio para su análisis, cumpliendo con el tiempo establecido en las recomendaciones para la preservación y conservación, éstas fueron acompañadas de su respectiva cadena de custodia.

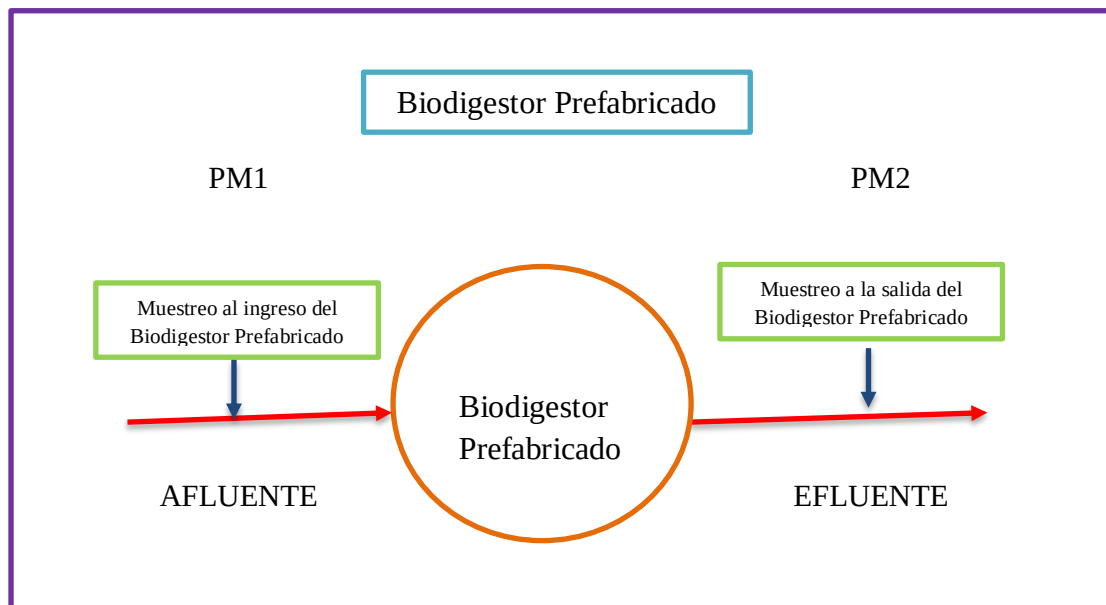


Figura N° 13. Puntos de monitoreo en el afluente y efluente del biodigestor prefabricado.

Donde:

PM1: Punto de monitoreo 1
PM2: Punto de monitoreo 2

Frecuencia de Monitoreo

Se realizará en un período de 4 meses; los parámetros: demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD) serán evaluados con una frecuencia de una vez por mes en el afluente y efluente de cada biodigestor prefabricado y para los parámetros de temperatura ambiental, temperatura interna del agua residual en el biodigestor prefabricado, pH, caudal y tiempo de retención hidráulica se realizarán en cada biodigestor prefabricado al menos una vez a la semana y a diferentes horas del día, se realizarán según el cronograma de actividades y en los puntos de monitoreo establecidos; lo que permitirá observar los cambios sustanciales que ocurren en este período de tiempo.

b) La fase de laboratorio comprende:

Esta fase será exclusiva del laboratorio que se encargará de la fiabilidad de los resultados, aplicará la técnica de análisis de muestras para cada parámetro.

- Conservación de las muestras.
- Preparación de las muestras.
- Análisis de las muestras.

En el laboratorio se producen resultados analíticos útiles para el procesamiento de la información, dada la trascendencia de los informes de laboratorio, pueden tener resultados evidentes, todo laboratorio debe de disponer de un sistema que asegure la calidad de sus resultados.

Tabla N° 07. Técnica de recolección de datos de laboratorio

PARÁMETRO	TÉCNICA/NORMA DE REFERENCIA	TIPO DE MATRIZ
Demanda Bioquímica de Oxígeno	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-N B, 22 nd Ed. 2012: Nitrogen. Macro – Kjendahl Method	Agua residual
Demanda Química de Oxígeno	EPA Method 300.1 Rev. 1.0. 1997: Determination of Inorganic Anions in Drinking Water by Ion Chromatography	Agua residual
Oxígeno disuelto	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 22 nd Ed. 2012: Oxygen (Dissolved). Azide Modification	Agua residual

c) La fase de gabinete comprende:

Consistió en realizar el procesamiento de datos para obtener los valores y determinar la eficiencia de tratamiento del biodigestor autolimpiable. Se procesó los resultados obtenidos de los parámetros analizados en campo (potencial de hidrógeno, Caudal y Temperatura) y los resultados en el laboratorio (demanda bioquímica de oxígeno, oxígeno disuelto y coliformes termotolerantes), asimismo se calculó el % de remoción de los parámetros mencionados, evaluando la influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores prefabricados. Finalmente, los resultados se presentan mediante tablas, gráficos, con sus respectivas interpretaciones, reflejando la ejecución del trabajo de investigación. Asimismo, la comprobación de la hipótesis se

realizó mediante la prueba estadística de correlación de Person, dicha correlación muestra la influencia de la altitud en la eficiencia de remoción de constituyentes del biodigestor prefabricado.

Técnicas de procesamiento de datos para obtener los valores de eficiencia de los biodigestores prefabricados

Se registrarán los resultados emitidos por el laboratorio: demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda química de oxígeno (DQO) y coliformes termotolernates (CTT) ; así como los datos determinados a nivel de campo (temperatura, Ph y caudal); los cuales serán procesados para determinar la eficiencia de los biodigestores prefabricados. La determinación del porcentaje de remoción de nutrientes será determinada de la siguiente manera:

- Se efectuará el cálculo de los valores promedios de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD). Se calculará empleando la fórmula que se presenta a continuación.

$$\bar{X} = \frac{\sum x}{n}$$

Dónde:

$\bar{X}$ = promedio aritmético

X = valor individual de cada dato

n = número de datos

- Haciendo uso de los valores promedios de demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), demanda bioquímica de oxígeno (DQO) y oxígeno disuelto (OD); obtenidos en cada punto de monitoreo de los biodigestores prefabricados se procederá a calcular la eficiencia de los mismos.

$$\% \eta \text{ Eficiencia} = \frac{N_{\text{afluente}} - N_{\text{efluente}}}{N_{\text{afluente}}} * 100$$

Donde:

η : Eficiencia (%)

N Afluente: concentración de cada parámetro en la entrada (en el punto de entrada al biodigestor prefabricado)

N Efluente: concentración de cada parámetro en la salida (en el punto de salida del biodigestor prefabricado)

- Para los demás parámetros se seguirá la misma metodología de procesamiento de datos y la determinación de las eficiencias alcanzadas por cada biodigestor prefabricado.

4.3. Población

La población estuvo constituida por 780 biodigestores que fueron instalados en el Centro Poblado Santa Isolina, comunidad de San Antonio de la Iraca y en el sector Conga Chucmar, provincia de Chota.

4.4. Muestra

La muestra estuvo constituida por 06 biodigestores de 600 litros de capacidad, 02 en el Centro Poblado Santa Isolina, 02 en la comunidad de San Antonio de la Iraca y 02 en el sector Conga Chucmar, provincia de Chota.

4.4.1. Tamaño y tipo de muestra

Se realizará de acuerdo al informe para el muestreo de efluentes y cuerpos receptores en el marco de la autorización sanitaria de vertimiento (DIGESA 2006) en el que señala los requisitos mínimos para la toma de muestras de agua y será susceptible a cambios según el requerimiento del tamaño y tipo de muestra como lo determine el laboratorio.

Tabla N° 08. Requisitos para la toma de muestra de agua y preservación

PARÁMETRO	RECIPIENTE	VOLUMEN MÍNIMO DE MUESTRA	TIPO DE MATRIZ	PRESERVACION	TIEMPO MÁXIMO DE DURACIÓN
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)	Plástico	1000 mL	Agua residual	refrigerar a 4 °C	48 Horas
Demanda química de oxígeno (DQO)	Plástico, Vidrio	100 mL	Agua residual	Agregar H ₂ SO ₄ hasta pH<2 refrigerar a 4 °C	28 días
Temperatura	Plástico	1000 mL	Agua residual	No es posible	15 min.
Potencial de Hidrógeno (pH)		50 mL	Agua residual	No es posible	15 min.
Oxígeno disuelto	Botella Winkler	300 mL	Agua residual	Agregar sulfato manganoso y solución yoduro alcalina	8 horas

Fuente: DIGESA, 2006

* MINAGRI, 2011

4.5. Unidad de análisis

Eficiencia de los 06 biodigestores prefabricados en el Centro Poblado Santa Isolina, comunidad de San Antonio de la Iraca y en el sector Conga Chucmar, provincia de Chota.

4.6. Aspectos Administrativos

4.3.1 Recursos y presupuesto

Cuadro N° 06: Presupuesto del proyecto de investigación

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	COSTO UNIT. (S/.)	COSTO TOTAL (S/.)
1.00	MATERIALES DE CAMPO				1115.00
1.01	Libreta de campo	Global	4	5.00	20.00
1.02	Cinta adhesiva	Global	1	2.00	2.00
1.03	Plumón indeleble	Global	1	3.50	3.50
1.04	Frascos Winkler debidamente etiquetados	Unidad	6	80.00	480.00
1.05	Cinta de embalaje	Global	1	5.00	5.00
1.06	GPS para la georeferenciación del sistema de tratamiento	Unidad	1	50.00	50.00
1.07	pH-metro con función de medición de la temperatura	Unidad	1	800.00	200.00
1.08	Cámara fotográfica	Unidad	1	900.00	200.00
1.09	Guantes de látex descartables	Caja	1	19.00	19.00
1.10	Mascarilla descartable	Caja	1	16.00	16.00
1.19	Jarras Milimetradas	Unidad	2	5.00	10.00
2.00	ANÁLISIS DE MUESTRAS				8320.00
2.01	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mgO ₂ /L	48	40.00	2200.00
2.02	Demanda Química de Oxígeno	mgO ₂ /L	48	40.00	2260.00
2.04	Coliformes Termotolerantes	NMP/100	48	20.00	2100.00
2.05	Material de muestreo	Unidad	48	20.00	830.00
2.06	Preservantes	Unidad	24	25.00	650.00
3.00	EQUIPAMIENTO DE GABINETE PARA PROCESAMIENTO DE DATOS				3139.00
3.01	Laptop con software para procesamiento y sistematización de datos	Unidad	1	2800.00	800.00
3.02	Papel bond A4	Millar	4	25.00	100.00
3.03	Impresora	Unidad	1	230.00	560.00
3.04	Lapiceros	Unidad	3	2.00	6.00
4.00	GASTOS GENERALES				1460.00
4.01	Pasajes	Soles	36	20.00	1020.00
4.02	Alimentación	Soles	54	10.00	840.00
COSTO TOTAL					13840.00

4.3.2 Financiamiento

Los costos derivados de la presente investigación serán asumidos directamente por el tesista.

4.7. Cronograma de ejecución

Tabla N° 09: Cronograma de actividades

ACTIVIDADES	DESARROLLO DEL PROYECTO EN 7 MESES																			
	PRIMER MES				SEGUNDO MES				TERCER MES				CUARTO MES				QUINTO MES			
	semana				semana				semana				semana				semana			
	. ENERO - 2025				. FEBRERO - 2025				. MARZO - 2025				. ABRIL - 2025				. MAYO - 2025			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
Identificación de puntos de monitoreo																				
Acondicionamiento de los puntos de monitoreo																				
Adquisición de materiales, equipos y reactivos																				
Toma de muestras y envío al laboratorio																				
Monitoreo de parámetros en campo																				
Pruebas y resultados de laboratorio																				
Rehabilitación del sistema de tratamiento																				
Procesamiento de resultados e interpretación																				
Elaboración de informe final																				

CAPÍTULO V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno

La Tabla 10. Muestra las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, los promedios y porcentajes de remoción alcanzado en el tratamiento de aguas residuales domésticas en los cuatro monitoreos realizados, en cada biodigestor autolimpiable ubicados a diferente altitud.

Tabla N° 10. Concentraciones de Demanda bioquímica de oxígeno (mg O_2/L) en el afluente y efluente de los biodigestores.

Biodigestor Prefabricado (BP)	Altitud	N° de Monitoreo	DBO (mg O_2/L)	
			Afluente	Efluente
BP1	1759 m.s.n.m	1	418.2	116.1
		2	491.0	174.2
		3	490.5	208.1
		4	498.1	220.2
BP2	1757 m.s.n.m	1	508.1	196.2
		2	496.3	193.2
		3	498.2	206.1
		4	502.6	193.1
BP3	2653 m.s.n.m	1	513.7	316.6
		2	527.1	418.7
		3	516.1	332.6
		4	532.1	364.2
BP4	2641 m.s.n.m	1	553.2	434.2
		2	562.7	464.8
		3	557.2	473.1
		4	537.6	367.2
BP5	3338 m.s.n.m	1	774.9	609.1
		2	727.5	621.1
		3	736.2	629.2
		4	760.1	673.2
BP6	3342 m.s.n.m	1	771.8	602.1
		2	703.2	612.2
		3	694.7	580.1
		4	764.6	667.1

Tabla N° 11. Concentraciones Promedio de Demanda bioquímica de oxígeno (mg O₂/L) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.

Biodigestores Prefabricados (BP)	Altitud Promedio	N° de Monitoreo	DBO (mg O ₂ /L)		Eficiencia de remoción de DBO (%)
			Afluente	Efluente	Eficiencia
BP1 y BP2	(1758 m.s.n.m)	1	463.1	156.1	66.29%
		2	493.7	183.7	62.78%
		3	494.4	207.1	58.11%
		4	500.3	206.6	58.70%
BP3 y BP4	(2647 msnm)	1	533.4	375.4	29.63%
		2	544.9	411.8	24.43%
		3	536.7	402.9	24.93%
		4	534.9	365.7	31.63%
BP5 y BP6	(3340 msnm)	1	754.0	615.7	18.35%
		2	715.3	616.6	13.80%
		3	734.8	594.6	19.08%
		4	762.4	670.2	12.10%

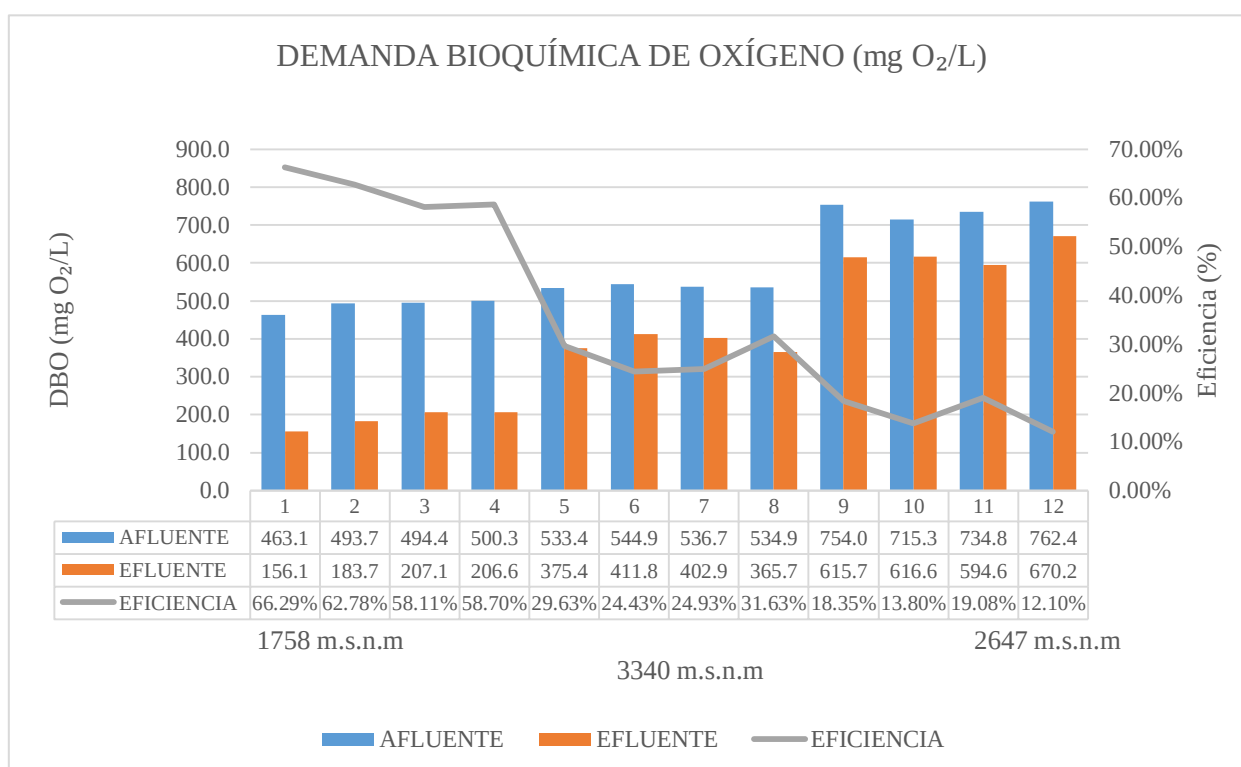


Figura N°14. Concentraciones Promedio de Demanda bioquímica de oxígeno (mg O₂/L) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.

Los biodigestores prefabricados, logran una disminución de la demanda bioquímica de oxígeno existente en las aguas residuales domésticas. Los resultados presentados en la Tabla 11, muestran que la demanda bioquímica de oxígeno disminuye en el efluente de los seis biodigestores; sin embargo, se puede apreciar que en los biodigestores ubicados a menor altitud, se logra mayor disminución de la demanda bioquímica de oxígeno; esto puede deberse a que la remoción de demanda bioquímica de oxígeno se lleva a cabo por la absorción de compuestos orgánicos en solución y por oxidación bacteriana, y esta se ve influenciada por la altitud.

Se debe tener en cuenta que el biodigestor prefabricado es un sistema de tratamiento primario de aguas residuales domésticas, mediante un proceso de retención y degradación anaerobia de la materia orgánica y para lograr un eficiente tratamiento de las aguas residuales domésticas, se tienen que implementar tratamientos secundarios (Sánchez, 2011).

La eficiencia de remoción mínima lograda es de 12.10% en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m, acercándose al valor encontrado por el autor Goicochea, E. (2022), en su tesis a 3135 m.s.n.m, determina una eficiencia de 18.77% de demanda bioquímica de oxígeno en el biodigestor prefabricado, encontrando mayor eficiencia a menor altitud.

5.2. Demanda Química de Oxígeno

La Tabla 12. Muestra las concentraciones de demanda química de oxígeno, los promedios y porcentajes de remoción alcanzado en el tratamiento de aguas residuales domésticas en los cuatro monitoreos realizados, en cada biodigestor autolimpiable ubicados a diferente altitud.

Tabla N° 12. Concentraciones de Demanda química de oxígeno (mg O_2/L) en el afluente y efluente de los biodigestores.

Biodigestor Prefabricado (BP)	Altitud	N° de Monitoreo	DQO (mg O_2/L)	
			Afluente	Efluente
BP1	1759 m.s.n.m	1	893	169
		2	527	284
		3	764	357
		4	472	286
BP2	1757 m.s.n.m	1	531	263
		2	662	341
		3	667	371
		4	742	368
BP3	2653 m.s.n.m	1	728	371
		2	797	261
		3	816	442
		4	954	549
BP4	2641 m.s.n.m	1	783	544
		2	808	407
		3	612	437
		4	537	563
BP5	3338 m.s.n.m	1	1616	850
		2	1235	947
		3	2037	882
		4	1754	1530
BP6	3342 m.s.n.m	1	1619	956
		2	954	459
		3	1313	956
		4	1427	796

Tabla N° 13. Concentraciones Promedio de Demanda química de oxígeno (mg O₂/L) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.

PROMEDIOS Biodigestor Prefabricado (BP)	N° de Monitoreo	DQO (mg O ₂ /L)		Eficiencia de remoción de DQO (%)
		Afluente	Efluente	
BP1 y BP2 (1758 msnm)	1	712.0	216.0	69.66
	2	594.5	312.5	47.43
	3	715.5	364.0	49.13
	4	607.0	327.0	46.13
BP3 y BP4 (2647 msnm)	1	755.5	462.5	38.78
	2	802.5	334.0	58.38
	3	714.0	439.5	38.45
	4	745.5	556.0	25.42
BP5 y BP6 (3340 msnm)	1	1617.5	903.0	44.17
	2	1094.5	703.0	35.77
	3	1496.5	919.0	38.59
	4	1590.5	1163.0	26.88

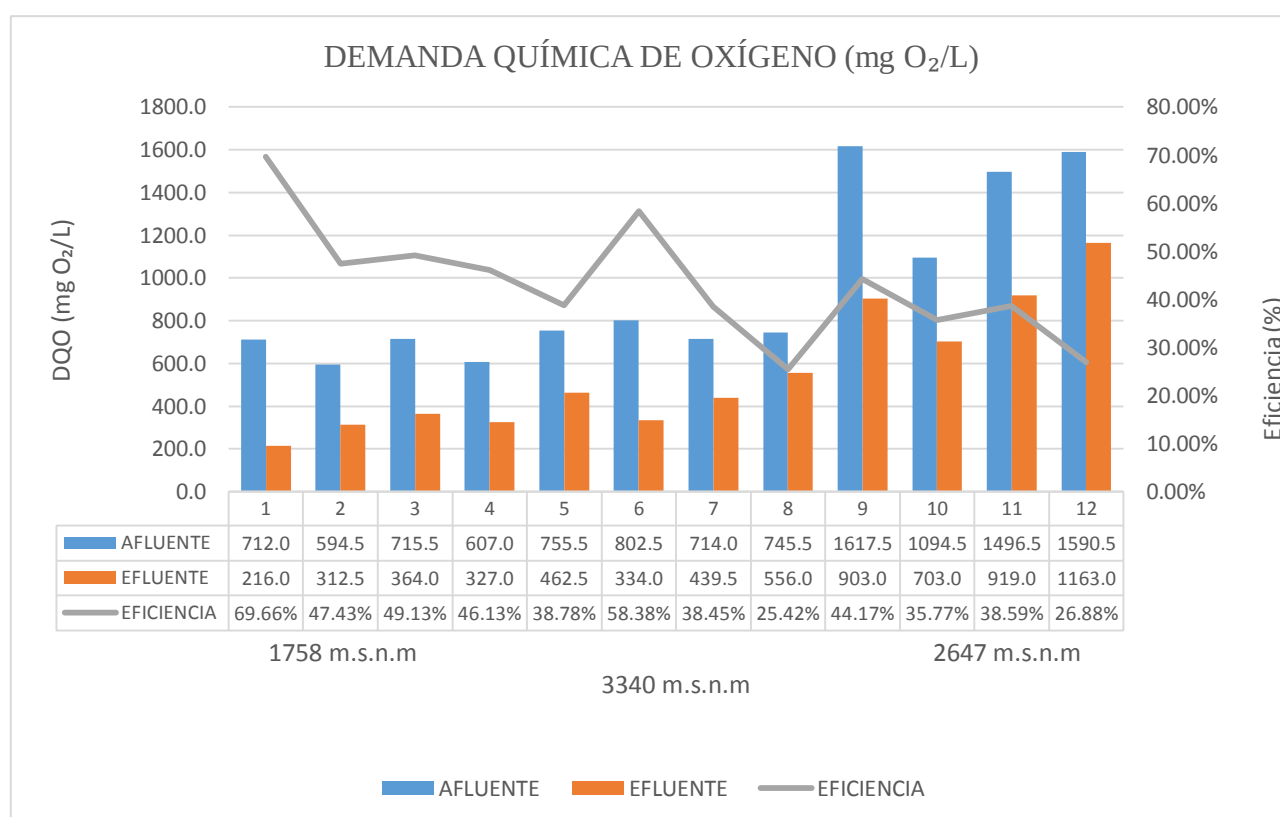


Figura N°15. Concentraciones Promedio de Demanda química de oxígeno (mg O₂/L) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.

Los biodigestores prefabricados, logran una disminución de la demanda química de oxígeno existente en las aguas residuales domésticas. Los resultados presentados en la Tabla 13, muestran que la demanda química de oxígeno disminuye en el efluente de los seis biodigestores; sin embargo, se puede apreciar que en los biodigestores ubicados a menor altitud, se logra mayor disminución de la demanda bioquímica de oxígeno.

La eficiencia de remoción mínima lograda es de 26.88% en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m, acercándose al valor encontrado por el autor Mancha, R. (2015), en su tesis a 3826 m.s.n.m, determina una eficiencia de 26.44% de demanda bioquímica de oxígeno en el biodigestor prefabricado, encontrando mayor eficiencia a menor altitud.

5.3. Coliformes Termotolerantes

La Tabla 14 Muestra las concentraciones obtenidas de los análisis realizados en el parámetro de coliformes termotolerantes, los promedios y porcentajes de remoción alcanzado en el tratamiento de aguas residuales domésticas en los cuatro monitoreos realizados, en cada biodigestor autolimpiable ubicados a diferente altitud.

Tabla N° 14. Concentraciones de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) en el afluente y efluente de los biodigestores.

Biodigestor Prefabricado (BP)	N° de Monitoreo	CT (NMP/100 ml)	
		Afluente	Efluente
BP1	1	1.6E+08	9.2E+06
	2	1.4E+08	9.0E+06
	3	1.5E+08	8.7E+06
	4	1.4E+08	9.1E+06
BP2	1	1.7E+08	8.6E+06
	2	1.6E+08	8.2E+06
	3	1.5E+08	8.7E+06
	4	1.4E+08	9.0E+06
BP3	1	54000000	1.6E+07
	2	53000000	1.5E+07
	3	54000000	1.4E+07
	4	54000000	1.5E+07
BP4	1	55000000	1.7E+07
	2	54000000	1.4E+07
	3	55000000	1.6E+07
	4	54000000	1.4E+07
BP5	1	33000000	9.3E+06

BP6	2	34000000	9.2E+06
	3	35000000	1.2E+07
	4	35000000	1.7E+07
	1	32000000	1.7E+07
	2	35000000	1.7E+07
	3	36000000	1.3E+07
	4	34000000	9.4E+06

Tabla 15. Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes (NMP/100ml) en el afluente y efluente de los biodigestores y eficiencias promedio de remoción.

PROMEDIOS	N° de Monitoreo	CT (NMP/100 ml)		Eficiencia de remoción de DQO (%)
Biodigestores Prefabricados (BP)		AFLUENTE	EFLUENTE	EFICIENCIA
BP1 y BP2 (1758 msnm)	1	1.7E+08	8.9E+06	94.61%
	2	1.5E+08	8.6E+06	94.27%
	3	1.5E+08	8.7E+06	94.20%
	4	1.4E+08	9.1E+06	93.54%
BP3 y BP4 (2647 msnm)	1	5.5E+07	1.7E+07	69.72%
	2	5.4E+07	1.5E+07	72.90%
	3	5.5E+07	1.5E+07	72.48%
	4	5.4E+07	1.5E+07	73.15%
BP5 y BP6 (3340 msnm)	1	3.3E+07	1.3E+07	59.54%
	2	3.5E+07	1.3E+07	62.03%
	3	3.6E+07	1.3E+07	64.79%
	4	3.5E+07	1.3E+07	61.74%

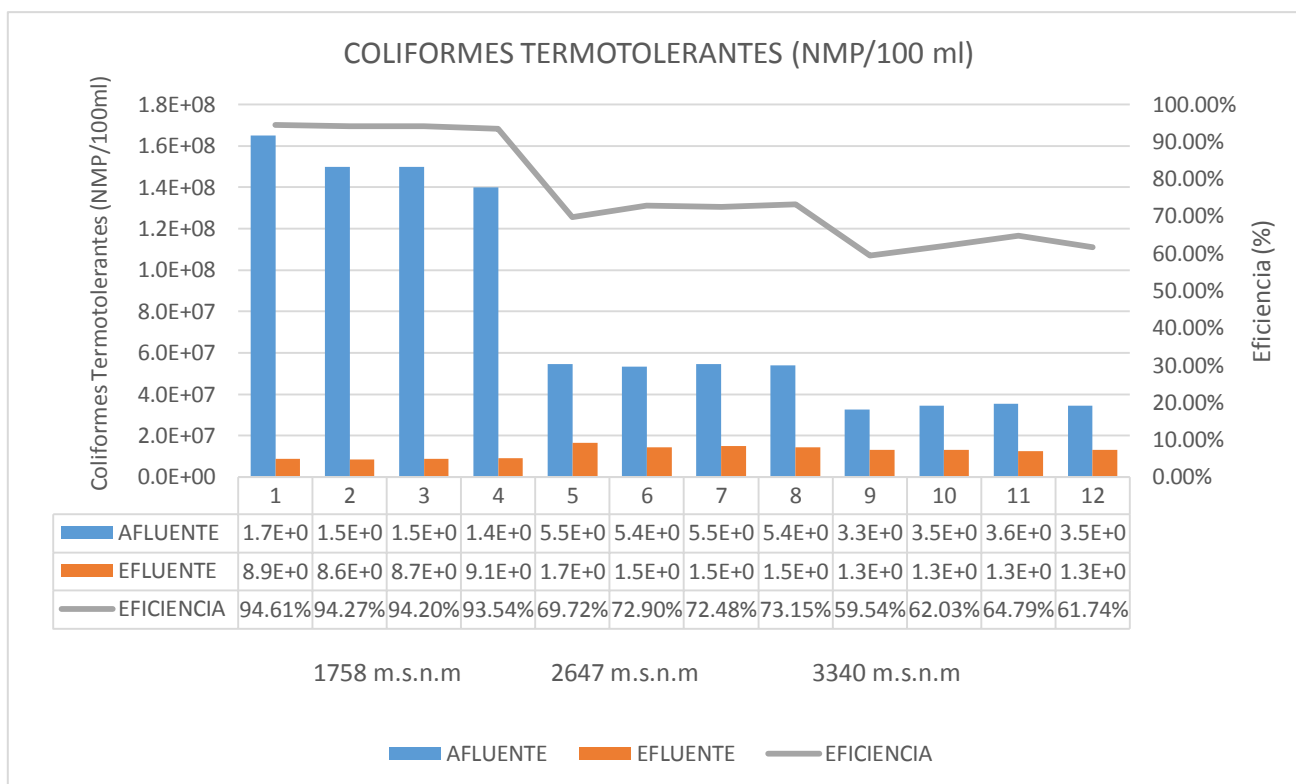


Figura N°16. Concentraciones Promedio de Coliformes Termotolerantes (NMP/100 ml) en el afluente y efluente de los biodigestores prefabricados en las tres altitudes.

La muestra que se tomó al inicio tiene una alta cantidad de microorganismos, esto se debe por la alta concentración de la carga orgánica que proviene directamente de los servicios higiénicos (excretas). Estos microorganismos contienen un gran grupo de bacterias que viven normalmente en el tracto digestivo de los seres humanos y los animales, por esta razón se encontró una alta cantidad en las aguas residuales muestreadas. Podemos observar que al inicio de la carga existe presencia elevada de coliformes fecales la cual va disminuyendo conforme va dándose el proceso de biodigestión (Scanlan 1991).

Se logra una remoción de coliformes termotolerantes de 64.79% en el biodigestor ubicado a 3340 m.s.n.m. y 94.61% en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m. logrando un mayor porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes en el biodigestor ubicado a menor altitud. La alta remoción se puede atribuir a los mecanismos de adsorción y filtración del proceso, ya que la biopelícula (formadas por bacterias) tiene una alta capacidad para inmovilizar sólidos suspendidos por estas vías. (Reyes *et al.* 1998). De acuerdo con los estudios se Sanz (2011), la adaptación bacteriana tiene un proceso de crecimiento exponencial, al ocurrir altos consumos de sustrato y, por consiguiente, se presenta una mayor producción de gas metano.

Goicochea, E. (2022), monitoreó y evaluó los afluentes y efluentes de los biodigestores prefabricados ubicados a una altitud de 3135 msnm, determinando una eficiencia de remoción de coliformes termotolerantes de 35% y a una altitud de 2646 m.s.n.m una eficiencia de 97.62%, estos resultados muestran que a mayor altitud la eficiencia de los biodigestores es menor en la remoción de coliformes termotolerantes. Los microorganismos anaerobios pueden aclimatarse a diferentes condiciones de temperatura de operación, sin embargo, podría afectar la actividad de biomasa y el rendimiento del digestor. El aumento de esta (en un rango determinado) puede mejorar el crecimiento microbiano y su actividad por lo tanto estimula a la tasa de biodegradación, así que a bajas temperaturas la degradación sería lenta (Bergamo *et al.* 2009).

5.4. Potencial de Hidrógeno (pH)

En la Tabla N° 16, se muestra la variación del pH de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes. Verificando así que el pH se encuentra entre el intervalo de 7 y 8 valores óptimos para el desarrollo de la vida microbiana (Romero 2004).

Tabla N° 16. Variación del pH de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes.

Biodigestor Prefabricado (BP)	Altitud	N° de Monitoreo	pH (unidad)
			Efluente
BP1	1759 m.s.n.m	1	7.08
		2	7.10
		3	7.06
		4	7.12
BP2	1757 m.s.n.m	1	6.90
		2	6.96
		3	6.94
		4	6.98
BP3	2653 m.s.n.m	1	7.20
		2	7.26
		3	7.30
		4	7.22
BP4	2641 m.s.n.m	1	7.17
		2	7.19
		3	7.14
		4	7.15
BP5	3338 m.s.n.m	1	7.65
		2	7.63
		3	7.68

		4	7.64
BP6	3342 m.s.n.m	1	7.66
		2	7.62
		3	7.70
		4	7.68

Tabla N° 17. Concentraciones Promedio de potencial de hidrógeno (unidad pH) en el efluente de los biodigestores prefabricados.

PROMEDIOS Biodigestores Prefabricados (BP)	N° de Monitoreo	pH (unidad) AFLUENTE
BP1 y BP2 (1758 msnm)	1	6.99
	2	7.03
	3	7.00
	4	7.05
BP3 y BP4 (2647 msnm)	1	7.19
	2	7.23
	3	7.22
	4	7.19
BP5 y BP6 (3340 msnm)	1	7.66
	2	7.63
	3	7.69
	4	7.66

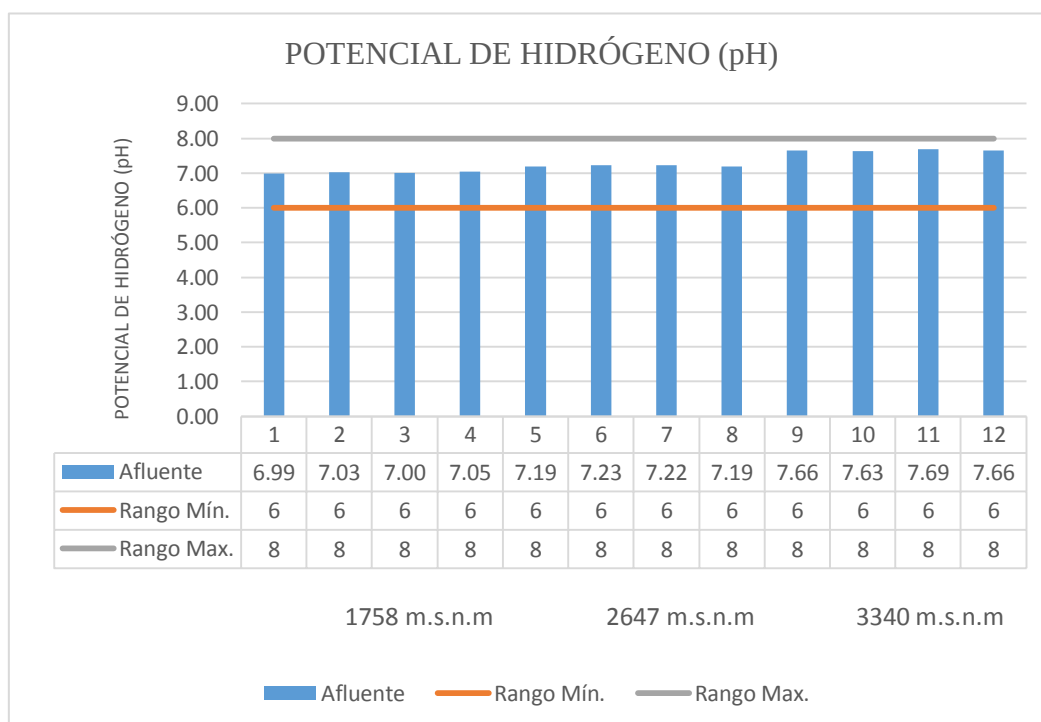


Figura N° 17. Potencial de hidrógeno de los efluentes de los biodigestores monitoreados a diferentes altitudes.

El potencial de hidrógeno de los biodigestores monitoreados se encuentran dentro del rango de 6 – 8 unidades de Ph, coincidiendo con Osorio et al. (2007), quienes mencionan que para una buena estabilización de la materia orgánica es necesario tener rango de pH favorable de 6 a 8. Luostarinen (2005), hace referencia que durante la fase fermentativa se produce ácidos grasos, y esto causa la disminución de pH del fluido de digestión. A partir de la descomposición de las proteínas y de la reducción de los nitratos se produce amoníaco (NH₃), este compuesto tiene un carácter básico que neutraliza los ácidos presentes y es soluble al agua. Cuando el proceso se estabiliza el pH del biodigestor adquiere un valor ligeramente básico a 7-7.2. Investigaciones se han reportado valores de pH hasta 8.5. La cantidad de nitrógeno presente en la alimentación del digestor es decisiva para que se alcancen valores correctos de pH (Werner et al. 1989).

5.5. Temperatura (°C)

En la Tabla 18 se muestra la variación de la temperatura del efluente de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes. Verificando así que la temperatura se encuentra en un rango de 11.45°C y 33.16°C. Siendo los valores óptimos entre 20°C y 35°C de temperatura para el desarrollo de la digestión anaeróbica y proceso de nitrificación (Van Haandel y Lettinga 1994).

Tabla N° 18. Variación de la temperatura del efluente de los biodigestores prefabricados ubicados en diferentes altitudes.

Biodigestor Prefabricado (BP)	Altitud	N° de Monitoreo	Temperatura del Efluente (°C)
BP1	1759 m.s.n.m	1	34.12
		2	34.00
		3	32.40
		4	32.60
BP2	1757 m.s.n.m	1	32.20
		2	32.22
		3	32.10
		4	32.16
BP3	2653 m.s.n.m	1	26.10
		2	26.00
		3	26.12
		4	26.40
BP4	2641 m.s.n.m	1	25.00
		2	25.12

BP5	3338 m.s.n.m	3	25.24
		4	25.26
		1	10.70
		2	11.00
BP6	3342 m.s.n.m	3	11.20
		4	11.40
		1	12.20
		2	14.30
		3	14.80
		4	14.50

Tabla 19. Concentraciones Promedio de la variación de la temperatura de los efluentes.

PROMEDIOS	N° de	Temperatura (°C)
Biodigestores Prefabricados (BP)	Monitoreo	Efluente
BP1 y BP2 (1758 msnm)	1	33.16
	2	33.11
	3	32.25
	4	32.38
BP3 y BP4 (2647 msnm)	1	25.55
	2	25.56
	3	25.68
	4	25.83
BP5 y BP6 (3340 msnm)	1	11.45
	2	12.65
	3	13.00
	4	12.95

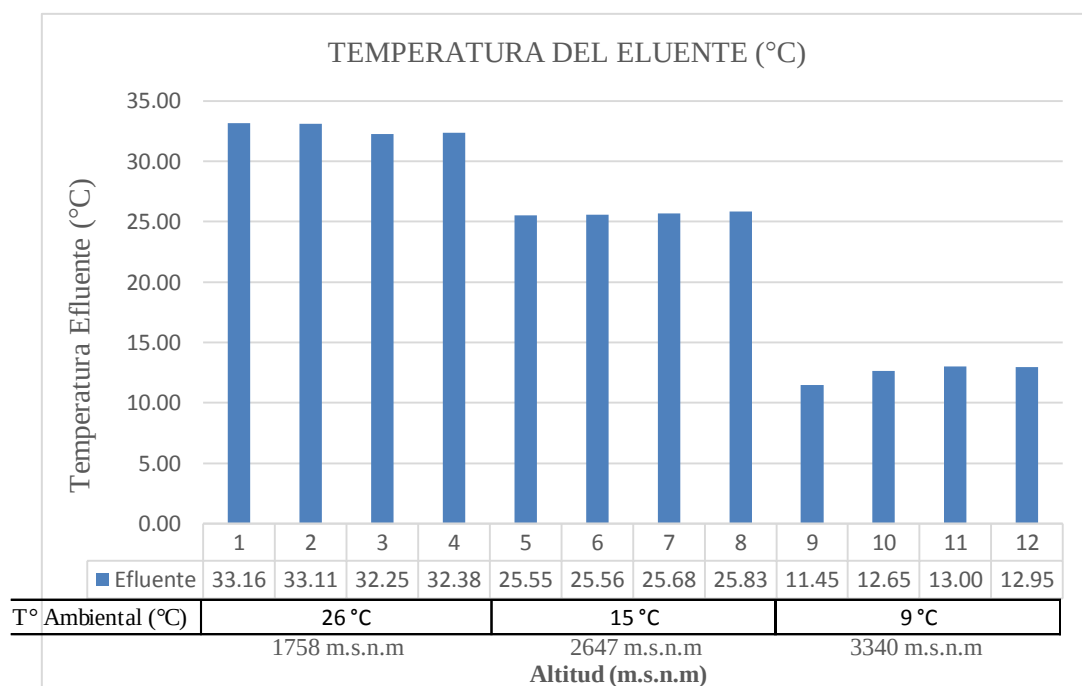


Figura N° 18. Variación de la temperatura del efluente de los biodigestores prefabricados a diferentes altitudes.

En el biodigestor ubicado a 3340 m.s.n.m, en el mes de Agosto logra alcanzar una temperatura de 13 °C, por ende, logra la mayor remoción de DBO (19,08%) y CTT (64.79%), en los otros tres monitoreos se registra temperaturas menores, así mismo no existe una eficiente remoción de DBO y CTT; por el contrario, el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m., logra alcanzar temperaturas por sobre los 33°C, que permite a este biodigestor tener mayor eficiencia en la remoción de DBO y CTT durante todos los meses evaluados. Estos resultados determinan que la altitud y la temperatura de operación del biodigestor influye de manera directa en la eficiencia del tratamiento de aguas domésticas por los biodigestores autolimpiables, coincidiendo con Rojas (2002), quienes indican que el factor que más influye en la biodegradación de la materia orgánica es la temperatura por la altitud.

El aumento de esta (en un rango determinado) puede mejorar el crecimiento microbiano y su actividad por lo tanto estimula a la tasa de biodegradación, así que a bajas temperaturas la degradación sería lenta (Buitrón y Pérez 2011). Si los microorganismos anaerobios podrían aclimatarse a diferentes condiciones de temperatura de operación, esto podría afectar la actividad de biomasa y el rendimiento del digestor. A su vez es necesario que las excretas estén más tiempo en el interior del biodigestor; marcando de esta manera la temperatura y el tiempo de retención. Tanto que el sistema anaerobio trabaja de manera eficiente con temperaturas mayores de 20°C (Bergamo et al. 2009).

5.6. Influencia de la altitud en la eficiencia de biodigestores prefabricados

La influencia de la altitud en la eficiencia del tratamiento de los biodigestores prefabricados se comprobó mediante la determinación del porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y de coliformes termotolerantes, en los biodigestores prefabricados a distintas altitudes.

Tabla 20. Eficiencia de tratamiento de biodigestores prefabricados ubicados a diferente altitud.

Biodigestores Prefabricados (BP)	Altitud Promedio	N° de Monitoreo	Eficiencia de remoción de DBO (%)	Eficiencia de remoción de DQO (%)	Eficiencia de remoción de CTT (%)
BP1 y BP2	(1758 m.s.n.m)	1	66.29%	69.66%	94.61%
		2	62.78%	47.43%	94.27%
		3	58.11%	49.13%	94.20%
		4	58.70%	46.13%	93.54%
Promedio			61.47%	53.09%	94.15%
BP3 y BP4	(2647 msnm)	1	29.63%	38.78%	69.72%
		2	24.43%	58.38%	72.90%
		3	24.93%	38.45%	72.48%
		4	31.63%	25.42%	73.15%
Promedio			27.65%	40.26%	72.06%
BP5 y BP6	(3340 msnm)	1	18.35%	44.17%	59.54%
		2	13.80%	35.77%	62.03%
		3	19.08%	38.59%	64.79%
		4	12.10%	26.88%	61.74%
Promedio			15.83%	36.35%	62.02%

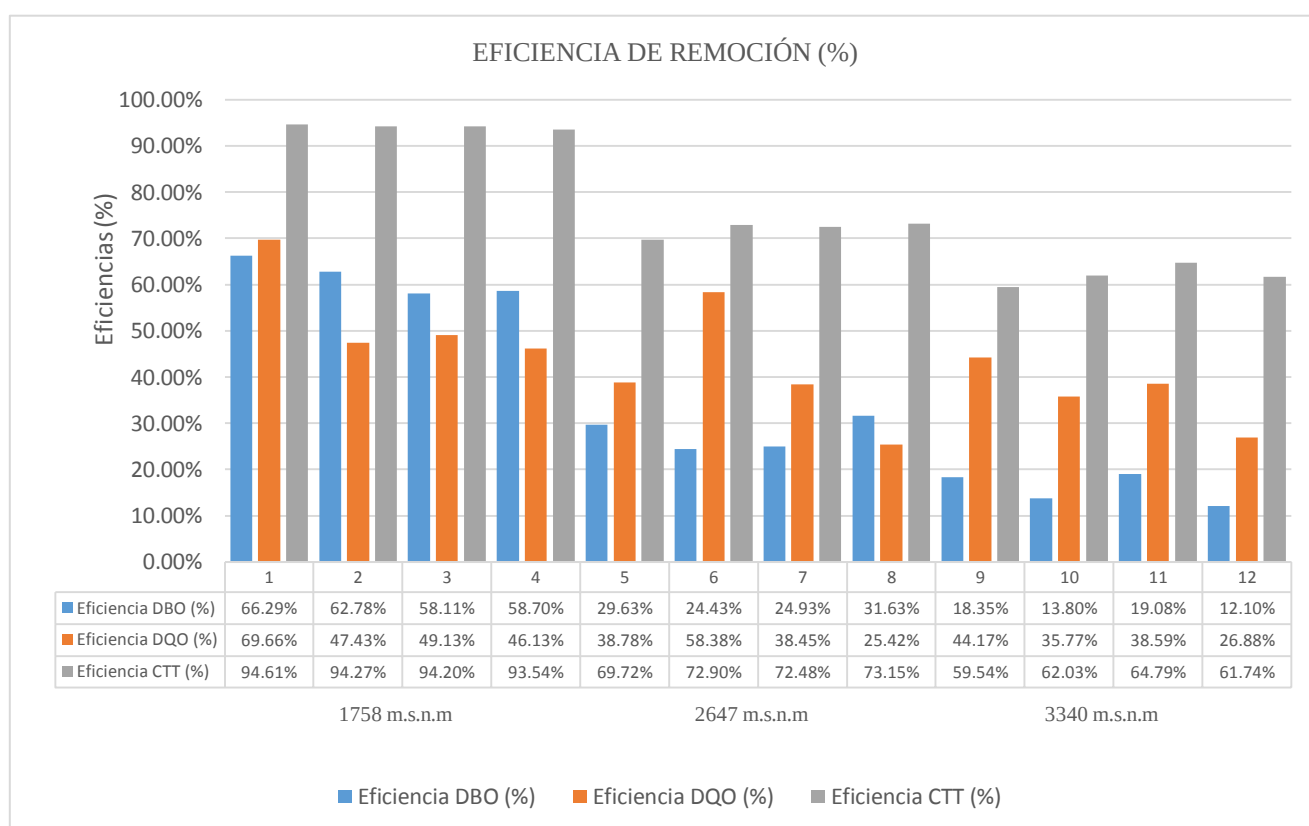


Figura N° 19. Eficiencia de remoción de biodigestores prefabricados ubicados a diferente altitud.

La eficiencia de remoción máxima lograda es de 61.47 % en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m., respecto del parámetros demanda bioquímica de oxígeno, un 53.26% de eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno y un 94.15% en el parámetro de coliformes termotolerantes en el efluente del biodigestor; acercándose al valor encontrado por los autores Gonzáles, J. y Simeon, R. 2018, quienes en la tesis denominada eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Nausilla ubicada a 2185 m.s.n.m., determinó un 91.43% de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO), un 20.18% de eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno y un 97.48% en el parámetro de coliformes termotolerantes en los efluentes de los biodigestores prefabricados.

La eficiencia de remoción máxima lograda es de 27.65 % en el biodigestor ubicado a 2647 m.s.n.m., respecto del parámetros demanda bioquímica de oxígeno, un 40.26% de eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno y un 72.06% en el parámetro de coliformes termotolerantes en el efluente del biodigestor; acercándose al valor encontrado por el autor Goicochea, E (2022), quien en la tesis denominada influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables ubicados a 2645 m.s.n.m, determina 24.52%, de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 97.62% en el parámetro de coliformes termotolerantes en el efluente del biodigestor. Valores que superan al valor encontrado por el autor Nina (2015), quien en la tesis denominada eficiencia de remoción del sistema de tratamiento de aguas residuales en biodigestores, ubicado a 3988 m.s.n.m., determinó 47.41% de eficiencia remoción de coliformes termotolerantes (CTT).

En tanto la eficiencia de remoción máxima lograda es de 15.83%, en el biodigestor ubicado a 3340 m.s.n.m, respecto del parámetro demanda bioquímica de oxígeno, un 36.35% de eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno y un 62.02% en el parámetro de coliformes termotolerantes en el efluente del biodigestor; acercándose al valor encontrado por el autor Goicochea, E (2022), quien en la tesis denominada influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables ubicados a 3135 m.s.n.m, determina una eficiencia de remoción de 18.77% de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y 35.00% en el parámetro de coliformes termotolerantes, siendo similar al valor encontrado por Mancha (2015), quien en la tesis denominada eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado a 3826 m.s.n.m, determino 28.24% de eficiencia de remoción en el

parámetro de demanda bioquímica de oxígeno, un 26.44% de eficiencia en la remoción de la demanda química de oxígeno y un 33.61% en el parámetro de coliformes fecales en el efluente del biodigestor prefabricado.

Dando lugar a que ambos biodigestores, muestran eficiencias de tratamiento sin embargo dadas las condiciones (pH y temperatura) de operación y altitud de ubicación (m.s.n.m) del biodigestor, este último tiene influencia en el proceso de digestión anaeróbica, dadas las concentraciones de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes termotolerantes; generando mayores valores de eficiencia del tratamiento de aguas residuales en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m. en todo el periodo de estudio por los biodigestores autolimpiables, coincidiendo con Rojas (2002).

5.7 Líneas de Tendencia

- La eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 15.83%, del biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m, es 27.65% y en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m es 61.47%.

Por lo que tenemos la siguiente línea de tendencia:

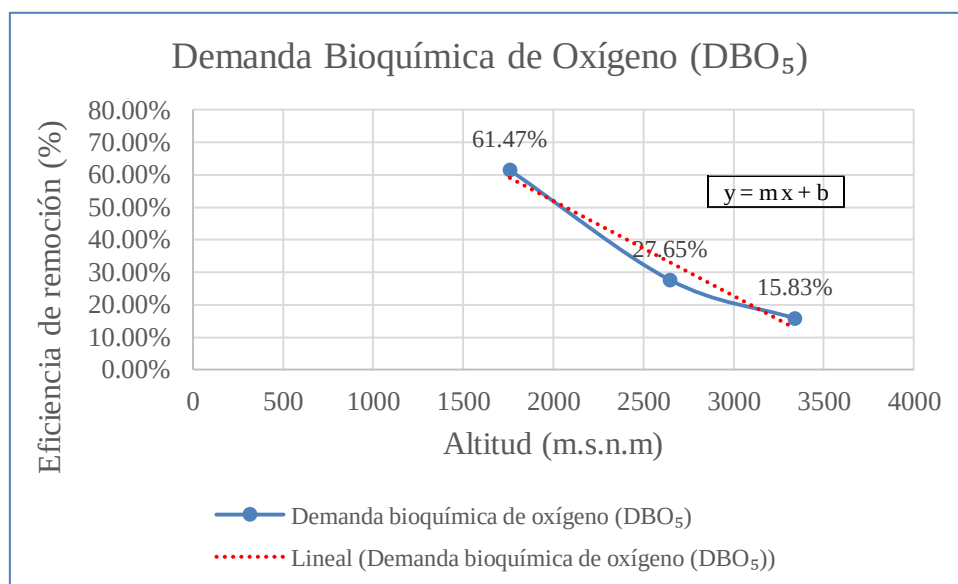


Figura N° 20. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

- La eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO) en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 36.35%, del biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m, es 40.26% y en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m es 53.09%.

Por lo que tenemos la siguiente línea de tendencia:

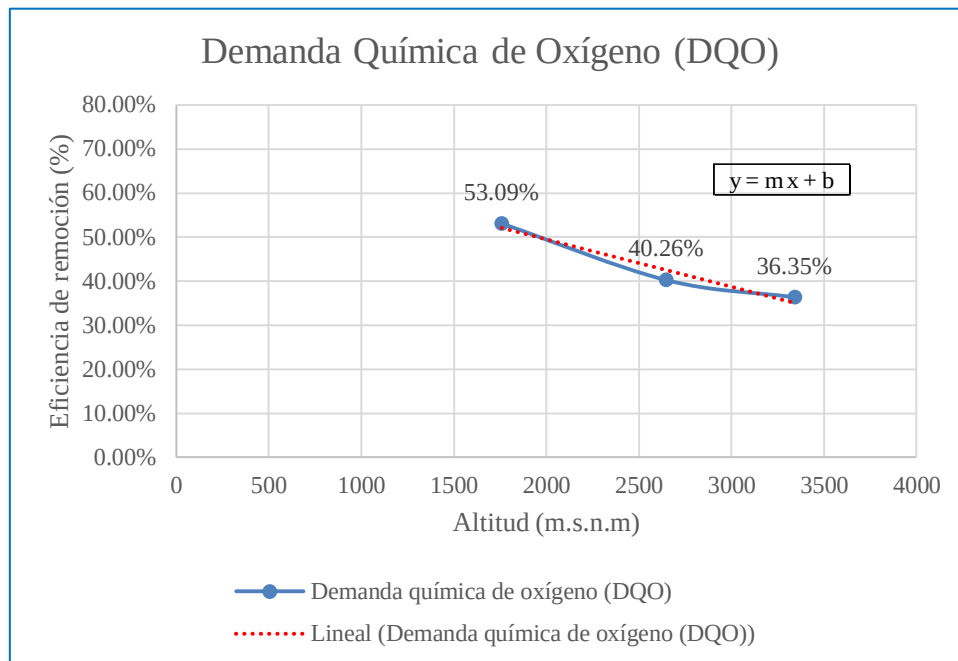


Figura N° 21. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

- La eficiencia de remoción de Coliformes Termotolerantes (CT) en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 62.02%, del biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m, es 72.06% y en el biodigestor ubicado a 1758 m.s.n.m es 94.15%.

Por lo que tenemos la siguiente línea de tendencia:

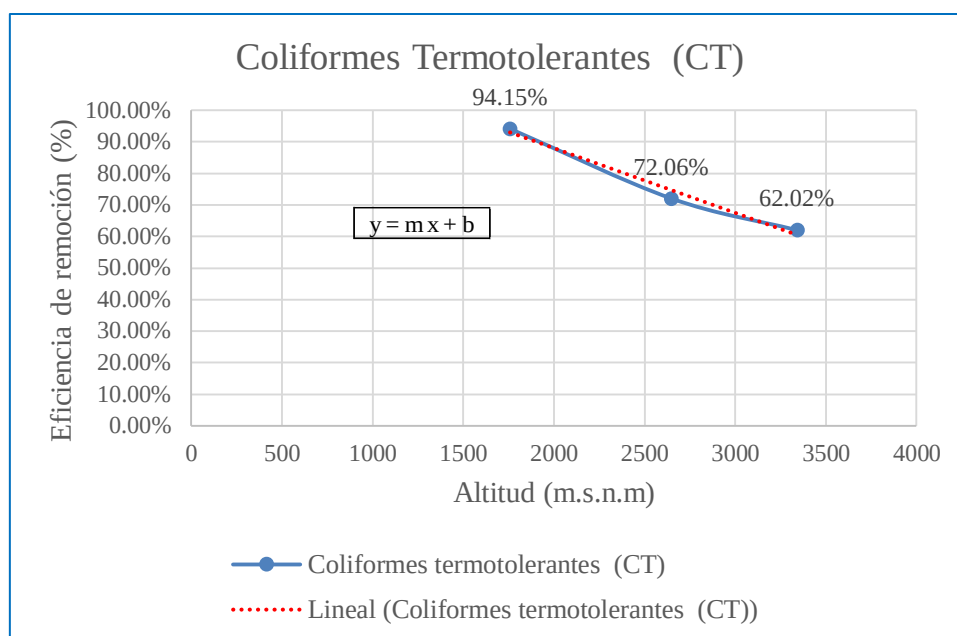


Figura N° 22. Línea de tendencia de la eficiencia de remoción de Coliformes Termotolerantes (CT)

5.8 Comprobación de la hipótesis general

Para contrastar las hipótesis de la investigación se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson relacionando las variables altitud y eficiencia de los biodigestores prefabricados, contando con un nivel de significancia de 0.05.

Hipótesis general

Ha: Los biodigestores prefabricados instalados a mayor altitud logran una menor eficiencia de tratamiento que los instalados a menor altitud en la provincia de Chota.

H0: Los biodigestores autolimpiables instalados a mayor altitud no logran una menor eficiencia de tratamiento que los instalados a menor altitud en la provincia de Chota.

Regla de contraste:

Valor de Sig. > 0.05, se acepta la Ho

Valor de Sig. ≤ 0.05, se rechaza la Ho y por tanto se acepta la hipótesis alterna.

Al realizar el análisis estadístico de la influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores prefabricados ubicados en el centro poblado Santa Isolina, con una altitud de 1755 m.s.n.m; en la comunidad de San Antonio de la Iraca con una altitud de 2678 m.s.n.m y en el sector Conga Chucmar anexo de Pampa Grande, con una altitud de 3340 m.s.n.m; en función a los porcentajes de remoción de demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y Coliformes termotolerantes, se obtuvo el siguiente análisis estadístico.

Tabla N° 21. Relación entre la variable altitud y eficiencia de tratamiento de los biodigestores prefabricados.

		CORRELACIONES			
		Muestra	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Demanda Química de Oxígeno	Coliformes Termotolerantes
Altitud	Correlación de Pearson	1	1.000**	1.000**	-.1.000**
	Sig. (bilateral)		0.00	0.00	0.00
	N	2	2	2	2
** . La correlación es significativa al nivel 0.01 (bilateral).					

La tabla N° 21 muestra el análisis estadístico realizado a las dos variables en estudio obteniendo una correlación significativa de $p = 0.00 < 0.05$, por lo tanto, se acepta la hipótesis alterna, es decir que la altitud influye directamente en la eficiencia de los biodigestores prefabricados, dado que según los resultados obtenidos de los muestreos a mayor altitud logran una menor eficiencia de tratamiento que los instalados a menor altitud. Además, el valor alcanzando $r = -1$ en la eficiencia de remoción de Coliformes termotolerantes, indica una relación lineal perfecta e inversamente proporcional, es decir que a mayor altitud menor eficiencia de remoción de Coliformes termotolerantes; para la remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno el valor alcanzado de la correlación de Pearson es de $r = 1$, indicando una relación lineal directa, es decir que la altitud también influye en ambos parámetros.

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La altitud influye directamente en la eficiencia de los biodigestores prefabricados, considerando que a menor altitud hay mayor eficiencia de tratamiento en los biodigestores prefabricados, con respecto a demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y coliformes termotolerantes.

La concentración de demanda bioquímica de oxígeno promedio, en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 741.6 mg O₂/L en el afluente y de 624.3 mg O₂/L en el efluente, alcanzando el 15.83% de remoción, en el biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m, es 537.5 mg O₂/L en el afluente y de 388.9 mg O₂/L en el efluente, obteniendo el 27.65% de remoción y en el biodigestor autolimpiable ubicado a 1758 m.s.n.m., es 487.9 mg O₂/L en el afluente y de 188.4 mg O₂/L en el efluente, obteniendo el 61.47% de remoción; la concentración de demanda química de oxígeno promedio, en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 1449.8 mg O₂/L en el afluente y de 922.0 mg O₂/L en el efluente, alcanzando el 36.35% de remoción, en el biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m, es 754.4 mg O₂/L en el afluente y de 448.0 mg O₂/L en el efluente, obteniendo el 40.26% de remoción y en el biodigestor autolimpiable ubicado a 1758 m.s.n.m., es 657.3 es mg O₂/L en el afluente y de 304.9 mg O₂/L en el efluente, obteniendo el 53.09% de remoción; la concentración de coliformes termotolerantes promedio, en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es de 3.4E+07 NMP/100mL en el afluente y de 1.3E+07 NMP/100mL en el efluente, obteniendo el 62.02 % de remoción; en el biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m. es de 5.4E+07 NMP/100mL en el afluente y 1.5E+07 NMP/100mL en el efluente; obteniendo el 72.06 % de remoción y en el biodigestor prefabricado ubicado a 1758 m.s.n.m. es de 1.5E+08 NMP/100mL en el afluente y en el efluente 8.8E+06 NMP/100mL, alcanzando el 94.15 % de remoción.

La temperatura interna promedio, en el biodigestor prefabricado ubicado a 3340 m.s.n.m. es 12.51 °C con promedio de 7.66 de pH en el efluente; en el biodigestor prefabricado ubicado a 2647 m.s.n.m. es 25.66 °C con promedio de 7.20 de pH en el efluente y en el biodigestor prefabricado ubicado a 1758 m.s.n.m., es 32.73 °C con promedio de 7.02 de pH en el efluente.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda que los biodigestores prefabricados tengan mayor volumen, una capacidad de 1300 litros, porque los biodigestores estudiados solo tienen una capacidad de 600 litros, uno de los autores menciona que la temperatura marca la actividad de las bacterias, en la cual recomienda que para una temperatura entre 15 - 20°C, se debe dar una retención de 45 – 60 días, ya que mientras más tiempo este el agua residual en el biodigestor prefabricado, más tiempo se tendrá para poderlas remover.

Se recomienda que los proyectos de saneamiento básico incluyan siempre un nutrido Plan de Educación Sanitaria y un Plan de Gestión del Servicio para que la población beneficiaria sea capacitada por un especialista, para que después de la entrega de obra y puesta en marcha del servicio la población conozca como realizar su administración, operación y mantenimiento de todo el sistema de saneamiento.

Consideramos que es importante incluir un manual de operación y mantenimiento del biodigestor, donde se indicarán las actividades del operador, equipo necesario y la frecuencia de limpieza, muestreos y análisis de laboratorio. El operador debe ser un especialista capacitado al respecto, se deben realizar muestreos periódicos y sus respectivos análisis de laboratorio, tanto para la carga de entrada como de la salida del biodigestor, con el fin de evaluar la eficiencia en la remoción de la DQO. DBO5, sólidos totales, coliformes termotolerantes entre otros.

A la población beneficiaria se recomienda fortalecer sus capacidades y competencias para promover la adopción de hábitos y prácticas saludables de higiene, así como lograr la valoración de los servicios de saneamiento para garantizar la sostenibilidad del servicio y por ende mejorar la calidad de vida de la población.

CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Aguilar, A. (2018). “Nivel de eficiencia del sistema de biodigestores en el caserío el Tíngo – Celendín, Cajamarca”, Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil. Universidad Privada del Norte.

ANA (Autoridad Nacional del Agua, PE). 2013. Reglamento para el otorgamiento de autorizaciones de vertimiento y reúso de aguas residuales tratadas. (En línea). Consultado 16 jul. 2018.

Bergamo, C; Monaco, R; Ratusznei, S; Rodrigues, J; Foresti, E; Zaiat, M. 2009. Efecto de la temperatura en diferentes niveles de carga orgánica en el rendimiento de un biorreactor por lotes de secuencia anaeróbica fluidizado de 150 lechos. Ingeniería química y procesamiento 48 (3): 789- 796.

Cabrera, A. y Ortiz, E. 2005. “Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas para la parroquia San Pablo de Lago”. Tesis para Optar el Grado de Ingeniero en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Ibarra, Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Ambientales. Pág. 116.

Campos, E. (2001). Optimización de la digestión anaerobia de purines de cerdo mediante codigestión con residuos de la industria alimentaria. Tesis Doctoral. Universidad de Lleida.

Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: A review. Bioresour. Technol. 99.

Crites y Tchobanoglous. (2002). Tratamiento de las aguas residuales en pequeñas poblaciones. Colombia: Edit. Mc Graw-Hill.

Centro Superior de Investigaciones Científicas. (2013). Digestion Anaerobia. Madrid España.

Cubillos, D. Y Huertas, 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 grado. Universidad de Santo Tomás.

DRVCS (Dirección Regional de Vivienda Construcción y Saneamiento - Cajamarca). (2018). Plan Regional de Saneamiento Cajamarca 2018 – 2021. Medaly Villalobos

Expediente Técnico de la Obra: “Mejoramiento y Ampliación del Servicio de Agua Potable y Saneamiento Básico Rural en las comunidades de San Antonio de la Iraca, Saca Sacas, Corralillo y Sitacucho, distrito de Chota, provincia de Chota – Cajamarca”, 2019.

Ficha Técnica Biodigestor Prefabricado Rotoplas, 2014

Gálvez, F. (2007). Diseño de Planta de tratamiento de aguas residuales sector cuatro caminos del municipio de Santa Pínula, Tesis de grado para optar el título de ingeniero civil, universidad San Carlos. Guatemala.

Garcia, G. (2016). Diseño de un biodigestor para el mejoramiento de las aguas residuales en la parroquia de Tumbaco ejemplificando en los barrios Tola Chica, Tola Grande y Santa Rosa. Tesis para obtención del título profesional. Universidad de San Francisco de Quito.

Goicochea, E. (2022). “Influencia de la altitud en la eficiencia de tratamiento de los biodigestores autolimpiables en la provincia de Celendin”, para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Cajamarca.

González, J. y Simeon, R. 2018. “Eficiencia de los biodigestores prefabricados en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Ñausilla”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Civil. Huánuco, Universidad Nacional Hermilio Valdizán.

León, E. 2018. “Evaluación de la eficiencia de los biodigestores en el tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la localidad de Chimbaya Baja – Torata - Moquegua”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Agrícola. Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería Agrícola.

Mancha, R. 2015. “Evaluación de la eficiencia del funcionamiento del biodigestor autolimpiable en el centro poblado de Sanquira – Yunguyo”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Agrícola. Puno, Universidad Nacional del Altiplano. Facultad de Ingeniería Agrícola.

Mejía, F. y Pérez, K. 2016. “Eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas mediante un biodigestor prefabricado en la subestación eléctrica Cotaruse - Apurímac”. Tesis para optar el grado académico de Ingeniero Agrónomo e Ingeniero Ambiental respectivamente. Lima, Universidad Nacional Agraria la Molina. Ciclo Optativo de Especialización y Profesionalización en Gestión de Calidad y Auditoría Ambiental.

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 para optar el título profesional de ingeniero forestal y ambiental. Universidad Nacional Autónoma de Chota.

Muñoz Valero, J. A. Ortiz Cañabate. J Vazquez Minguela (1987) Tecnicas y aplicaciones agrícolas de la biometanización. Serie Técnica Ministerio de Agricultura . Pesca y alimentación. Madrid.

NICOLL. (2020). Tríptico Biodigestor Nicoll para Tratamiento de Agua Residual.

Nina Mamani, R. S. 2015. Evaluación de biodigestor de polietileno rotoplástico en el tratamiento de agua residual doméstica y propuesta de diseño de biofiltro en la comunidad de Oquebamba - Espina. Universidad Nacional del Altiplano.

Osorio, J; Ciro, H; Gonzales, H. 2007. Evaluación De Un Sistema de Biodigestión en Serie para Clima Frío. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín. 60 (2): 4145-4162.

Parra Rodriguez, L. M. (2006). Operación de un Filtro Anaerobico de flujo ascendente (FAFA) hasta alcanzar el estado estable. Tesis de grado, universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Manizales Colombia.

Plan Nacional de Saneamiento 2006-2015./2006./Decreto supremo N°007-2006-Vivienda/Lima, PE/s.e./p.5

Quipuzco. (2012). Propuesta para la obtención del biogás para los criadores caprinos y porcinos Tesis Universidad de Medellín. Medellín Colombia.

Ramallo, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales y Calidad de las Aguas. Editorial Reverté, S.A. Segunda Edición. España. Pág. 697.

Rojas, R. 2002. Sistemas de tratamiento de aguas residuales. Curso Internacional “Gestión Integral de tratamiento de aguas residuales”. Curso Internacional. Brasil: Cepis.

Romero, J. 2004. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.

Santa, U. N. (2007). Implementación del Programa Nacional de Agua y Saneamiento Rural en la Localidad de Pacracallan, Departamento de Ancash. Ancash Perú.

Scanlan, ChM. 1991. Introducción a la Bacteriología Veterinaria. Editorial Acribia.v Zaragoza. España.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú).2021.

Van Haandel, A; Lettinga G. 1994 Tratamiento Anaeróbico de Esgotos. Editora EPGRAF. Campina Grande, Brasil.

Werner, U; Stöhr, U; Hees, N. 1989. Plantas de biogás en ganadería. Una publicación del Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien-GATE, una división de la Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH

Linkografía:

Benítez Rodas, GA. (2013). Análisis y modelización de la inactivación de escherichia coli en aguas residuales. . (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: <http://mail.conacyt.gov.py/proniii/2955172.pdf>

CENTA (Centro de las nuevas tecnologías del agua de sevilla). 2008. Manual de depuración de aguas residuales. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>

Cubillos, JA. 1970. Lagunas de Estabilización, su eficiencia en la remoción de materia orgánica y microorganismos en las condiciones del trópico universidad del valle Cali. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/011643/011643-09.pdf>

Hernandez, A. 1992. Depuración de Aguas Residuales. Madrid. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>

Luostarinen, S. 2005. Tratamiento anaeróbico de aguas residuales en sitio a baja temperatura. (en línea). Universidad de Jyväskylä. Consultado 10 jun. 2019. Disponible en <http://dissertations.jyu.fi/studbiol/951392274X.pdf>

Metcalf y Eddy. 2004. Wastewater engineering, treatment and reuse. (En línea). Consultado 06 ago. 2016. Disponible en: http://www.mumbaiddp24seven.in/reference/Ch_1WastewaterEngineering4thed_byMetcalfandEddy.pdf

MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, PE). (2006). Norma OS 090. Plantas de tratamiento de aguas residuales. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf.

OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, PE). 2014. Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales. (En línea). Consultado 18 de mar. 2018. Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

Olivos, O.E. 2010. Características de las aguas residuales. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: <http://www.uap.edu.pe/intranet/fac/material/24/20102BT240224E10240108011/20102BT240224E1024010801117880.pdf>

PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y UN-Hábitat (Programa de Asentamientos Humanos de las Naciones Unidas). 2010. Sick Water: The Central Role of Wastewater Management in Sustainable Development. (En línea). Consultado 16 Jul. 2016. Disponible en: http://www.unep.org/pdf/SickWater_screen.pdf

Ramírez, CA. 2005. Manual de procedimientos hidrométricos. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: http://www.sensorvital.com/archivos/menu_4/17.pdf

Rodríguez, J. y Durand, C. 2006. Remoción del nitrógeno en un sistema de tratamiento de aguas residuales usando humedales artificiales de flujo vertical a escala de banco. (En línea). Consultado 16 jul. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48221104>

Romero, M.; Colín, A.; Sánchez, E. y Ortiz, L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. (En línea). Consultado 26 ago. 2016. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37012012004>

Rosenkranz, F. 2013. Estudio del comportamiento de reactores anaerobios de tipo asbr frente a compuestos de difícil degradación y/o efectores negativos. Chile. (En línea). Consultado 06 Mar. 2019. Disponible en: http://www.usc.es/biogroup/sites/default/files/Tesis_doctoral_F.Rosenkranz.pdf

Sánchez. 2011. Sistemas alternativos de agua y saneamiento. Colombia.

SUNAAS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento). 2013. Las EPS y su desarrollo. (En línea). Consultado 16 jul. 2016. Disponible en: http://www.sunass.gob.pe/doc/eps_desarrollo_2013.pdf

Yapu, C. (2018). Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas a través de un biodigestor anaerobio en la comunidad de Altamarani del municipio de San Buenaventura. Tesis para obtención del título profesional. Universidad Mayor de San Andrés. <https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/18238>

CAPÍTULO VIII. ANEXOS

ANEXO N°01. Panel Fotográfico



Figura N° 23. Identificación de los puntos de monitoreo BP1 y BP2.



Figura N° 24. Identificación de los puntos de monitoreo BP3 y BP4.



Figura N° 25. Identificación de los puntos de monitoreo BP5 y BP6.



Figura N° 26. Cooler con envases enviado por el laboratorio regional del agua para la toma de muestras.



Figura N° 27. Unidad Básica de Saneamiento (UBS) ubicada a 1757 m.s.n.m donde estará ubicado el punto de monitoreo BP1.



Figura 28. Caja de registro de la UBS, donde se realizará la toma de muestras del afluente.



Figura 29. Toma de muestras para DBO_5 en el afluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 30. Envase para la toma de muestra para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 31. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 32. Muestra tomada para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 33. Toma de muestras para DQO en el afluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 34. Toma de muestras para DBO₅ en el efluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 35. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el efluente del punto de monitoreo BP1.



Figura 36. Toma de muestras para Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP4 a 2641 m.s.n.m.



Figura 37. Muestra para análisis de Coliformes Termotolerantes en el afluente del punto de monitoreo BP4 a 2641 m.s.n.m.



Figura 38. Verificación de la altitud con GPS Garmin para la toma de muestras en el afluente y efluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.



Figura 39. Toma de muestras para DBO₅ en el afluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.



Figura 40. Toma de muestras para DQO en el afluente del punto de monitoreo BP6 a 3342 m.s.n.m.

ANEXO N°02. Informes de Ensayo de Laboratorio

INFORME DE ENSAYO N° IE 01250074

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **20.01.25** Hora de Muestreo **11:30 a 18:00**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 0074 - 25**

Fecha y Hora de Recepción **21.01.25 11:05** Inicio de Ensayo **21.01.25 11:30**

Reporte Resultado **02.02.25 17:10**



Firado digitalmente por NEYRA JAICO
Escribiendo Miguel FAU 20453' 44168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 02/02/2025 06:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 02 de Febrero de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 01250074

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	418.2	116.1	513.7	316.6	736.2	629.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	893.0	169.0	728.0	371.0	1616.0	850.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ⁷	92 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	16 x 10 ⁶	33 x 10 ⁶	93 x 10 ⁵

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 02/02/2025 06:03 p. m.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 02/02/2025 05:53 p. m.

Cajamarca, 02 de Febrero de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 01250074

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 02 de Febrero de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 02/02/2025 06:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 01253272

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **21.01.25** Hora de Muestreo **10:20 a 11:40**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 3272 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **22.01.25 09:00** Inicio de Ensayo **22.01.25 10:30**

Reporte Resultado **03.02.25 15:10**



Firado digitalmente por NEYRA JAICO
Escribiendo Miguel FAU 20453' 44168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 03/02/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 03 de Febrero de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 01253272

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	508.1	196.2	553.2	434.2	771.8	602.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	263.0	341.0	783.0	544.0	1619.0	956.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	17 x 10 ⁷	86 x 10 ⁵	55 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶	32 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 03/02/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 03/02/2025 05:23 p. m.

Cajamarca, 03 de Febrero de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 01253272

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 03 de Febrero de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 03/02/2025 05:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 02250718

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **16.02.25** Hora de Muestreo **09:30 a 12:00**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 0718 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **17.02.25 11:05** Inicio de Ensayo **17.02.25 11:30**

Reporte Resultado **26.03.25 16:10**



Firado digitalmente por NEYRA JAICO
Escribiendo Miguel FAU 20453' 44168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 26/03/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 26 de Marzo de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 02250718

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	491.0	174.2	527.1	418.7	727.5	621.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	527.0	284.0	797.0	261.0	1235.0	947.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	14 x 10 ⁷	90 x 10 ⁵	53 x 10 ⁶	15 x 10 ⁶	34 x 10 ⁶	92 x 10 ⁵

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 26/03/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 26/03/2025 05:53 p. m.

Cajamarca, 26 de Marzo de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 02250718

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 26 de Marzo de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 26/03/2025 06:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 02250721

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **17.02.25** Hora de Muestreo **10:35 a 11:30**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 0721 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **18.02.25 09:00** Inicio de Ensayo **18.02.25 10:30**

Reporte Resultado **27.03.25 15:10**



Fir ado digitalmente por NEYRA JAICO
Ec er Miguel FAU 20453' 44168 soft
Mctivo: Soy el autor del di cumento
Fe ha: 27/03/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 27 de Marzo de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 02250721

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	496.3	193.2	562.7	464.8	703.2	612.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	662.0	341.0	808.0	407.0	954.0	459.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	16 x 10 ⁷	82 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	14 x 10 ⁶	35 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 27/03/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 27/03/2025 05:23 p. m.

Cajamarca, 27 de Marzo de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 02250721

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 27 de Marzo de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 27/03/2025 06:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 03251621

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **26.03.25** Hora de Muestreo **09:30 a 11:00**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 1621 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **27.03.25 10:05** Inicio de Ensayo **27.03.25 11:30**

Reporte Resultado **10.04.25 15:10**



Fir ado digitalmente por NEYRA JAICO
Ec er Miguel FAU 20453' 44168 soft
Mk tivo: Soy el autor del di cumento
Fe ha: 10/04/2025 04:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 10 de Abril de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 03251621

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	490.5	208.1	516.1	332.6	774.9	609.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	764.0	357.0	816.0	442.0	2037	882.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	15 x 10 ⁷	87 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	14 x 10 ⁶	35 x 10 ⁶	12 x 10 ⁶

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 10/04/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por
LOPEZ LEON Freddy Humberto
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 10/04/2025 05:53 p. m.

Cajamarca, 10 de Abril de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 03251621

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 10 de Abril de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 10/04/2025 06:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 03251624

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **27.03.25** Hora de Muestreo **10:32 a 11:40**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 1624 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **28.03.25 09:30** Inicio de Ensayo **28.03.25 10:40**

Reporte Resultado **12.04.25 14:10**



Firado digitalmente por NEYRA JAICO
Escribiendo Miguel FAU 20453' 44168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 12/04/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 12 de Abril de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 03251624

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	498.2	206.1	557.2	473.1	694.7	580.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	667.0	371.0	612.0	437.0	1313.0	956.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	15 x 10 ⁷	87 x 10 ⁵	55 x 10 ⁶	16 x 10 ⁶	36 x 10 ⁶	13 x 10 ⁶

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 12/04/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 12/04/2025 05:33 p. m.

Cajamarca, 12 de Abril de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 03251624

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

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

✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.

✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditacion otorgada por INACAL-DA.

✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de acreditado emitida en este informe, por parte del cliente.

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 12 de Abril de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 12/04/2025 06:14 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 04250812

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección **-**

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **24.04.25** Hora de Muestreo **10:35 a 11:30**

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

Procedimiento de Muestreo **-**

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 0812 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **25.04.25 09:02** Inicio de Ensayo **25.04.25 10:30**

Reporte Resultado **07.05.25 15:10**



Firado digitalmente por NEYRA JAICO
Escribiendo Miguel FAU 20453' 44168 soft
Motivo: Soy el autor del documento
Fecha: 07/05/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 07 de Mayo de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 04250812

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	498.1	220.2	532.1	364.2	760.1	673.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	472.0	286	954.0	549.0	1754.0	1530.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	14 x 10 ⁷	91 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	15 x 10 ⁶	35 x 10 ⁶	17 x 10 ⁶

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 07/05/2025 03:03 p. m.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 07/05/2025 04:53 p. m.

Cajamarca, 07 de Mayo de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 04250812

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 07 de Mayo de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 07/05/2025 06:04 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**

INFORME DE ENSAYO N° IE 04250814

DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **JORGE CASTILLO ROJAS**

Dirección -

Persona de contacto **JORGE CASTILLO ROJAS** Correo electrónico josejorgecastillorojas@gmail.com

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **25.04.25** Hora de Muestreo **09:32 a 10:40**

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

Procedimiento de Muestreo -

Tipo de Muestreo **Puntual**

Número de puntos de muestreo **06**

Ensayos solicitados **Fisicoquímicos- Microbiológicos**

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

Referencia de la Muestra: **Chota**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-093** Cadena de Custodia **CC - 0814 - 23**

Fecha y Hora de Recepción **26.04.25 09:30** Inicio de Ensayo **26.04.25 10:40**

Reporte Resultado **09.05.25 16:10**



Fir ado digitalmente por NEYRA JAICO
Ec er Miguel FAU 20453' 44168 soft
Mctivo: Soy el autor del di cumento
Fe ha: 09/05/2025 05:08 p.m.

Edder Neyra Jaico
Responsable de Laboratorio
CIP: 147028

Cajamarca, 09 de Mayo de 2025

INFORME DE ENSAYO N° IE 04250814

ENSAYOS			Químicos Instrumentales- Fisicoquímicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados de Químicos Instrumentales y Fisicoquímicos					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O2/L	2.6000	502.6	193.1	537.6	367.2	764.6	667.1
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O2/L	3.5000	742.0	368.0	537.0	367.2	1427.0	796.0

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

ENSAYOS			Microbiológicos					
Código de la Muestra			P1 Afluente	P1 Efluente	P2 Afluente	P2 Efluente	P3 Afluente	P3 Efluente
Código Laboratorio			02230074-01	02230074-02	02230074-03	02230074-04	02230074-05	02230074-06
Matriz			Residual	Residual	Residual	Residual	Residual	Residual
Descripción			Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica
Localización de la Muestra			Cochabamba	Cochabamba	San Antonio	San Antonio	Tacabamba	Tacabamba
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados Microbiológicos					
Coliformes Termotolerantes	NMP/ 100mL	1.8	14 x 10 ⁷	90 x 10 ⁵	54 x 10 ⁶	14 x 10 ⁶	34 x 10 ⁶	94 x 10 ⁵

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

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA



Firmado digitalmente por COLINA VENEGAS Juan Jose FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 09/05/2025 04:03 p. m.



Firmado digitalmente por LOPEZ LEON Freddy Humberto FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de conformidad
Fecha: 09/05/2025 05:33 p. m.

Cajamarca, 09 de Mayo de 2025

INFORME DE ENSAYO N°

IE 04250814

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Oxígeno Disuelto (OD)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-O C, 23rd Ed. 2017: Oxygen (Dissolved). Azide Modification.
Coliformes Termotolerantes	NMP/100mL	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A,B,C,E. 23rd Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.

NOTAS FINALES

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 09 de Mayo de 2025



Firmado digitalmente por
COLINA VENEGAS Juan Jose
FAU 20453744168 soft

Motivo: Visto en señal de
conformidad
Fecha: 09/05/2025 06:14 p. m.

**LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA**