

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



**PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL REACTOR**  
**ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS**  
**RESIDUALES DE CELENDÍN**

**TESIS**

PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER:

**DEIVIS EIDAN DÍAZ PÉREZ**

ASESOR:

**M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

CAJAMARCA – PERÚ

2026



## CONSTANCIA DE INFORME DE ORIGINALIDAD

1. Investigador:  
**DEIVIS EIDAN DÍAZ PÉREZ**  
DNI N° 48635147  
Escuela Profesional/Unidad UNC:  
**DE INGENIERÍA AMBIENTAL**
2. Asesor:  
**ING° M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**  
Facultad/Unidad UNC:  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**
3. Grado Académico o título profesional:  
 Bachiller       Título profesional       Segunda especialidad  
 Maestro       Doctor
4. Tipo de investigación:  
 Tesis       Trabajo de investigación       Trabajo de suficiencia profesional  
 Trabajo académico
5. Título del trabajo de investigación:  
**“PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN”**
6. Fecha de evaluación: 05/02/2025
7. Software antiplagio:  TURNITIN       URKUND (ORIGINAL) (\*)
8. Porcentaje de Informe de Similitud: 19%
9. Código documento:
10. Resultado de la evaluación de Similitud:  
 APROBADO       PARA LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES O DESAPROBADO

Fecha de Emisión: 01/06/2026

<i>Firma y/o Sello Emisor Constancia</i>
 ..... <b>ING° M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA</b> DNI: 40432609

\*En caso se realizó la evaluación hasta setiembre de 2023



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"**

Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

Secretaría Académica



## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los once días del mes de marzo del año dos mil veintiséis, se reunieron en el aula 102 de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental - Sede Celendín, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 031-2026-FCA-UNC**, de fecha 12 de enero del 2026, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE MATERIA ORGÁNICA DEL REACTOR ANAEROBIO DE FLUJO ASCENDENTE DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN"**, realizada por la Bachiller **DEIVIS EIDAN DÍAZ PÉREZ** para optar por el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **NUEVE** horas con **CINCO** minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el presidente del Jurado anunció la **APROBACIÓN** por **UNANIMIDAD** con calificativo de **QUINCE (15)** por tanto, el Bachiller queda expedido para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las **DIEZ** horas y **DIEZ** minutos del mismo día, el presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

Ing° M. Cs. Edgar Darwin Díaz Mori  
PRESIDENTE

Ph.D. Manuel Roberto Roncal Rabanal  
SECRETARIO

Ing. M. Cs. Adolfo Máximo López Aylas  
VOCAL

Ing° M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna  
ASESOR

COPYRIGHT © 2026 by  
DEIVIS EIDAN DIAZ PEREZ  
Todos los derechos reservados

## DEDICATORIA

Esta investigación la dedico a Dios, quien me dio la fortaleza para no rendirme y seguir a paso firme en el maravilloso camino hacia la superación, por brindarme salud para poder alcanzar mis metas como persona y como profesional, por darme la sabiduría para enfrentar y superar las dificultades que se presentan en el trayecto de mi vida.

A mis padres Carlos Díaz y Eyla Pérez, a mis hermanos Jhovana, Beydi y Nilvia Díaz Pérez, además a mis tíos quienes considero mis segundos padres Evelio Vallejos y Reyna Mejía por brindarme su apoyo económico como emocional a lo largo de mi trayectoria, porque han sido un sustento para poder culminar mi carrera profesional, sin ellos no habría podido realizarme como persona y como profesional.

A mi sobrina Crysel Nayobi Gutierrez Díaz por ser mi mayor motivación con la llegada a este mundo y por ser quien sigue mis pasos, a mis amigos, compañeros, y docentes por compartir sus conocimientos y experiencias.

A mi abuelita de mi corazón Hermelinda Chaves Barboza, quien me han enseñado a ser la persona que soy hoy, con principios, valores, perseverancia y empeño. Todas estas enseñanzas con una enorme dosis de amor.

También quiero dedicarle esta investigación a mi novia Madali Castañeda Bustamante. Por su paciencia, comprensión, fortaleza y amor. Nunca dejaré de estar agradecido por iluminar mi vida con tu presencia.

¡Les agradezco profundamente a todos ustedes!

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, les agradezco a mis padres, hermanos, tíos y primos que siempre me han brindado su apoyo incondicional para poder cumplir todos mis objetivos personales y académicos. Ellos son los que con su cariño me han impulsado siempre a perseguir mis metas y nunca abandonarlas frente a las adversidades. También son los que me han brindado el soporte material y económico para poder concentrarme en los estudios y nunca abandonarlos.

A mi asesora Ing. M. Cs. Giovana E. Chavez Horna, por su apoyo desinteresado que me brindó en la realización de esta investigación, por sus consejos claros y explícitos, por su tiempo y su experiencia al momento de desarrollar esta investigación

## ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
RESUMEN.....	XIII
ABSTRACT.....	XIV
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO II .....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....	3
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	3
2.2. Bases Teóricas .....	6
2.2.1. Digestión anaerobia .....	6
2.2.2. Etapas del proceso anaerobio .....	6
2.2.3. Factores que influyen en el proceso anaerobio .....	7
2.2.4. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) .....	12
2.2.5. Configuración de un reactor anaerobio de flujo ascendente .....	12
2.2.6. Características de aguas residuales .....	13
2.2.7. Carga orgánica .....	13

2.2.8. Características del diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente de la ciudad de Celendín .....	17
2.2.9. Remoción de materia orgánica .....	19
2.2.10. Relación entre DBO5/DQO .....	19
2.3. Definición de Términos Básicos .....	20
2.3.1. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) .....	20
2.3.2. Porcentaje de remoción .....	20
2.3.3. Digestión anaerobia.....	20
2.3.4. Eficiencia de tratamiento .....	20
CAPÍTULO III.....	21
MATERIALES Y MÉTODOS .....	21
3.1. Localización de la Investigación .....	21
3.2. Materiales .....	21
3.3. Ubicación y Descripción de Los Puntos de Muestreo.....	23
3.3.1 Croquis y diseño del tratamiento.....	24
3.3.2. Procedimiento .....	28
3.3.3. Metodología.....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5) .....	33

4.2. Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) .....	35
4.3. Demanda química de oxígeno (DQO).....	37
4.4. Porcentaje de Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	39
4.5. Parámetros de Campo.....	41
4.5.1. <i>Oxígeno disuelto</i> .....	41
4.5.2. <i>Temperatura</i> .....	43
4.5.3. <i>pH</i> .....	45
4.5.4. <i>Relación entre DBO5/DQO</i> .....	47
4.5.5. <i>Relación entre la temperatura y la DBO5</i> .....	48
4.5.6. <i>Valores de los coeficientes cinéticos en los RAFA</i> .....	49
4.5.7. <i>Determinación de materia orgánica.</i> .....	51
CAPÍTULO V .....	52
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
5.1. Conclusiones .....	52
5.2. Recomendaciones.....	53
CAPÍTULO VI.....	54
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
CAPÍTULO VII.....	65
ANEXOS.....	65

ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia. ....	66
ANEXO 2. Cálculos de los resultados.....	66
ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo.....	68
ANEXO 4. Panel fotográfico.....	70
ANEXO 5. Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. ....	76
ANEXO 6. Resultados de los análisis del Laboratorio Regional del Agua.....	81

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Método del cuadrado de primer orden</i> .....	11
<b>Tabla 2.</b> <i>Valores típicos de los coeficientes para procesos de lodos activos para aguas residuales</i> .....	12
<b>Tabla 3.</b> <i>Resumen de bases de diseño del RAFA</i> .....	17
<b>Tabla 4.</b> <i>Datos Básicos de diseño de la PTAR de Celendín</i> .....	18
<b>Tabla 5.</b> <i>Características físicas de la PTAR de Celendín</i> .....	18
<b>Tabla 6.</b> <i>Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO<sub>5</sub>/DQO</i> .....	20
<b>Tabla 7.</b> <i>Niveles y repeticiones por muestreo</i> .....	24
<b>Tabla 8.</b> <i>Frecuencia de muestreo.</i> .....	33
<b>Tabla 9.</b> <i>Volumen de muestra y reactivos de preservación.</i> .....	31
<b>Tabla 10.</b> <i>Método del ensayo para la DBO<sub>5</sub> y DQO</i> .....	32
<b>Tabla 11.</b> <i>Esquema del análisis de varianza del diseño completamente al azar</i> .....	34
<b>Tabla 12.</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</i> .	36
<b>Tabla 13.</b> <i>Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</i> .....	36
<b>Tabla 14.</b> <i>Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)</i> .....	37
<b>Tabla 15.</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda química de oxígeno (DQO)</i> .....	40
<b>Tabla 16.</b> <i>Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para la demanda química de oxígeno (DQO)</i> .....	41
<b>Tabla 17.</b> <i>Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)</i> .....	41
<b>Tabla 18.</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD)</i> .....	44
<b>Tabla 19.</b> <i>Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para oxígeno disuelto (OD)</i> .....	45

<b>Tabla 20.</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C)</i> .....	46
<b>Tabla 21.</b> <i>Análisis de varianza (ANOVA) para el pH</i> .....	48
<b>Tabla 22.</b> <i>Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para pH</i> .....	48
<b>Tabla 23.</b> <i>Relación entre DBO5/DQO</i> .....	49
<b>Tabla 24.</b> <i>Coefficiente cinético de DBO5</i> .....	51
<b>Tabla 25.</b> <i>Materia orgánica</i> .....	53
<b>Tabla 26.</b> <i>Matriz de consistencia</i> .....	67
<b>Tabla 27.</b> <i>Tabla de muestreos preprueba</i> .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>página</b>
<b>Figura 1.</b> Esquema del reactor anaerobio de flujo ascendente. ....	13
<b>Figura 2.</b> Ubicación del proyecto de investigación .....	23
<b>Figura 3.</b> Croquis del sistema de tratamiento .....	25
<b>Figura 4.</b> Diseño del RAFA .....	26
<b>Figura 5.</b> Corte del diseño del RAFA 1 .....	27
<b>Figura 6.</b> Corte del diseño del RAFA 2 .....	28
<b>Figura 7.</b> Puntos de monitoreo en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) .....	30
<b>Figura 8.</b> Demanda bioquímica de oxígeno en promedio .....	35
<b>Figura 9.</b> Demanda química de oxígeno en promedio .....	39
<b>Figura 10.</b> Oxígeno disuelto en promedio. ....	43
<b>Figura 11.</b> Temperaturas en promedio .....	46
<b>Figura 12.</b> pH en promedio .....	47
<b>Figura 13.</b> Relación entre la temperatura con la DBO <sub>5</sub> . ....	50

## RESUMEN

El presente estudio tuvo como objetivo determinar el porcentaje de remoción de materia orgánica en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. La investigación fue de tipo no experimental y se aplicó un análisis de variación aleatorio de un factor con un nivel de confianza del 95%. La población de estudio estuvo constituida por el agua residual que ingresa y sale del RAFA. La muestra estuvo conformada por 30 tomas de agua residual, distribuidas en tres puntos de muestreo: M1 (afluente) con 10 muestras, M2 y M3 (efluentes del RAFA) con 10 muestras cada uno. Para la medición se emplearon instrumentos de campo (multiparámetro, para oxígeno disuelto, pH; termómetro para medir la temperatura in situ y el caudal se midió usando el método del flotador) y métodos de laboratorio estandarizados para la determinación de DBO<sub>5</sub> y DQO. Los resultados evidencian que la concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (M1) fue de 368.49 mg O<sub>2</sub>/L, mientras que en los efluentes M2 y M3 se registraron valores de 217.70 y 251.74 mg O<sub>2</sub>/L, respectivamente, con eficiencias de remoción entre 31.68% (M3) y 40.92% (M2). En cuanto a la DQO, el afluente presentó 639.43 mg O<sub>2</sub>/L, y los efluentes M2 y M3 mostraron concentraciones de 427.30 y 479.22 mg O<sub>2</sub>/L, con eficiencias de 33.17% (M2) y 25.60% (M3). Se observó un incremento del oxígeno disuelto desde 0 mg/L en el afluente hasta 2.73 mg/L en el efluente M3. La temperatura promedio fue de 19.8 °C, el pH de 8.07, el caudal medio de 58.85 L/s y el TRH promedio de 3.34 h. Se concluye que el punto M2 (RAFA 1) presentó la mayor eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO; sin embargo, el desempeño global del RAFA resulta insuficiente para la biodegradación de la materia orgánica, al no cumplir con las bases de diseño establecidas para este tipo de reactor.

**Palabras clave:** constituyentes orgánicos, RAFA, remoción, biodegradabilidad, TRH.

## ABSTRACT

The present study aimed to determine the percentage of organic matter removal in the Upflow Anaerobic Sludge Blanket reactor (UASB) of the wastewater treatment plant in Celendín. The research was conducted under a non-experimental design, and a one-factor analysis of variance was applied with a 95% confidence level. The study population consisted of the wastewater entering and leaving the UASB of the Celendín WWTP. The sample comprised 30 wastewater samples distributed across three sampling points: M1 (influent) with 10 samples, and M2 and M3 (UASB effluents) with 10 samples each. Field instruments (dissolved oxygen meter, pH meter, thermometer, and flow meter) and standardized laboratory methods were used to determine BOD<sub>5</sub> and COD. Results showed that the BOD<sub>5</sub> concentration in the influent (M1) was 368.49 mg O<sub>2</sub>/L, while the effluents M2 and M3 registered values of 217.70 and 251.74 mg O<sub>2</sub>/L, respectively, with removal efficiencies between 31.68% (M3) and 40.92% (M2). Regarding COD, the influent presented 639.43 mg O<sub>2</sub>/L, whereas effluents M2 and M3 showed concentrations of 427.30 and 479.22 mg O<sub>2</sub>/L, with removal efficiencies of 33.17% (M2) and 25.60% (M3). Field parameters indicated an increase in dissolved oxygen from 0 mg/L in the influent to 2.73 mg/L in effluent M3. The average temperature was 19.8 °C, pH averaged 8.07, the mean flow rate was 58.85 L/s, and the average hydraulic retention time was 3.34 h. It is concluded that point M2 (UASB 1) showed the highest removal efficiency for BOD<sub>5</sub> and COD. However, the overall performance of the UASB was insufficient for effective organic matter biodegradation, as it does not meet the established design criteria for this type of reactor.

**Keywords:** organic constituents, RAFA, removal, biodegradability, TRH.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

Según CONAGUA (2015) el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) es una tecnología de tratamiento de aguas residuales que emplea una biopelícula fija para la eliminación de la materia orgánica en condiciones anaerobias. Este proceso se caracteriza por la descomposición de los contaminantes orgánicos mediante la acción de microorganismos, generando como subproductos gases como  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$  y  $\text{H}_2\text{S}$ , propios de la digestión anaerobia. Durante el tratamiento, las aguas residuales ingresan al reactor y entran en contacto directo con el manto de lodos, donde se desarrolla la actividad biológica responsable de la depuración.

En los últimos años, los sistemas anaerobios han despertado creciente interés entre ingenieros y gestores públicos. En particular, el RAFA ha sido implementado con éxito en países tropicales y ha mostrado resultados alentadores en regiones subtropicales y templadas (Gaviria et al., 2014) Asimismo, (Larrotta et al., 2019) evaluaron cuatro reactores en paralelo de 40 m de largo, 20 m de ancho y 4.1 m de profundidad, ubicados a 900 msnm y operando entre 20 y 30 °C durante nueve años, logrando tratar un caudal de 500 L/s con eficiencias de remoción de 66% para la  $\text{DBO}_5$ , 52% para la DQO y 60% para sólidos en suspensión, con tiempos de retención hidráulica entre 7 y 8 horas.

En este contexto, la ciudad de Celendín cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) conformada por reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA) y una laguna facultativa, cuyo propósito es eliminar contaminantes mediante procesos físicos,

químicos y biológicos antes de su descarga al río Grande de Celendín (GORE Cajamarca, 2007) No obstante, en esta PTAR existe limitada información actualizada sobre la eficiencia de remoción de materia orgánica del sistema RAFA/UASB.

Además, los reactores de  $17\text{ m} \times 7\text{ m}$  y  $5.2\text{ m}$  de profundidad neta operan con cargas de ingreso de hasta  $588\text{ mg/L}$  de  $\text{DBO}_5$  y  $650\text{ mg/L}$  de DQO, un caudal aproximado de  $70\text{ L/s}$  y un TRH cercano a  $8\text{ h}$ , condiciones que podrían estar superando el diseño. A ello se suman factores locales como temperaturas mínimas de  $6.8\text{ }^\circ\text{C}$  y una altitud superior a  $2625\text{ msnm}$ , que pueden afectar la eficiencia del proceso anaerobio. De hecho, estudios previos en la PTAR de Celendín han evidenciado deficiencias en la remoción de contaminantes.

Por otra parte, el crecimiento poblacional de la ciudad es de  $19\ 809$  habitantes según INEI (2017) esto incrementa el caudal que ingresa al sistema, lo que refuerza la necesidad de evaluar su desempeño. Esta situación es especialmente relevante debido a que los efluentes de la PTAR son utilizados aguas abajo para bebida de animales y riego de cultivos, lo que representa un potencial riesgo sanitario y ambiental.

La presente investigación tiene como objetivo principal determinar el porcentaje de remoción de la materia orgánica ( $\text{DBO}_5$ ) y (DQO) del RAFA de la PTAR de Celendín; asimismo, se busca establecer la relación entre la  $\text{DBO}_5$  y la DQO y evaluar los parámetros operacionales de caudal, oxígeno disuelto, pH y temperatura. Para ello, se realizó el muestreo del agua residual en el afluente y efluentes del RAFA con una frecuencia de 24 horas durante 10 días, en ese contexto se plantea como hipótesis que el porcentaje de remoción de materia orgánica en el reactor anaerobio de flujo ascendente oscila entre  $52\%$  y  $66\%$ .

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

Según Salazar (2021) al evaluar la eficiencia de remoción de constituyentes en la PTAR de Celendín obtuvo como resultados de concentración promedio de DBO<sub>5</sub> y DQO en el efluente del RAFA (LF0) de 141.22 y 334.80 mg O<sub>2</sub>/L.

Por su parte, Castro (2018) removió la materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos, de flujo ascendente, en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica, donde se evaluó la eficiencia de remoción de materia orgánica con TRH de 14 horas, con un caudal de 35 ml/min. Se obtuvo una eficiencia de remoción promedio de DQO 55.28% con una temperatura de 14.5°C y una remoción de sólidos de 30.28%.

Además, Astoy Caceres (2018) evaluaron la eficiencia de remoción de materia orgánica en reactores de filtro anaerobio de flujo ascendente (FAFA) para el tratamiento de aguas residuales domésticas provenientes de las habilitaciones urbanas “El Ángel” y “El Milagro”. La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigación de Aguas Residuales Domésticas.

También se observa que, Ochoa (2016) comparó la eficiencia de remoción de materia orgánica entre un reactor de lodos activados y un reactor anaerobio de flujo ascendente, con TRH de 24 horas para el reactor de lodos activados y de 40 horas para el reactor anaerobio de flujo ascendente. Sus resultados de DQO fueron de 547 mg/l y la

DBO<sub>5</sub> fue 348. mg O<sub>2</sub>/L, fue de 1.55 mg/l y un pH de 8.4; la eficiencia máxima en el reactor de lodos activados fue de 84.9% y el reactor UASB fue de 90.32%. Así mismo, Quispe (2015) evaluó la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digester de lodos aplicado a una localidad ubicada a una altitud de 3800 msnm, con un TRH de 12 horas, obteniéndose los porcentajes promedios de remoción de 52% de carga orgánica, de 79% de turbiedad, 76% de sólidos suspendidos totales, de 52% de DQO y de 57% de DBO<sub>5</sub> para un reactor de 1179 ml/día.

Cotrina (2019) realizó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín; los resultados obtenidos muestran para DBO<sub>5</sub> una concentración de 245.95 mgO<sub>2</sub>/l y para DQO una concentración de 495.13 mgO<sub>2</sub>/l en el afluente del reactor anaerobio de flujo ascendente. Donde recomienda, dado los análisis obtenidos, seguir realizando estudios considerando tres puntos de muestreo: al ingreso de la PTAR, después del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) y en la caja de registro después de la laguna facultativa.

Además, Chávez (2015) construyó y operó un reactor anaerobio con deflectores y temperatura controlada (35°C), con una capacidad útil de 22.5 L, el cual fue alimentado diariamente con 5 L de agua residual de rastro. El reactor fue inoculado con lodo anaerobio proveniente de un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (RAFA). Este sistema tiene una eficiencia para la remoción de DQO de 90%; por otro lado, mostró que hay remoción de nutrientes (entre 50 y 80% para nitrógeno y entre 10 y 45% para fósforo).

En la región andino-amazónica, (Gaviria et al., 2014) realizan una puesta en marcha y operación en laboratorio de dos etapas de un reactor anaeróbico tipo UASB para el tratamiento de aguas residuales domésticas. Con un HRT de 25.28 horas, el

sistema funcionó a un caudal de 206.7 ml/h. Los porcentajes de materia orgánica eliminada superaron el 70%.

Si bien,) Castillo (2012) evaluó la remoción de materia orgánica en aguas residuales de los rastros en un reactor UASB. Se construyó un reactor a escala piloto de 1100 litros operando por 127 días, con un TRH de 24 horas, donde los porcentajes de remoción fueron de 75 a 90% en DQO; el color disminuyó de 55 a 80%.

No obstante, Martel y Perez (2010) realizaron el tratamiento de aguas residuales domésticas por medio del sistema en serie de UASB en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería – UNITRAR con caudales de 1.5 ml/s, tiempo de retención de 8 horas para el reactor 1, 9 horas para el reactor 2, y 10 horas para el reactor 3 y finalmente de 11 horas para el reactor 4. Donde se obtuvo una eficiencia final promedio de remoción de DBO<sub>5</sub> en los reactores 1, 2, 3 y 4 del orden de 40.96%, 49.7%, 47.2% y 54.5%. Finalmente, un conjunto de sistemas en serie de UASB y filtro biológico podría llegar a obtener eficiencias de remoción de DBO<sub>5</sub> del 95%, pudiéndose considerar como una alternativa aplicable para la realidad de nuestro país.

Además, Sánchez (1998) evaluó un reactor anaeróbico de flujo ascendente. Los muestreos se realizaron en el RAFA de la planta de tratamiento de agua residual, tomados en el afluente y efluente del sistema. También se midió el gas diario producido y el caudal durante parte del día. Los resultados obtenidos para el reactor han mostrado valores promedios de 63% en DQO.

## **2.2. Bases Teóricas**

### ***2.2.1. Digestión anaerobia***

El proceso de digestión anaeróbica convierte la materia orgánica en biogás (60-70% de metano y 30-40% de dióxido de carbono). En este proceso intervienen numerosos grupos de microorganismos, que implican cuatro fases de metabolismo coordinado llevado a cabo por cuatro tipos diferentes de bacterias: bacterias hidrolíticas, seguidas de bacterias fermentativas que son acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas (Sánchez et al., 2015)

### ***2.2.2. Etapas del proceso anaerobio***

#### **2.2.2.1. Primera etapa (bacterias hidrolíticas).**

En esta etapa existe la hidrólisis, dado que la materia orgánica es fermentada, produciendo compuestos sencillos (monómeros), también existe el rompimiento de cadenas poliméricas (proteínas, carbohidratos y lípidos), en compuestos más sencillos (azúcares, aminoácidos y alcoholes) (Osorio & Vásquez, 2007).

#### **2.2.2.2. Segunda etapa (bacterias acidogénicas acidogénesis).**

Produce ácidos orgánicos, donde los monómeros y compuestos sencillos se transforman en ácidos grasos de cadena corta como el acetato, propionato, butirato, además de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> (Terreros et al., 2009)

#### **2.2.2.3. Tercera etapa (bacterias acetogénicas).**

Las bacterias acetogénicas, transforman los anteriores compuestos en acetato, precursor del metano, esta etapa, así como la etapa anterior son conocidas como etapa fermentativa y se caracteriza por su producción de CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub> (Osorio & Vásquez, 2007).

#### **2.2.2.4. Cuarta etapa (bacterias metanogénicas).**

Es la parte final del proceso, aquí el ácido acético, el hidrógeno y el dióxido de carbono son tomados por las bacterias metanogénicas y metabolizados a metano (CH<sub>4</sub>), donde los microorganismos producen metano a través de la ruta acetotrófica e hidrogenotrófica (Camacho, 2012).

### **2.2.3. Factores que influyen en el proceso anaerobio**

#### **2.2.3.1. Temperatura.**

Es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos, ya que la óptima temperatura debe estar entre 25 a 35 °C, mientras más alta, las velocidades de reacción son mayores, por lo cual el sustrato se degrada más rápido (García, 2012).

#### **2.2.3.2. Potencial de Hidrogeno (pH).**

Según Flowen (2022) menciona que la digestión anaerobia se lleva a cabo en un intervalo de pH entre 6.2 y 7.8, siendo el óptimo entre 7.0 y 7.2, pero este depende del grupo bacteriano en particular con el que se está trabajando por lo que el valor del pH óptimo va a ser distinto como por ejemplo las bacterias acidogénicas pueden aceptar pH muy bajos, pero no sucede igual con las acetogénicas ni metanogénicas.

Los microorganismos anaerobios necesitan un pH cercano a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permiten cierta oscilación. Parece ser que el pH afecta fundamentalmente la actividad enzimática de los microorganismos, mediante: cambios de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxil y amino; alteración de los componentes no ionizables del sistema. (González y Sandoval, 2005).

### 2.2.3.3. Nutrientes.

Si el agua residual carece de nutrientes como nitrógeno y fósforo, el tratamiento puede llevarse a cabo si se adicionan los nutrientes en las proporciones adecuadas ( $DQO/N < 70$  y  $DQO/P < 350$ ) (Castro et al., 2019).

### 2.2.3.4. Tiempo de retención hidráulico (TRH).

Según Cabrera y Ortiz (2005) consiste en 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.

El tiempo de retención hidráulica puede variar entre 6 y 16 horas, dependiendo del tipo de agua residual (Chuqitarqui & Velásquez, 2017).

Según Stewart (2005), señala que el tiempo de retención hidráulica nominal se calcula con la siguiente ecuación.

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

Donde  $TRH$  = tiempo de retención hidráulica nominal en días

$V$  = volumen en m<sup>3</sup>

$Q$  = caudal expresado en m<sup>3</sup>/día

### 2.2.3.5. Variables cinéticas.

#### A. Modelo cinético de Michaelis-Menten

Su objetivo es aclarar la cinética de una reacción enzimática. Se basa en la investigación con cultura pura. Las operaciones de lodos activados, por ejemplo, lo emplean para determinar la cinética de degradación del sustrato por parte de una población diversa de microorganismos.

Para un escenario general (Albernas et al., 2015).

la tasa de consumo de sustrato particular se puede expresar usando la ecuación de Michaelis-Menten de la siguiente manera:

$$q_s = q_{\max} \frac{S}{K_s + S} \quad (1)$$

dónde:  $q_s$ = Velocidad de consumo específico de sustrato (mg DQO/mg SSV.d)

$q_{\max}$ : Velocidad máxima de consumo específico de sustrato (mg DQO/mg

SSV.d)  $K_s$ : Constante de saturación (mg DQO/L)  $S$ : Concentración de sustrato (mg DQO/L).

De la ecuación (1) se desprenden dos interpretaciones físicas a saber:

– A altas concentraciones de sustrato ( $S > K_s$ ), despreciando  $K_s$  del denominador de la ecuación (1) al compararlo con  $S$ , y simplificando.

$$q = q_{\max} \quad (2)$$

– A bajas concentraciones de sustrato ( $S < K_s$ ), se elimina  $S$  del denominador en la ecuación (1) al compararlo con  $K_s$ , quedando la siguiente expresión:

$$q = q_{\max} \left( \frac{S}{K_s} \right) \quad (3)$$

La velocidad de consumo específico de sustrato puede ser expresada en términos de la ecuación de Monod por:

$$\frac{dS}{dt} = \frac{kXS}{K_s + S} \quad (4)$$

dónde:  $k$  = Tasa máxima de utilización del sustrato por unidad de peso de microorganismos en (tiempo<sup>-1</sup>) y  $X$  = Concentración de biomasa (mg SSV/L).

Linealizando la ecuación (4) queda:

$$\frac{\bar{X}dt}{S_o - S_f} = \frac{K_s}{k} \cdot \frac{1}{S} + \frac{1}{k} \quad (5)$$

dónde:  $\bar{X}$  = Concentración promedio de biomasa (mg SSV/L).

Graficando se debe obtener una línea recta, en la cual el intercepto y pendiente de la línea son  $1/k$  y  $KS/k$ , respectivamente.

El balance de masa empleado para la tasa de producción de biomasa de una reacción de primer orden puede ser expresado como:

$$\frac{dX}{dt} = Y \frac{dS}{dt} - k_d \quad (6)$$

dónde:  $K_d$ : Coeficiente de mortandad endógeno (día<sup>-1</sup>);  $Y$ : Coeficiente estequiométrico de producción de biomasa (mg SSV/mg DQO).

Con los datos obtenidos experimentalmente se grafica de acuerdo a la ecuación (6). Donde la pendiente e intercepto del mejor ajuste lineal corresponde a  $Y$  y  $k_d$  respectivamente

## B. Modelo cinético del cuadrado

Según Cutrera et al. (1999) el requerimiento bioquímico de oxígeno en un momento dado es la cantidad de oxígeno que todavía está presente. La cantidad de material o sustrato orgánico biodegradable está directamente correlacionada con este valor de DBO. La técnica del cuadrado se puede

utilizar para establecer matemáticamente la cinética de primer orden, que gobierna la tasa de consumo de sustrato (medida por la cantidad de oxígeno disuelto, o DBO5, en un momento dado) de la siguiente manera:

Ecuación 1 y 2.

$$1 \quad n a + b \sum y - \sum y'' = 0$$

$$2 \quad a \sum y - b \sum y^2 - \sum y * y'' = 0$$

$$K = -b$$

K = Constante cinético

$$L = -a/b$$

L = DBO última

Para procesar los datos y poder aplicar las fórmulas se desarrolla la Tabla 1

**Tabla 1**

*Método del cuadrado de primer orden.*

Tiempo	y	y <sup>2</sup>	y'	y*y'
--------	---	----------------	----	------

Fuente: (Cutrera, et al., 1999)

$$y' = \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2at}$$

at = diferencia de tiempo yn

= DBO por día

**Tabla 2**

*Valores típicos de los coeficientes para procesos de lodos activos para aguas residuales.*

Coeficiente	Base	Valores
		rango
K	d-1	2-10
K <sub>s</sub>	mg DQO/L	15-70
	mg DBO <sub>5</sub> /L	25-70
Y	mg SSV/mg DQO	0.3-0.6
	mg SSV/mg DBO <sub>5</sub>	0.4-0.8
K <sub>d</sub>	d-1	0.02-0.1

Fuente: Graby y lim (1980), los valores reportados son para 20 °C

### 2.2.3.6. Caudal.

Caudal es el volumen de agua que llega a la planta (afluente) o sale de la planta (efluente). En cuanto a su unidad de medida, es L/s o m<sup>3</sup>/s, pero también m<sup>3</sup>/hr, m<sup>3</sup>/día (Reutelshofer, 2015). Es necesario analizar con detenimiento, a partir de los datos disponibles, las características y variaciones de los caudales de aguas residuales, pues afectan en gran medida al diseño hidráulico tanto de las redes de alcantarillado como de las instalaciones de tratamiento (Metcalf y Eddy, 1995).

### 2.2.4. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

Según López (2011) menciona que para que un reactor anaerobio sea estable es necesario que exista un ambiente que permita la mejor actividad de la biomasa y que el tiempo de retención de sólidos sea adecuado.

### 2.2.5. Configuración de un reactor anaerobio de flujo ascendente

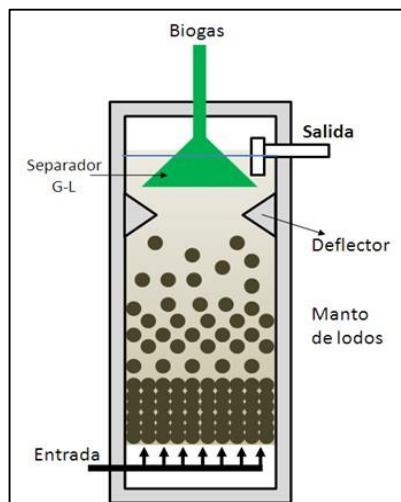
Según Stazi et al. (2022) afirman que para que RAFA funcione bien es necesaria una distribución eficiente de lodos, la expansión del manto de lodos y una purga progresiva adecuada de lodos. La RAFA se compone de tres zonas diferenciadas:

La zona de separación gas-líquido-sólido.

La zona del lecho de lodos, donde se concentran los microorganismos que biodegradarán la materia orgánica del agua residual a tratar.

El área donde se distribuyen los microorganismos a lo largo de la RAFA.

**Figura 1** Esquema del reactor anaerobio de flujo ascendente.



Fuente: Stazi et al., (2022)

### 2.2.6. Características de aguas residuales

Ciertas sustancias pueden afectar negativamente a la granulación de lodos, ya que aguas residuales con altas concentraciones de proteínas y/o grasas reducen la capacidad de formar un denso lodo granulado (Castro, 2018).

### 2.2.7. Carga orgánica

La carga orgánica se puede también expresar en términos de la cantidad de materia orgánica alimentada al reactor por unidad de masa de sólidos suspendidos volátiles (SSV) (García, 2012).

### **2.2.7.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>).**

Es un procedimiento que se realiza para determinar la cantidad de materia orgánica biodegradable, verificando la medición del consumo de oxígeno de una población de microorganismos diferentes (prueba en 5 días); procesos físicos, como la sedimentación y la filtración, que eliminan las partículas grandes y los sólidos en suspensión de las aguas residuales; y los procesos biológicos. En este proceso, las aguas residuales se mezclan con una combinación de bacterias y otros microorganismos; los microorganismos (bacterias filamentosas) consumen la materia orgánica transformándola en metano por los organismos metanogénicos (Nateros et al., 2021).

Las aguas superficiales son susceptibles a la contaminación; los residuos contaminantes afectan a las corrientes de agua como a las aguas estancadas. Por ende, la materia orgánica requiere oxígeno para ser degradada en un curso de agua. El alto contenido orgánico favorece el crecimiento de bacterias y hongos; el oxígeno utilizado para la oxidación de la materia orgánica consume el oxígeno utilizado para el desarrollo de la fauna y flora acuática (Lecca y Ruiz, 2014).

También se puede definir como la cantidad de oxígeno que es necesaria para oxidar biológicamente los componentes de las aguas residuales; después de los cinco días de duración del ensayo, se consume aproximadamente el 70% de las sustancias biodegradables (CENTA, 2008).

Según Hill (2000) la DBO<sub>5</sub> es el método más usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de aguas residuales. Si hay suficiente oxígeno la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuará hasta

que se haya consumido, y puede ocurrir tres actividades: Primero, una parte del desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de un nuevo tejido celular. Por otra parte, la fracción del desecho se convierte en tejido celular empleando energía liberada durante la oxigenación y, por último, cuando se consume la materia orgánica, las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular.

**Indicador de la contaminación**, la actividad biológica es provocada por los microorganismos en condiciones aeróbicas; en consecuencia, la materia orgánica pierde sus propiedades contaminantes por el intercambio del oxígeno del aire con el agua. La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos para oxidar residuos orgánicos de modo aerobio se denomina demanda bioquímica de oxígeno, que se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable (Ramalho, 2003).

**La determinación de la DBO<sub>5</sub>**, se realiza a una temperatura de 20° C en un tiempo de 5 días, siendo expresada en mg O<sub>2</sub>/L y es conocida como DBO<sub>5</sub>. Este procedimiento fue adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, y desde entonces ha permanecido como un indicador de la contaminación. La DBO<sub>5</sub> es la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación; por ende, la prueba DBO<sub>5</sub> es poner una muestra de residuo en una botella cerrada y medir la concentración de oxígeno disuelto en la muestra al principio de la

prueba y al cabo de cinco días; la diferencia de OD dividida por el volumen de desperdicio es  $DBO_5$  (Lecca y Ruiz, 2014).

### **2.2.7.2. Demanda química de oxígeno (DQO).**

Representa la cantidad de oxígeno presente en el agua residual para poder oxidar a la materia orgánica (Monsalve, 2017).

Es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica (Vidaurre, 2018).

Mientras que Calzada y Martínez (2012) dicen que la DQO corresponde al contenido de materias orgánicas total (biodegradable o no), donde se expresa por la cantidad de oxígeno en  $mg\ O_2/L$  suministrados por dicromato potásico, que es necesario para la oxidación de las materias orgánicas (proteínas, glúcidos, lípidos, etc.) presentes en las aguas. Gil (2005) menciona que las aguas residuales urbanas brutas presentan una DQO que oscila entre 150 y 1000  $mg\ O_2/L$ , mientras que las aguas residuales depuradas no deberían superar los 100  $mg\ O_2/L$ .

Según Metcalf & Eddy (2000) los valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbana se clasifican en contaminación ligera, media y fuerte; y en comparación con los resultados obtenidos del afluente que ingresa a la PTAR, tenemos en promedio para DQO 639.43  $mg\ O_2/L$ , encontrándose dentro de un rango de contaminación media.

### **2.2.7.3. Velocidad de flujo ascendente.**

La carga volumétrica de DQO dictará la velocidad. La velocidad máxima del flujo ascendente es de 10 m/h (Arthur et al., 2022).

#### 2.2.7.4. Caudal de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales.

La cantidad de aguas residuales depende de la población servida o grado de cobertura del sistema de alcantarillado, de la cantidad de agua consumida, de la temperatura medioambiental, de las condiciones climáticas y del tipo de alcantarillado. **La Tabla 3** ha sido elaborada teniendo en cuenta la situación actual. Se estima que al año 2027 se generará en promedio un total de 1 820 m<sup>3</sup>/día de aguas residuales (Nippon, 2009).

**Tabla 3** Resumen de bases de diseño del RAFA

Año		Población	Población	Caudal promedio		Caudal máximo	
		Total	servida	m <sup>3</sup> /d	l/s	m <sup>3</sup> /d	l/s
		Hab	Hab				
0	2007	16 721	12 564	1 188	13.8	2 711	31.4
1	2008	17 024	15 322	1 303	15.1	2 998	34.7
5	2012	18 264	16 515	1 403	16.2	3 181	36.8
10	2017	19 876	18 077	1 535	17.8	3 424	39.6
15	2022	21 549	19 712	1 676	19.4	3 678	42.6
20	2027	23 279	21 417	1 820	21.1	3 943	45.6

Fuente: GORE Cajamarca (2007)

Nota: Estudio de Factibilidad de la PTAR realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca

#### 2.2.8. Características del diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente de la ciudad de Celendín

En la **Tabla 4** se nos muestra las características del diseño del reactor anaerobio de flujo ascendente de la ciudad de Celendín.

**Tabla 4** Datos Básicos de diseño de la PTAR de Celendín

<b>Caudal promedio</b>	21.1 L/s
<b>Caudal máximo promedio</b>	45.6 L/s
<b>DBO influente</b>	588 mg/L
<b>% DQO</b>	78.3
<b>T° del agua (mín. mensual)</b>	15.0 °C (Prom. Mensual)

Fuente: GORE Cajamarca (2007)

Nota: Estudio de Factibilidad de la PTAR realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca

**Tabla 5** Características físicas de la PTAR de Celendín

<b>Reja fina</b>	
Tubería alimentación	300 mm
Canal de ingreso	0.30 m
Ancho de canal desarenador	0.35 m
Número de canales	2
Nivel de rebose	0.30 m
Borde libre	0.35
Profundidad total	0.65 m
Inclinación de reja	45°
Canal de salida	0.30 m
Tirante de agua normal después de reja	0.165 m
<b>Desarenador</b>	
Canal de ingreso	0.30 m
Número de canales	2
Ancho de canal desarenador	1.00 m
Profundidad promedio	0.30 m
Borde libre	0.7 m
Profundidad total	1.00 m
Canal de salida	0.47 m
Tirante de agua normal después de reja	0.17 m
<b>Medidor de Caudal</b>	
Tipo	Parshall
Canal de ingreso	0.47 m
Garganta	0.15 m
Profundidad promedio	1.00 m
<b>Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA)</b>	
Número	2
Largo espejo de agua	17.0 m
Ancho espejo de agua	8.0 m
Profundidad	5.20 m
Borde libre	0.65 m
Período de retención (Q prom.)	18.70 h
Período de retención (Q máx.)	8.54 h
Sedimentadores por unidad	2
Ancho de sedimentadores	1.20 m
Profundidad	1.10 m
Talud de paredes	01:01.3

<b>Digestor</b>	
Carga orgánica	0.45 kg DQO/m <sup>3</sup> -d
Carga hidráulica	1.28 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -d
<b>Cámara de bombeo de lodos</b>	
Profundidad útil	2.50 m
Profundidad total	3.00 m
Diámetro	1.75 m
Bombas	Sumergibles
Cantidad bombas	2
Caudal	15 L/s

Fuente: GORE Cajamarca (2007)

Nota: Estudio de Factibilidad de la PTAR realizada por el Gobierno Regional de Cajamarca

### **2.2.9. Remoción de materia orgánica**

Según Castillo et al. (2021) la remoción de materia orgánica (MO) en el sistema se refiere a la diferencia entre la materia orgánica de entrada (afluente) y la materia orgánica de salida de salida (efluente), en donde el % de remoción se expresa por:

$$\% \text{ n remoción} = \frac{(\text{afluente} - \text{efluente})}{\text{afluente}} * 100$$

Dónde: % n remoción = porcentaje de remoción de la materia orgánica (Ortega & Suárez, 2015).

### **2.2.10. Relación entre DBO5/DQO**

Según el Instituto Tecnológico de Canarias (ITC, 2006) la relación DBO<sub>5</sub>/DQO es un factor importante, que indica la biodegradabilidad de las aguas residuales urbanas; ya sea disuelta, suspendida o coloidal, está conformada en gran parte por materia orgánica biodegradable. La biodegradabilidad de estas sustancias permite que estas puedan ser utilizadas como sustrato, depuradas por los microorganismos, que las emplean para producir energía y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos.

**Tabla 6** *Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO<sub>5</sub>/DQO*

Rango DBO <sub>5</sub> /DQO	Tipo
DBO <sub>5</sub> /DQO > 0,5	Desecho biodegradable, usar cualquier proceso biológico.
0.5 ≥ DBO <sub>5</sub> /DQO ≥ 0,2	Desecho Medianamente biodegradable, usar filtros o lagunas de estabilización.
DBO <sub>5</sub> /DQO < 0,2	Desecho no biodegradable: usar métodos físico-químicos.

Fuente. (González, 2010)

### 2.3. Definición de Términos Básicos

#### 2.3.1. Reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)

El reactor anaerobio de flujo ascendente es un reactor multifase compuesto por líquido, lodo y gas, donde sus interacciones determinan su comportamiento hidráulico (Pérez et al., 2016).

#### 2.3.2. Porcentaje de remoción

Convertir la materia orgánica en suspensión y disuelta en tejido celular nuevo y diferentes gases de 56 a 72% en tratamiento de digestión anaerobia (López et al., 2017).

#### 2.3.3. Digestión anaerobia

La digestión anaerobia se realiza mediante cuatro bacterias hidrolíticas, acidogénicas, acetogénicas y metanogénicas (Sánchez et al., 2015).

#### 2.3.4. Eficiencia de tratamiento

Relación, para un parámetro dado, entre la masa o concentración aplicada y la masa o concentración eliminada en un proceso o instalación de tratamiento. Se pueden utilizar porcentajes para expresarlo (Castro, 2018).

## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

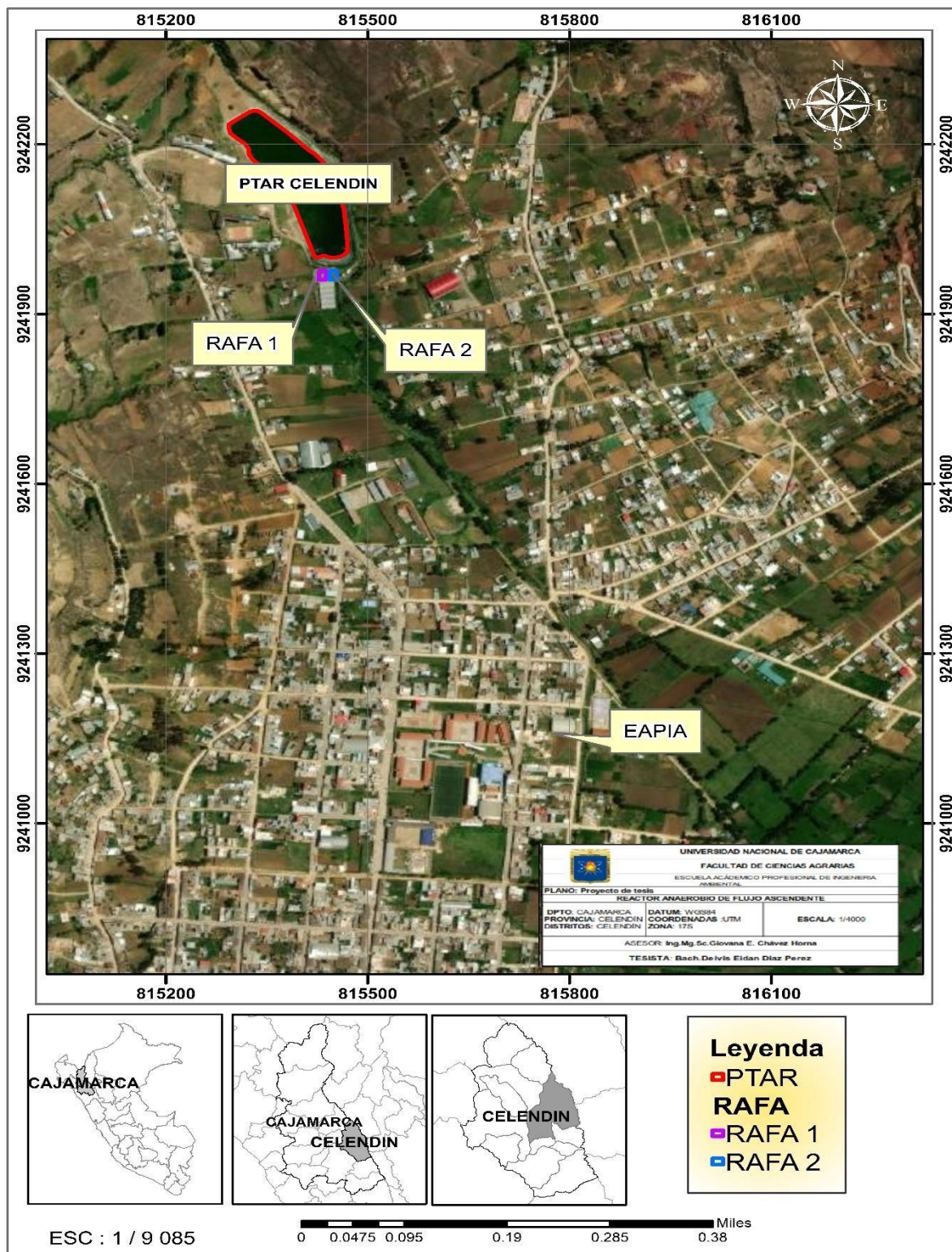
#### 3.1. Localización de la Investigación

Se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín ubicado al norte de la ciudad con coordenadas UTM: Este: 815436 m, Norte: 9241969 m y Altitud: 2607 m; perteneciente al distrito Celendín, provincia Celendín, departamento Cajamarca ver **Figura 2**

#### 3.2. Materiales

- **Material, equipos e instrumentos**
  - GPS Garmin eTrex10
  - Multiparámetro /marca: (HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200)
  - Cámara fotográfica Panasonic DMC-FS7
  - Cronómetro Premiere PS-360
  - Fichas de registro de campo y plumón indeleble
  
- **Otros materiales experimentales**
  - Kit de muestreo (envases de plástico y vidrio)

Figura 2 Ubicación del proyecto de investigación



### 3.3. Ubicación y Descripción de Los Puntos de Muestreo

M1. Ubicado después del proceso de cribado, evitando partículas grandes o material flotante en la toma de muestras. **Ver figura 3** M2. Ubicado en el efluente del primer RAFA.

M3. Ubicado en el efluente del segundo RAFA.

**Tabla 7** Niveles y repeticiones por muestreo.

Punto de monitoreo	Repeticiones										Total, de Combinaciones por muestreo
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	
M1	M1R1	M1R2	M1R3	M1R4	M1R5	M1R6	M1R7	M1R8	M1R9	M1R10	M1:10
M2	M2R1	M2R2	M2R3	M2R4	M2R5	M2R6	M2R7	M2R8	M2R9	M2R10	M2:10
M3	M3R1	M3R2	M3R3	M3R4	M3R5	M3R6	M3R7	M3R8	M3R9	M3R10	M3:10
Total, de Combinaciones por repetición	R1:3	R2:3	R3:3	R4:3	R5:3	R6:3	R7:3	R8:3	R9:3	R10:3	<b>Total:30</b>

**Donde:**

M = Puntos de muestreo

R = Repeticiones

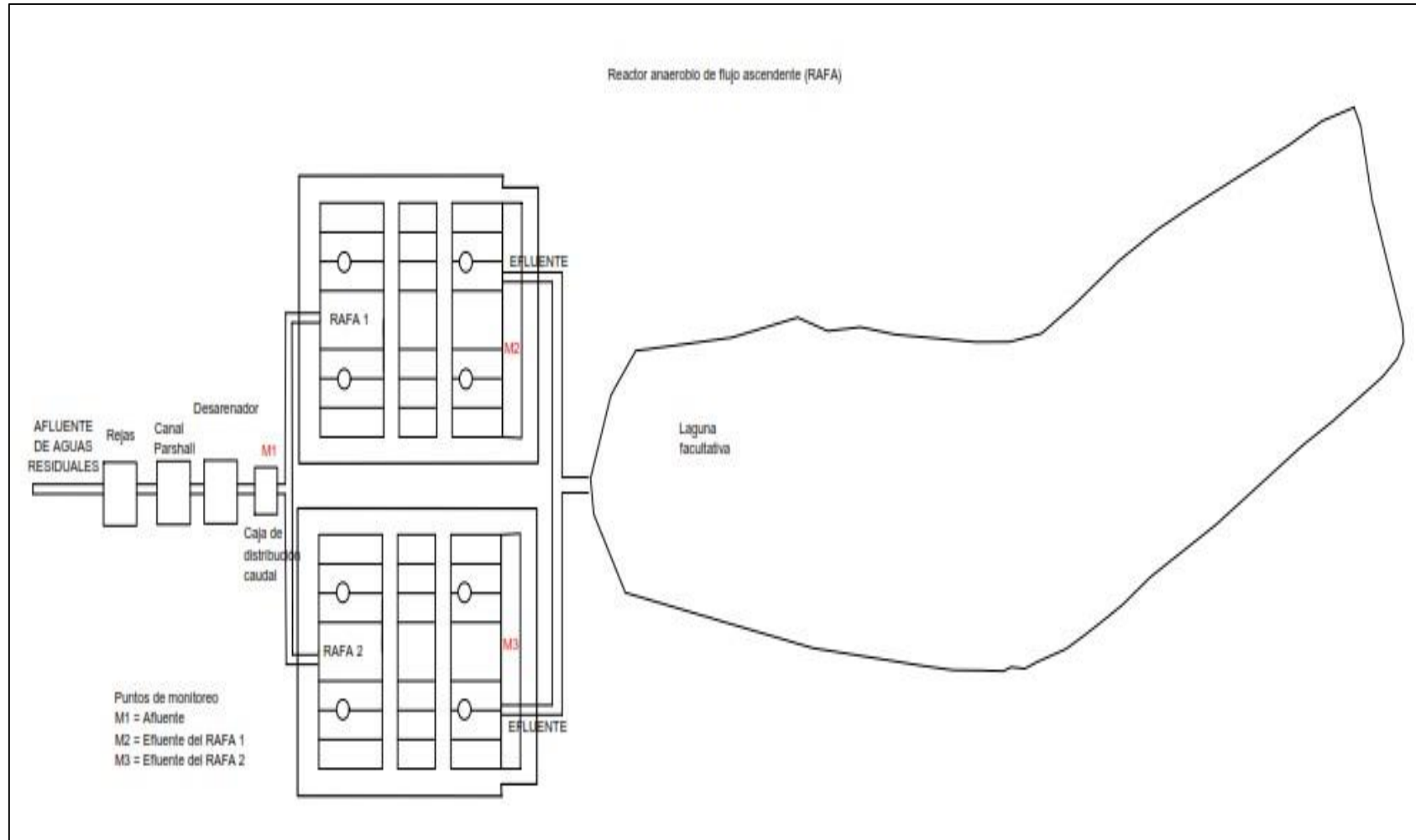
- La hora de muestreo para los tres puntos es un solo horario, siendo este las 12 del mediodía,

con una frecuencia de monitoreo de cada 24 horas por 10 días

### 3.3.1 Croquis y diseño del tratamiento

**Figura 3**

*Croquis del sistema de tratamiento*



**Figura 4**  
*Diseño del RAFA*

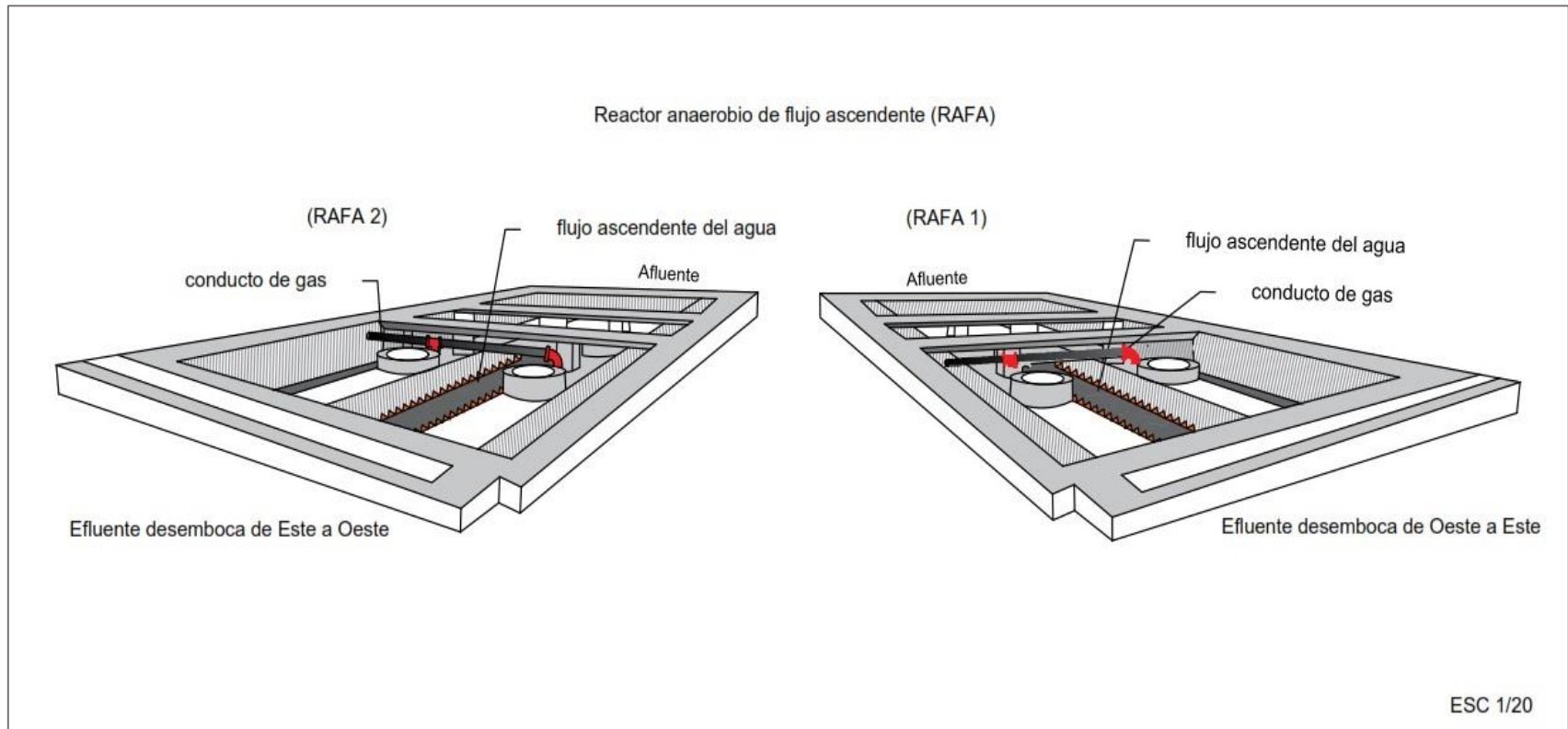


Figura 5

Corte del diseño del RAFA 1

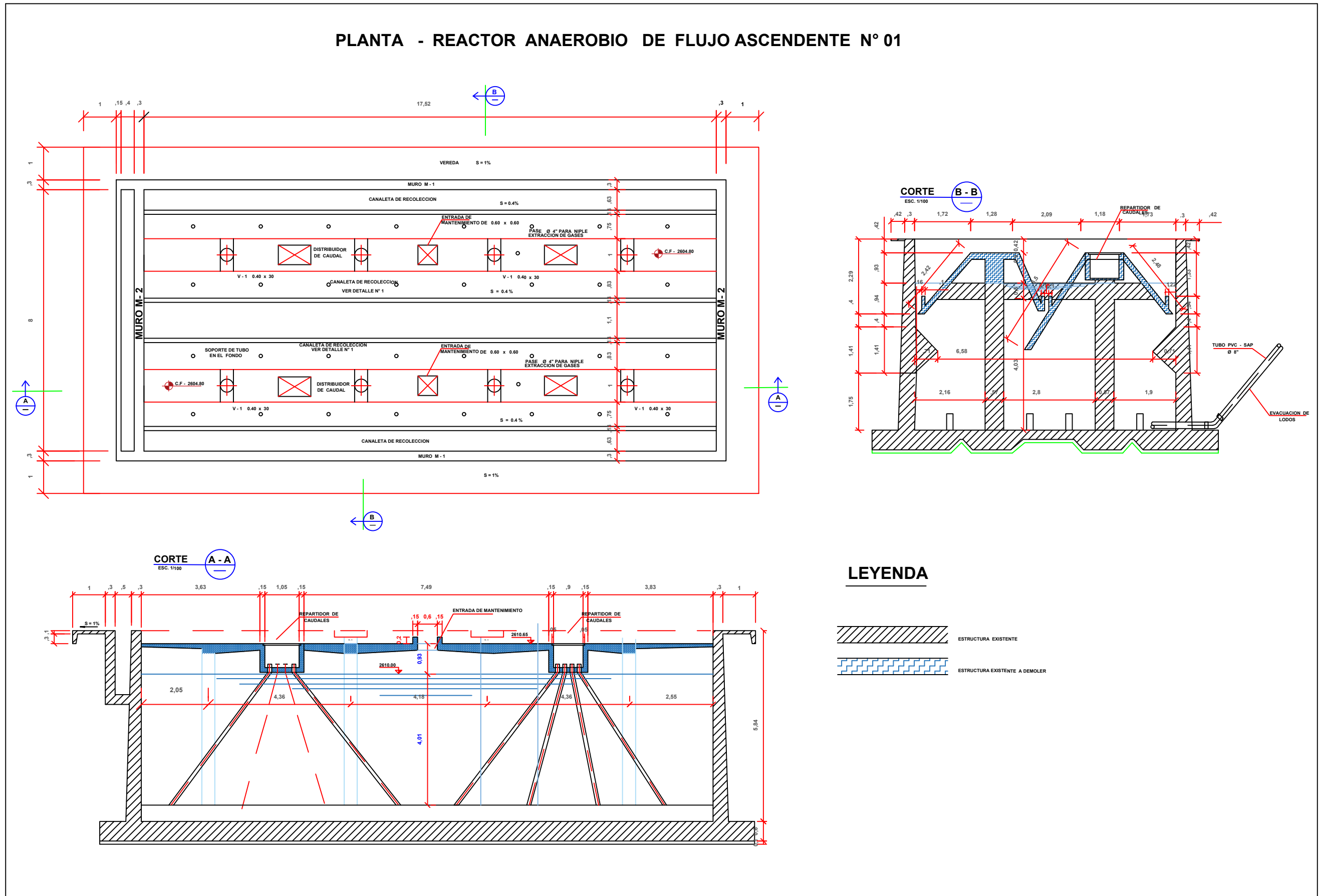
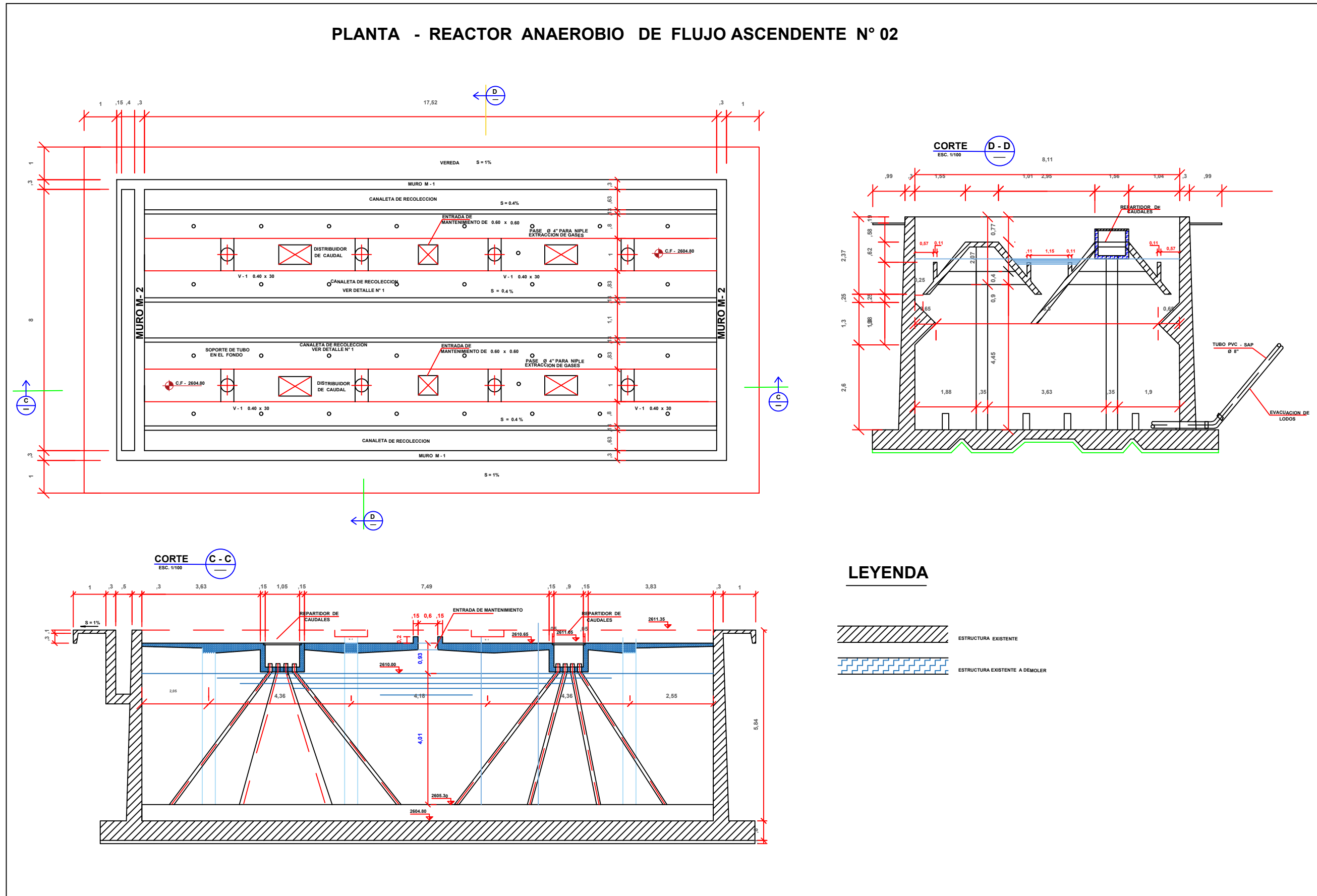


Figura 6  
Corte del diseño del RAFA 2



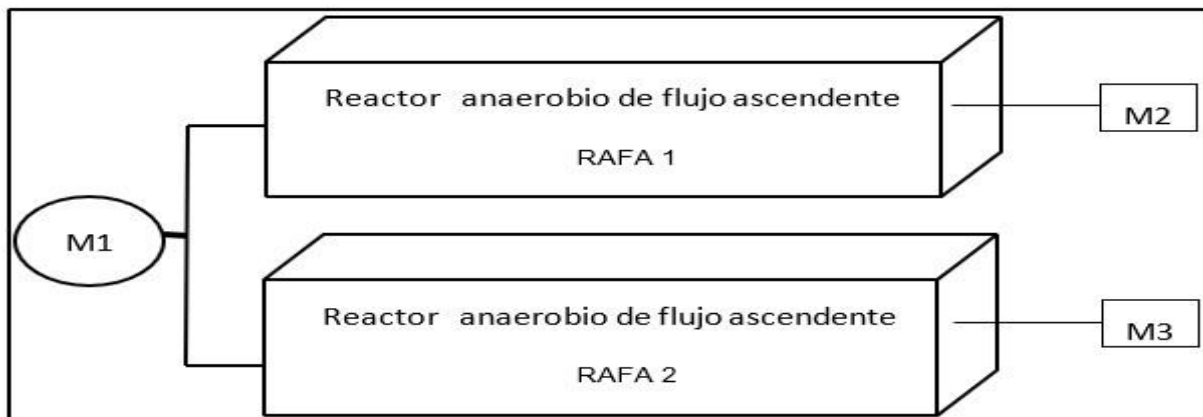
### 3.3.2. Procedimiento

El procedimiento a seguir se realizó de la siguiente manera:

- Se solicitó el permiso a través de una solicitud dirigida al Gobierno Regional para realizar la investigación en la PTAR de Celendín.
- Se localizó los puntos de muestreo en el sistema y un diagnóstico del sistema de tratamiento.
- Se midió el caudal en el desarenador con el método del flotador, tomando tres repeticiones para luego sacar un promedio para poder obtener un dato más preciso.  
(ver **ANEXO 4, foto 1.**)
- Se recolectó las muestras del agua residual cruda y tratada en 3 puntos; en el afluente (M1) después del proceso de cribado evitando partículas grandes o material flotante en la toma de muestras y en el efluente del primer y segundo RAFA (M2) y (M3), como se muestra en la **Figura 7**.
- Se realizó el análisis de muestras tomadas en el afluente y efluente del RAFA, teniendo en cuenta el protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales, aprobado con R.M N.º 273-2013-VIVIENDA.

**Figura 7**

*Puntos de monitoreo en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA)*



Donde:

M1: Muestreo (Afluente del RAFA)

M2, M3: Muestreo (Efluente del RAFA 1 y RAFA 2)

### 3.3.3. Metodología

La investigación se realizó en tres fases: fase de campo, laboratorio y gabinete.

#### a) Fase de campo

En la **Tabla 8**, que se a continuación se observa la frecuencia de muestreo para los parámetros de estudio, se realizaron cada día por un periodo de 10 días, los análisis de las muestras de compuestos orgánicos se analizaron en el Laboratorio Regional del Agua y para la determinación de los parámetros de oxígeno disuelto, pH, temperatura, se realizó en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental la cual se determinó con un multiparámetro marca Hanna, la medición del caudal se realizó in situ, con el método del flotador.

**Tabla 8** Frecuencia de muestreo.

Punto Monitoreo	Parámetros	REPETICIONES									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M1	DBO <sub>5</sub> , DQO, OD, pH, T°, Q	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M2		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
M3		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

En la Tabla 9, que se muestra a continuación se observa el volumen recolectado. En el que se utilizaron frascos de plástico con tapa rosca de 1000 ml. Los cuales fueron debidamente codificados y etiquetados con plumón indeleble, el origen, punto de muestreo, código, responsable, fecha y hora; para la preservación de las muestras se le agregaron 15 gotas de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) a los 3 puntos de monitoreo.

**Tabla 9** Volumen de muestra y reactivos de preservación.

Parámetro	N° de Muestras			Volumen	Preservación y
	Afluente	Efluente	Total		Conservación
DBO <sub>5</sub>	10	20	30	1000 ml	refrigeración
DQO	10	20	30	1000 ml	15 gotas H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>

#### b) Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas fueron entregadas al laboratorio, cumpliendo con los requisitos de volumen, preservación y conservación de la muestra, según los informes de ensayo. Los análisis de estudio para la DBO<sub>5</sub> y DQO se realizaron en el Laboratorio Regional del Agua acreditada por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA con registro N° LE-084. Y los parámetros de pH, T°, OD, se realizaron en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental la cual se determinó mediante el Multiparámetro marca Hanna, el caudal se midió in situ, con el método del flotador.

**Tabla 10** Método del ensayo para la DBO<sub>5</sub> y DQO

Parámetro	Unidad	Método de Ensayo
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test</i>
Demanda Química de Oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method</i>
pH	Unidades	<i>Multiparámetro /marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200)</i>
Temperatura	°C	<i>Multiparámetro /marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200)</i>
Oxígeno disuelto	mg/L	<i>Multiparámetro /marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200)</i>
Caudal	L/s	<i>Método del flotador</i>

Fuente. Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca.

### c) Fase de gabinete

La información recopilada en campo fue registrada en una base de datos y ordenada de acuerdo a los objetivos de la investigación.

- **Indicadores de eficiencia.** La eficiencia del RAFA se calculó mediante la siguiente fórmula.

$$\% \text{ n remoción} = \frac{(\text{afluente} - \text{efluente})}{\text{afluente}} * 100$$

Los resultados obtenidos fueron procesados para obtener el porcentaje de remoción del RAFA, y se presentan mediante cuadros estadísticos independientes para DBO<sub>5</sub> y DQO donde se analizó la varianza mediante el método estadístico de (ANOVA) y con la tabla de valores críticos para la prueba de Tukey.

### Análisis estadístico de datos

Según Romaina (2012) podemos superar estos desafíos utilizando la ciencia estadística, que exige recopilar datos experimentales que permitan una evaluación objetiva de los efectos del tratamiento y evaluar las diferencias entre tratamientos mediante pruebas de significancia

basadas en mediciones del error experimental. La técnica de análisis de varianza se utiliza para examinar las fuentes de variabilidad en la variable respuesta y evaluar las medias de los tratamientos.

## Análisis estadístico ANOVA

### Análisis de variancia

**Tabla 11** *Esquema del análisis de varianza*

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrado	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	t - 1	$\frac{\sum y_i^2}{r} - TC$	$\frac{SCt}{t - 1}$	$\frac{CMt}{CME}$	*
Error	t(r - 1)	SCT - SCt	$\frac{SCE}{t(r - 1)}$		**
Total	rt - 1	$\sum y_{ij}^2 - TC$			

\*Diferencia estadística significativa \*\*Diferencia estadística altamente significativa

Dónde:

t = N° de tratamientos

r = N° de repeticiones

SCt = suma de cuadrado de tratamientos

SCT = suma de cuadrados totales

SCE = suma de cuadrado del error

CMt = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

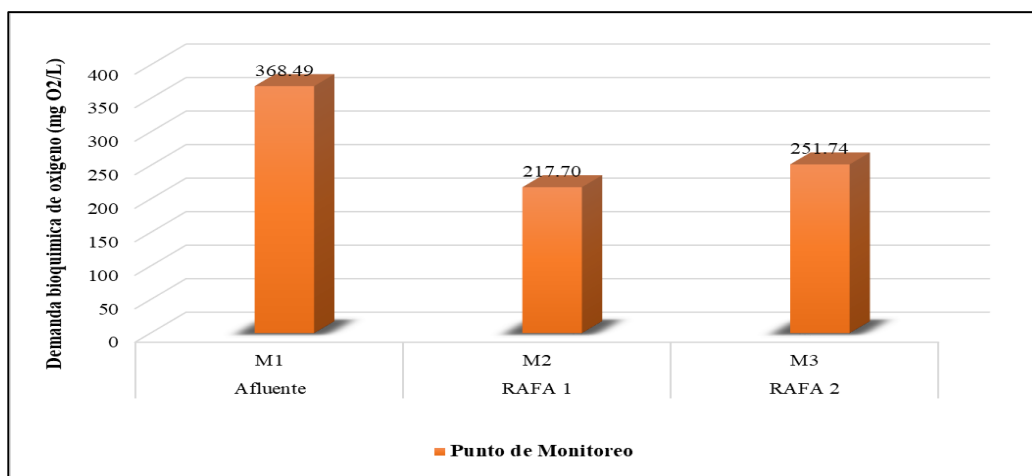
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)

##### Figura 8

*Demanda bioquímica de oxígeno en promedio*



En la Figura 8 se observa que la concentración de DBO<sub>5</sub> en el afluente (M1) es mayor que en los efluentes (M2 y M3), lo que evidencia la existencia de remoción de DBO<sub>5</sub> en el sistema. En particular, se determina una reducción de este parámetro en el efluente M2 con respecto al afluente M1.

Según Stazi et al. (2022) las diferencias de eficiencia entre reactores RAFA pueden atribuirse a factores operacionales como la adecuada distribución de los lodos, la correcta expansión del manto de lodo y la purga paulatina de los mismos. Esto se debe a que en el lecho de lodos se concentra la biomasa microbiana responsable de la biodegradación de la materia orgánica presente en el agua residual. Tal como se muestra

en el Anexo 4 (Foto 8), se evidencia una mayor remoción en el RAFA 1, lo que sugiere un mejor comportamiento hidráulico y biológico en esta unidad.

Asimismo, los valores de  $DBO_5$  obtenidos en el punto M2 (RAFA 1) resultaron superiores al compararlos con los reportados por Salazar (2021), quien obtuvo una media de 141.2 mg  $O_2/L$ . Este incremento indicaría un deterioro en la eficiencia del RAFA durante los últimos años o un aumento en la carga orgánica afluente al sistema.

**Tabla 12** *Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ )*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	2	125089.694	62544.847	145.914	0.0000335 E-10
Error	27	11573.353	428.643		
Total	29	136663.047			

CV = 23.32 %

En la **Tabla 12** se observa para el caso del efecto de la remoción de la  $DBO_5$  existe diferencia significativa entre el afluente de los RAFAs con los efluentes del RAFA 1 y RAFA 2 ( $p$ -value < 0.05), es decir cualquier medida de la  $DBO_5$  reportará diferentes resultados.

El coeficiente de variación es 23.32 %, este valor indica la variabilidad de la  $DBO_5$  dentro del RAFA 1 y RAFA 2.

**Tabla 13**

*Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ )*

	M1	M2	M3
M1		150.79	116.75
M2			-34.04
M3			

HSD = 18.92

En la **Tabla 13** se muestran los resultados de los arreglos entre los grupos de la prueba de Tukey al 5% ( $HSD = 18.92$ ) para la  $DBO_5$ . Se aprecia que existen diferencias significativas entre todos los puntos evaluados (M1, M2 y M3), ya que las diferencias de medias superan el valor HSD. La mayor diferencia se presenta entre el afluente (M1) y el efluente M2 (RAFA 1), lo que confirma que este reactor logró la mayor remoción de  $DBO_5$ .

Estos resultados se deben principalmente a mejores condiciones operativas en el RAFA 1, como una adecuada distribución y actividad del manto de lodos, mejor contacto agua-biomasa y posiblemente un TRH más efectivo. En cambio, el RAFA 2 (M3) mostraría menor eficiencia por condiciones hidráulicas o de manejo de lodos menos favorables.

#### 4.2. Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ )

La eficiencia de remoción de la  $DBO_5$ , como se muestra en la **Tabla 14**, se aprecia en el M3 y M2, alcanzando una remoción del 31.68 y 40.92 %, de tal manera que el mayor porcentaje de remoción de la  $DBO_5$  se obtuvo en el M2 (RAFA 1) en relación al M3 (RAFA 2). Esto muestra que la debida distribución de los lodos, la expansión del manto de lodo y la debida purga paulatina de los lodos ejercen un efecto significativo en la reducción de la  $DBO_5$ , dado que en el reactor anaerobio los microorganismos se agrupan formando biogránulos, considerándose que la digestión anaerobia es un proceso que involucra la transformación de la materia orgánica en biogás (CONAGUA, 2007).

**Tabla 14** *Porcentaje de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno ( $DBO_5$ )*

Puntos de monitoreo	Concentración promedio (mg/L)		Porcentaje remoción %
	Afluente	Efluente	
M2	368.49	217.70	40.92
M3		251.74	31.68

El porcentaje de remoción de la  $DBO_5$  en cada reactor estaría relacionado con factores externos como la temperatura y el pH, ya que, como manifiestan algunos autores, la temperatura es un factor importante dado que afecta a la cantidad de oxígeno que puede transportar el agua. El agua a menor temperatura transporta más oxígeno; esto influye en el proceso anaeróbico, considerándose que la digestión anaerobia es un proceso que involucra la transformación de la materia orgánica en biogás (Sánchez et al., 2015).

Según García (2012) la temperatura es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos, ya que la óptima temperatura debe estar entre 25 y 35 °C, mientras más alta, las velocidades de reacción son mayores, por lo cual el sustrato se degrada más rápido.

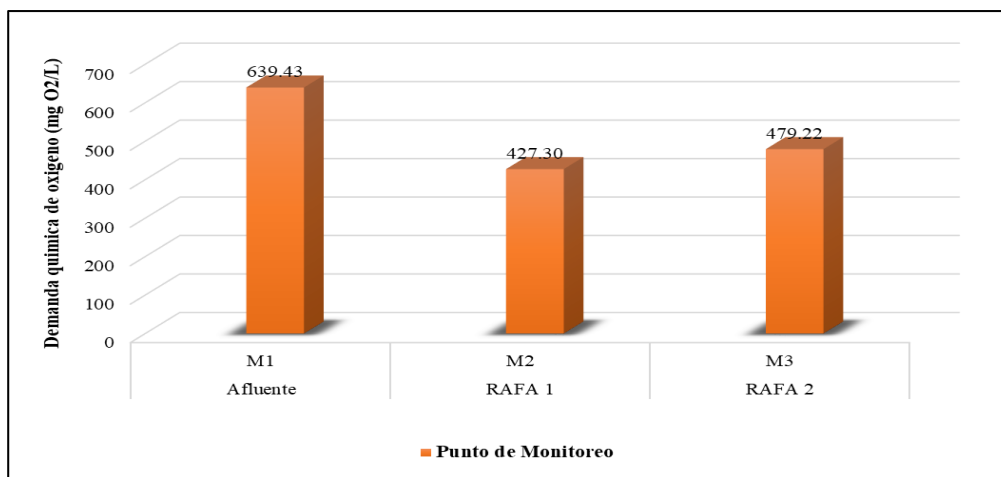
Un pH adecuado en el interior del reactor es necesario para alcanzar una buena calidad del efluente dado que los microorganismos anaerobios necesitan un pH cercano a la neutralidad para su correcto desarrollo (González y Sandoval, 2005).

Los porcentajes de remoción de la  $BDO_5$  alcanzados en el M2 y M3 coinciden con los obtenidos por Martel y Pérez (2010), quien obtuvo una eficiencia de 40.96 %. Que realizó el tratamiento de aguas residuales domésticas por medio del sistema en serie de UASB en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima. Mientras que Castro (2018) obtuvo porcentaje de remoción de 52.28 % en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del canal de Huancavelica.

### 4.3. Demanda química de oxígeno (DQO)

**Figura 9**

*Demanda química de oxígeno en promedio*



La Figura 9 muestra la concentración de DQO del agua residual a la entrada del RAFA, observándose variabilidad entre el afluente (M1) y los efluentes (M2 y M3), lo que evidencia un proceso de biodegradación progresiva dentro del sistema.

Según Metcalf & Eddy (2000) los valores típicos de los principales contaminantes en aguas residuales domésticas se clasifican en contaminación ligera, media y fuerte. En comparación con esta referencia, el afluente que ingresa a la PTAR presenta una DQO promedio de 639.43 mg O<sub>2</sub>/L, ubicándose dentro del rango de contaminación media.

Asimismo, los valores de DQO obtenidos en los puntos M2 y M3 resultaron superiores a los reportados por Salazar (2021), quien registró una media de 334.8 mg O<sub>2</sub>/L. Este incremento de la DQO en los últimos dos años se debe a un aumento de la carga orgánica afluente por crecimiento poblacional, mayores descargas domésticas, y/o

a una disminución de la eficiencia operativa del RAFA asociada a factores como, reducción del tiempo de retención hidráulica o problemas hidráulicos internos puesto que en los últimos años el crecimiento poblacional ha generado mayor presión hidráulica y orgánica sobre el sistema de tratamiento.

**Tabla 15** *Análisis de varianza (ANOVA) para la demanda química de oxígeno (DQO)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	2	244540.224	122270.112	72.008	0.0001504 E-9
Error	27	45846.517	1698.019		
Total	29	290386.741			

CV = 18.98 %

En la Tabla 15 se observa los resultados del análisis de varianza para la DQO, en los cuales se observa que existe significación estadística en el RAFA. Dado que el valor de significación (p-valor: 0.0001504 E-9) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de la DQO en el RAFA se deben a la influencia del RAFA. Es decir, que el RAFA ejerce efecto significativo en la remoción de DQO.

El coeficiente de variación obtenido fue de 18.98 %, lo que indica una variabilidad moderada de la DQO dentro del RAFA. Este resultado sugiere que las concentraciones de DQO en los reactores presentan cierta dispersión respecto a la media, pero se mantienen dentro de un rango relativamente controlado.

Dicha variabilidad se atribuye principalmente a las fluctuaciones en las características del agua residual afluente, tales como cambios en la carga orgánica, variaciones de caudal y aportes domésticos no uniformes, factores que influyen directamente en el comportamiento del reactor.

**Tabla 16** Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para la demanda química de oxígeno (DQO)

	M1	M2	M3
M1		212.13	160.21 -51.92
M2			
M3			

HSD = 37.66

En la Tabla 16 se muestra los resultados de los arreglos entre los grupos de la prueba de Tukey al 5 % para la DQO. Se aprecia que existe diferencia significativa del afluente (M1) con los dos RAFAS (M2 y M3), ya que el valor obtenido supera la diferencia significativamente honesta HSD (37.66); existiendo mayor significancia entre el afluente (M1) y el efluente M2 (212.13) que pertenece al RAFA 1.

#### 4.4. Porcentaje de Remoción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)

**Tabla 17** Porcentaje de remoción de la demanda química de oxígeno (DQO)

Puntos de monitoreo	Concentración promedio (mg/L)		Porcentaje remoción %
	Afluente	Efluente	
M2		427.30	33.17
M3	639.43	479.22	25.06

La eficiencia de remoción de la DQO mostrada en la Tabla 17 se aprecia en el M3 y M2 alcanzaron una remoción del 25.06 y 33.17 % de tal manera que la mayor eficiencia en reducción de la DQO se obtuvo en el M2 perteneciente al RAFA 1 con un valor de 33.17 %.

La eficiencia de reducción de la DQO es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica (Vidaurre, 2018).

Según Calzada y Martínez (2012) la DQO corresponde al contenido de materias orgánicas totales (biodegradables o no), donde se expresa por la cantidad de oxígeno en mgO<sub>2</sub>/L suministrados por dicromato potásico, que es necesario para la oxidación de las materias orgánicas (proteínas, glúcidos, lípidos, etc.) presentes en las aguas.

Los porcentajes de remoción de la BQO alcanzados en el M2 y M3 fueron menores con los obtenidos por Quispe (2015), quien obtuvo una eficiencia de 57.0 %. Que evaluó la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digestor de lodos aplicado a una localidad ubicada a una altitud de 3800 msnm. Mientras que Castro (2018) obtuvo una eficiencia de 55.28 %. En la remoción de la materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos, de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica y Sánchez (1998) obtuvo un porcentaje de remoción de 63.0 %. Estas diferencias se explicarían principalmente por: (i) un (TRH) menor al óptimo en el RAFA de Celendín, que reduce el tiempo de contacto entre el agua residual y la biomasa; (ii) variaciones en la carga orgánica del afluente, que generan inestabilidad en el proceso anaerobio; y (iii) el estado interno del reactor, que podría presentar condiciones hidráulicas o biológicas no favorables (como distribución no uniforme del flujo o alteraciones en el manto de lodos). En conjunto, estos factores habrían limitado la eficiencia de remoción de DQO respecto a los valores reportados en otros estudios.

En relación con los cálculos de diseño de la PTAR, los dos reactores de flujo ascendente (RAFA) deberían tener una eficiencia de remoción total de la DQO del 78.3 %, un caudal máximo de 45.6 L/s y un THR de 8.5 h; sin embargo, en base a los resultados obtenidos en la presente investigación, podemos determinar que el RAFA de la

PTAR de Celendín tiene una eficiencia del 25.06 al 33.17 % para DQO, no cumpliendo con los parámetros establecidos de diseño. Este bajo porcentaje de remoción se debe a que se presentó un aumento desmedido de la población, aumentando de esta manera el caudal promedio a 58.70 L/s y disminuyendo el TRH a 3.4 h, dado que a mayor TRH existe más actividad microbiana. Como consecuencia lógica, este dato se utiliza entonces para garantizar un mejor seguimiento del rendimiento de la depuración del agua residual dentro del RAFA (GORE Cajamarca, 2007).

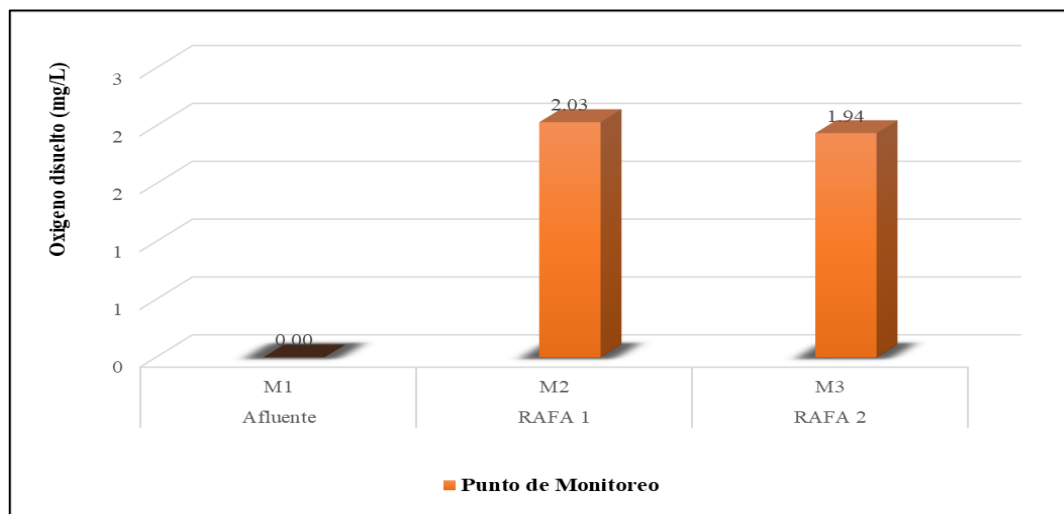
#### 4.5. Parámetros de Campo

##### 4.5.1. Oxígeno disuelto

Se registraron concentraciones de oxígeno disuelto desde un valor mínimo de 0 mg/L en el M1 hasta un valor máximo de 2.73 mg/L en el M3. Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 0 mg/L en el M1 hasta un valor máximo de 2.03 mg/L en el M2, se aprecian en la Figura 10.

**Figura 10**

*Oxígeno disuelto en promedio.*



En la Figura 10. se muestra los resultados para el oxígeno disuelto, en los cuales se observa que los resultados obtenidos en promedio en el M1 cuyo resultado es 0 mg/L y en el M2 y M3 muestran un incremento progresivo. Si bien se sabe que el RAFA mantiene condiciones anaeróbicas a través de toda su profundidad, esto quiere decir que no hay presencia de oxígeno ya que, la carga es tan elevada que este se consume inmediatamente; sin embargo, en los análisis realizados se presentaron datos de OD, esto podría ser a consecuencia de factores como el aumento del caudal generando mayor presión en el efluente del RAFA evidenciándose pequeñas burbujas en la capa superficial.

En la Tabla 18 mostrada a continuación se observa los resultados del análisis de varianza para el OD, en los cuales se observa que existe significación estadística en el RAFA, dado que el valor de significación (p-valor: 0.00807 E-15) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias del OD en el RAFA se deben a la influencia del RAFA. Es decir, que el RAFA ejerce efecto significativo en el incremento del oxígeno disuelto (OD).

El coeficiente de variación es 28.62 %, este valor indica la variabilidad de los resultados (datos) en las concentraciones de OD en los reactores, asumido por la variabilidad de las características del agua residual afluente (presencia de días muy lluviosos por tanto mayor dilución y días sin lluvia, agua más concentrada). Además, la variación de datos en el afluente con respecto a los del efluente, haciendo que la media sea menos representativa y por ende se tenga un alto valor del coeficiente de variación, para este parámetro.

**Tabla 18** *Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	2	26.3265	13.1633	235.6552	0.00807 E-15
Error	27	1.5082	0.0559		
Total	29	27.8347			

CV = 28.62 %

**Tabla 19** *Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para oxígeno disuelto (OD)*

	M1	M2	M3
M1		-2.0330	-1.9380
M2			0.0950
M3			

HSD = 0.22

En la Tabla 19 se muestra los resultados de los arreglos entre grupos de la prueba de Tukey al 5 % para el OD, se aprecia la diferencia significativa del afluente (M1) con los dos RAFAs (M2 y M3), ya que el valor obtenido supera la diferencia significativamente honesta HSD (0.22).

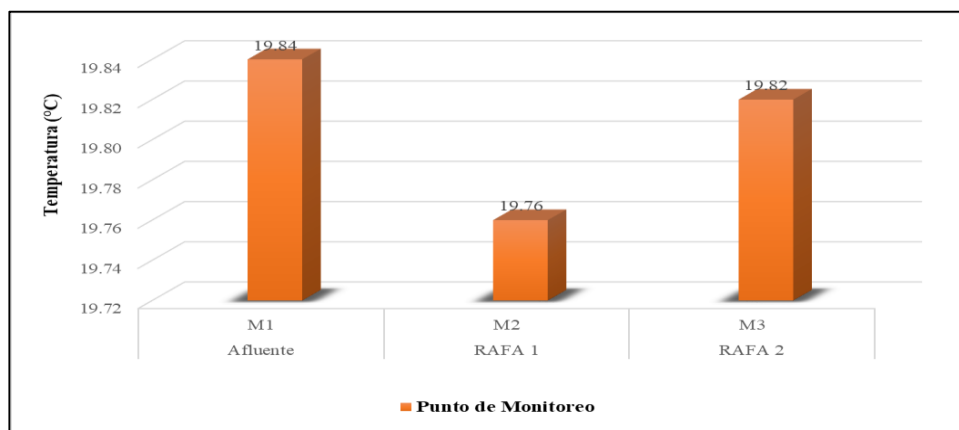
#### 4.5.2. Temperatura

En la figura 11 se observa el registro de la amplitud térmica desde un promedio mínimo de 19.76 °C en el M2 hasta un valor máximo de 19.84 °C en el M1, encontrándose un comportamiento normal de las aguas residuales. Mientras que castro (2018) registro una temperatura menor de 14.5 °C, que removi6 la materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos, de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica.

García (2012) menciona que la temperatura es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos, ya que la óptima temperatura debe estar entre 25 a 35 °C, mientras más alta, las velocidades de reacción son mayores, por lo cual el sustrato se degrada más rápido.

**Figura 11**

*Temperaturas en promedio*



**Tabla 20** *Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C)*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	2	0.0347	0.0173	0.0364	0.9642
Error	27	12.8440	0.4757		
Total	29	12.8787			

CV = 4.31 %

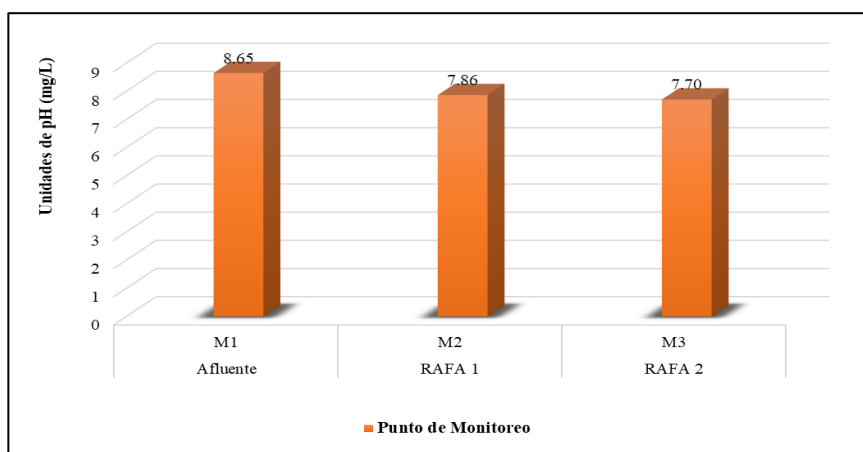
En la Tabla 20 se observa los resultados del análisis de varianza para la temperatura, en los cuales se observa que no existe significación estadística en el RAFA, dado que el valor de significación (p-valor: 0.9642) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5 %). Esto debido a que las diferencias de la temperatura obtenida no se

deben al RAFA, dicho de otra manera, el RAFA no produce un efecto significativo en la temperatura. El coeficiente de variación es 4.31 %, este valor índico la mínima variabilidad de la temperatura dentro del RAFA.

#### 4.5.3. pH

**Figura 12**

*pH en*



En la Figura 12. Se registraron concentraciones de potencial de hidrógeno desde un valor mínimo de 7.15 unidades de pH en el M3 hasta un valor máximo de 8.9 unidades de pH en el M1. Asimismo, los promedios variaron entre un mínimo de 7.70 unidades de pH en el M3 hasta un valor máximo de 8.65 unidades de pH en el M1.

Los microorganismos anaerobios necesitan un pH cercano a la neutralidad para su correcto desarrollo, aunque permiten cierta oscilación. Parece ser que el pH afecta fundamentalmente la actividad enzimática de los microorganismos, mediante cambios de estado de los grupos ionizables de las enzimas como el carboxilo y amino; alteración de

los componentes no ionizables del sistema. De no cumplirse esto, se presentan problemas graves si el pH baja de 6 o llega a estar encima de 8.3 (González y Sandoval, 2005).

En la Tabla 21 se observa los resultados del análisis de varianza para el pH, en los cuales existe significación estadística en el RAFA, dado que el valor de significación (p-valor: 0.001755 E-8) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de los pH obtenidos en el RAFA se deben a la influencia del RAFA. Es decir, que el RAFA ejerce efecto significativo en la remoción del pH. El coeficiente de variación es 5.6 %, este valor indica la variabilidad del pH.

**Tabla 21** *Análisis de varianza (ANOVA) para el pH*

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	F Calculado	P- Valor
Tratamiento	2	5.0816	2.5408	71.0371	0.001755 E-8
Error	27	0.9657	0.0358		
Total	29	6.0473			

CV = 5.6 %

**Tabla 22**

*Prueba de significación de Tukey al 5 % entre los grupos para pH*

	M1	M2	M3
M1		0.7820	0.9420
M2			0.1600
M3			

HSD = 0.17

En la Tabla 22 se muestra los resultados de los arreglos entre grupos de la prueba de Tukey al 5 % para el pH obtenido, se aprecia la diferencia significativa entre el afluente (M1) con los dos RAFAs (M2 y M3), ya que el valor obtenido supera la

diferencia significativamente honesta HSD (0.17). habiendo mayor significancia en el afluente M1 con el efluente del M3 (0.9420)

#### 4.5.4. Relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO

En la Tabla 23, se aprecia la relación entre la DBO<sub>5</sub> y DQO de los efluentes del RAFA. El estudio nos muestra que en el M1 y M3 presentan desechos biodegradables, que se puede usar cualquier proceso biológico; en el M2 presenta desecho biodegradable, que se puede usar filtros o lagunas de estabilización. La relación DBO<sub>5</sub>/DQO es un indicador de qué tan biodegradable es el agua residual. El agua residual doméstica presenta relaciones cercanas a 2:1; en la medida en que la relación vaya creciendo, es indicativo de que la materia oxidable presente es menos apta para ser consumida por los microorganismos. (ITC, 2006).

**Tabla 23** Relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO

Punto de monitoreo	DBO <sub>5</sub> /DQO	Calificación de biodegradabilidad	Escala biodegradabilidad citada (*)	
M1	0.62	Desecho biodegradable	DBO/DQO > 0,5	Desecho biodegradable, usar cualquier proceso biológico.
	0.52			
	0.55			
	0.54			
	0.59			
	0.56			
	0.61			
	0.56			
	0.57			
	0.67			
M2	0.45	Desecho biodegradable	0.5 ≥ DBO/DQO ≥ 0,2	Desecho biodegradable, usar filtros o lagunas de estabilización.
	0.49			

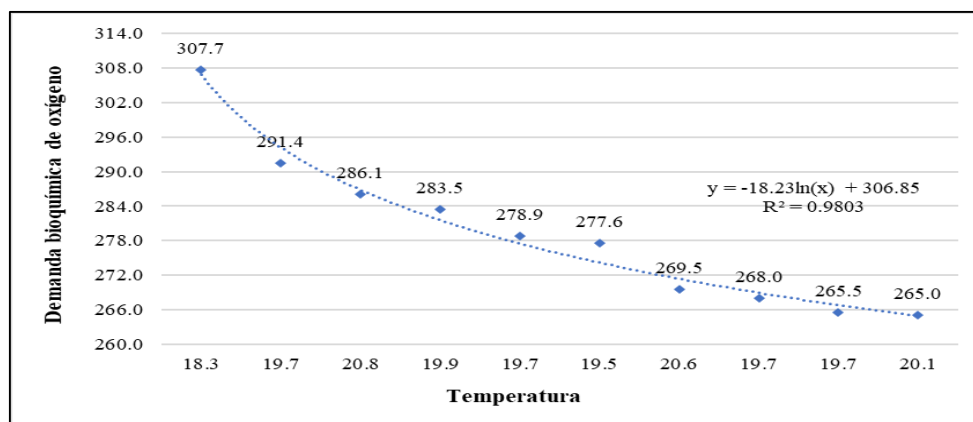
Punto de monitoreo	DBO <sub>5</sub> /DQO	Calificación de biodegradabilidad	Escala biodegradabilidad citada (*)
M2	0.48	Desecho biodegradable	$0.5 \geq \text{DBO}/\text{DQO} \geq 0,2$
	0.49		
	0.49		
	0.50		
	0.50		
	0.50		
	0.49		
M3	0.48	Desecho no biodegradable	$\text{DBO}/\text{DQO} < 0,2$
	0.50		
	0.57		
	0.55		
	0.57		
	0.52		
	0.50		
	0.51		
	0.50		
	0.53		
0.54			

Fuente. \*(González, 2010)

#### 4.5.5. Relación entre la temperatura y la DBO<sub>5</sub>

**Figura 13**

*Relación entre la temperatura con la DBO<sub>5</sub>*



En la Figura 13, se aprecia la relación de la temperatura con la DBO<sub>5</sub>; se puede visualizar la dispersión de la DBO<sub>5</sub> con la temperatura. El coeficiente de determinación es ( $R^2 = 0.9803$ ), indica que el parámetro temperatura se relaciona con la DBO<sub>5</sub>; la

obtención de la ecuación logarítmica del análisis de regresión realizado es:  $y = -18.23 \ln(x) + 306.85$ , la que nos permite establecer los datos y también permitirá predecir los datos a futuro y ver el comportamiento de la regresión logarítmica. Estos resultados muestran que la temperatura se relaciona con la remoción de la DBO<sub>5</sub>; se puede analizar que a mayor temperatura hay mayor actividad microbiana, tal como menciona García (2012), que la temperatura es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos, ya que la óptima temperatura debe estar entre 25 y 35 °C. Mientras más alta, las velocidades de reacción son mayores, por lo cual el sustrato se degrada más rápido

#### 4.5.6. Valores de los coeficientes cinéticos en los RAFA.

Datos entrantes:

Y = datos de monitoreo de la DBO<sub>5</sub>

Y<sup>2</sup> = datos de monitoreo de la DBO<sub>5</sub> elevado al cuadrado

$$Y' = \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2at} \quad \text{at = diferencia de tiempo } y_n = \text{DBO}_5 \text{ por día} \quad \left( \frac{0 - 265.03}{2 * 1} = 132.52 \right)$$

$$Y * Y'' = (70242.67 * 0.22 = 57.42)$$

**Tabla 24**  
coeficiente cinético de DBO<sub>5</sub>

Tiempo	Y	Y <sup>2</sup>	Y''	Y*Y''
0	0	0	132.52	0
1	265.03	70242.67	0.22	57.42
2	265.47	70472.55	1.25	331.83
3	267.97	71806.13	0.75	200.98

4	269.47	72612.28	4.05	1091.34
5	277.57	77043.25	0.65	180.42
6	278.87	77766.62	2.32	646.04
7	283.50	80372.25	1.32	373.27
8	286.13	81872.28	2.65	758.25
9	291.43	84933.39	8.12	2365.47
10	307.67	-		-
<b>Sumatoria</b>	<b>2485.43</b>	<b>687121.43</b>	<b>153.83</b>	<b>6005.03</b>

$K d^{-1}$  = constante cinética /  $L$  = DBO ultima

Para hallar los valores cinéticos se aplican la Ecuación 1 y 2

$$1 \quad n a + b \sum y - \sum y'' = 0$$

$$2 \quad a \sum y - b \sum y^2 - \sum y * y'' = 0$$

$$K = -b \quad K = \text{Constante cinético}$$

$$L = -a/b \quad L = \text{DBO ultima}$$

De la Tabla 24 la obtención de la DBO última y la constante cinética. obteniendo  $K = 2.64 \text{ d}^{-1}$  y  $L = 318.3$ , que al comparar con la tabla de valores típicos de coeficientes científicos expuesto por Grady y Lim (1980) se encuentra en el rango (2-10  $\text{d}^{-1}$ ). Esto está asociado a la facilidad de degradación de los compuestos presentes. Aquellos más fáciles de biodegradar se oxidan en los primeros días de incubación, con una mayor velocidad, quedando hacia los últimos días de incubación los compuestos más refractarios a la acción microbiana.

#### 4.5.7. Determinación de materia orgánica.

**Tabla 25** *Materia orgánica*

Días	DBO	Caudal L/s	CO Kg/día	DBO	Caudal L/s	CO Kg/día	DBO	Caudal L/s	CO Kg/día
	M1			M2			M3		
1	411.2	58.9	2091.2	248.3	58.9	1262.7	263.5	58.9	1340.0
2	362.8	57.3	1795.5	192.5	57.3	952.7	277.4	57.3	1372.9
3	344.3	58.9	1753.0	212.6	58.9	1082.5	247.0	58.9	1257.6
4	344.8	58.9	1753.5	241.4	58.9	1227.6	288.1	58.9	1465.1
5	365.4	58.8	1856.0	230.4	58.8	1170.3	240.8	58.8	1223.1
6	368.5	59.0	1878.1	209.2	59.0	1066.2	218.7	59.0	1114.7
7	394.2	60.3	2054.8	209.3	60.3	1091.0	247.0	60.3	1287.5
8	364.3	57.3	1802.9	210.2	57.3	1040.3	220.6	57.3	1091.7
9	344.7	60.4	1797.6	211.8	60.4	1104.6	251.9	60.4	1313.7
10	384.7	58.9	1956.4	211.3	58.9	1074.6	262.4	58.9	1334.4
<b>Promedio</b>	<b>368.5</b>	<b>58.9</b>	<b>1873.8</b>	<b>217.7</b>	<b>58.9</b>	<b>1107.0</b>	<b>251.7</b>	<b>58.9</b>	<b>1280.1</b>

En la Tabla 25 se observa la carga orgánica que entra en el RAFA (1873.8 kg/día) y las cargas orgánicas en las salidas del M1 (1107.0 kg/día) y M2 (1280.1 kg/día) evidenciándose que en el M1 hubo una reducción de la carga orgánica.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Los porcentajes de remoción de DBO<sub>5</sub> y DQO en el reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de agua de Celendín son 31,68% y 40,92%, respectivamente. El proceso de tratamiento es ineficaz en la eliminación y no cumple los criterios de diseño para la eliminación del DQO, que es del 78,3% (GORE Cajamarca, 2007).

La relación entre la DBO<sub>5</sub> y la BQO de las aguas residuales del RAFA muestra que M1 y M3 tienen aguas residuales biodegradables que pueden utilizarse en cualquier proceso biológico, mientras que M2 tiene aguas residuales biodegradables que pueden utilizarse en lagunas de estabilización o filtros.

Los parámetros de campo medidos fueron caudal 58,85 L/s, el oxígeno disuelto aumentó de 0 mg/L en la M1 a 2,73 mg/L en la M3, el pH se mantuvo en una media de 8.07 unidades y la temperatura se situó en una media de 19.8 °C.

## **5.2. Recomendaciones**

Dado los análisis obtenidos se recomienda seguir realizando estudios considerando monitorear a diferentes horas del día en el Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) de tal forma que permita evaluar la eficiencia real del tratamiento de las aguas residuales de Celendín.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arthur, P. M. A., Konaté, Y., Sawadogo, B., Sagoe, G., Dwumfour-Asare, B., Ahmed, I., & Williams, M. N. V. (2022). *Performance evaluation of a full-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor coupled with trickling filters for municipal wastewater treatment in a developing country*. *Heliyon*, 8(8), e10129.  
<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10129>
- Asto Santiago, L., & Cáceres Pérez, J. (2018). *Evaluación comparativa entre material PVC y grava como cama de sólidos en filtros anaerobios de flujo ascendente (FAFAs) para el tratamiento de desagües domésticos con énfasis en la remoción de materia orgánica*. Lima, Perú: universidad nacional de ingeniería.  
[https://agris.fao.org/search/en/providers/125040/records/6749789c7625988a37221d74?utm\\_source=chatgpt.com](https://agris.fao.org/search/en/providers/125040/records/6749789c7625988a37221d74?utm_source=chatgpt.com)
- Albernas., Carvajal, Y., Corsano, G., Mesa Garriga, L., Santos Herrero, R., & Gonzalez Suarez, E. (2015). *Estudio de la cinética del hidrólisis enzimática del bagazo pretratado*. *Revista de química teórica y aplicada*, 72(570), 127-132.  
[https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5284273&utm\\_source=chatgpt.com](https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5284273&utm_source=chatgpt.com)
- Briones García, L. N. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y Escherichia coli, en Celendín—Cajamarca*.

*Universidad Nacional de Cajamarca*

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/34>

Cabrera, A; Ortiz, E. (2005). *Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas para la parroquia San Pablo de Lago. Tesis Ing. En Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Ibarra, Ecuador, PUCE.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador (PUCE), Facultad de Ciencias Ambientales.

[https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3458/TESIS%20C%C3%89SAR%20VALDIVIA.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm\\_source=chatgpt.com](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/3458/TESIS%20C%C3%89SAR%20VALDIVIA.pdf?isAllowed=y&sequence=1&utm_source=chatgpt.com)

Camacho-Fidalgo, A. L. (2012). *Evaluación de la operación y propuestas de mejora del Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente del beneficio.* San Diego de VOLCAFE S.A.

<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2994>

Castro Cruzado, E. M. (2022). *Determinación de la efectividad del lombricompostaje en la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.* Universidad Nacional de Cajamarca.

[http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/49\\_50](http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/49_50)

Castro Olarte, J. (2018). *Evaluación de la remoción de materia orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente (UASB) para el tratamiento de aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica.* Huancavelica, Perú: Universidad Nacional de Huancavelica, Facultad de Ciencias de Ingeniería, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Sanitaria.

[https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4fb0ebeb-db9c-4786-8515-3cbcfa79a077/content?utm\\_source=chatgpt.com](https://apirepositorio.unh.edu.pe/server/api/core/bitstreams/4fb0ebeb-db9c-4786-8515-3cbcfa79a077/content?utm_source=chatgpt.com)

Castro Olarte, J., Cecilio Cabrera, Y., Gonzales Huamán, T. J., & Sumarriva Bustinza, L. (2019).

*Remoción de materia orgánica en reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente en el tratamiento de aguas residuales del camal de Huancavelica*. Revista de la Sociedad Química del Perú, 85(3), 362-375.

[https://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/246?utm\\_source=chatgpt.com](https://revistas.sqperu.org.pe/index.php/revistasqperu/article/view/246?utm_source=chatgpt.com)

Calzada, F; Martínez, J. 2012. *Diseño de un sistema industrial de enfriamiento con agua de refrigeración para un complejo industrial en lima, Perú*. Tesis. Ing. Técnico Mecánico. Madrid, España, UPIC.

Castillo Sánchez, J. G., & Chimbo Solórzano, J. E. (2021). *Eficiencia en la remoción de materia orgánica mediante lombrifiltros (Eisenia foetida) en aguas residuales domésticas para zonas rurales*. Enfoque UTE, 12(2), 80-99.

[https://ingenieria.ute.edu.ec/index.php/revista/article/view/746?utm\\_source=chatgpt.com](https://ingenieria.ute.edu.ec/index.php/revista/article/view/746?utm_source=chatgpt.com)

CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua). (2008). *Manual de depuración de aguas residuales urbanas*. Zaragoza, España: Secretariado Alianza por el Agua / Editorial Ideasmares. Ubicarlo en:

[https://biblioteca.exteriores.gob.es/bib/275351?utm\\_source=chatgpt.com](https://biblioteca.exteriores.gob.es/bib/275351?utm_source=chatgpt.com)

Ccente Rojas, A. E., & Huayllani Condor, I. N. (2021). “*Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno en la planta de tratamiento de aguas residuales de filtro percolador del distrito de paucará*”. Repositorio Institucional UNH. <http://repositorio.unh.edu.pe/handle/UNH/4175>

Chuquitarqui De la Cruz, Y. F., & Velásquez Huanca, M. E. (2017). *Diseño y construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente (R.A.F.A.) para el tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno*. Universidad Nacional del Altiplano.

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4499>

CONAGUA (omisión Nacional del Agua. Mexico). (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Humedales artificiales*. <https://agua.org.mx/biblioteca/manual-de-agua-potable-alcantarillado-yaneamientodisenodeplantasdetratamientodeaguasresidualesmunicipales-humedales-artificiales/>

Cunya, J. F. S. (2011, abril 7). *Investigación: La investigación científica (separata 2)*.

*Investigación y Academia*. <http://investigacionyacademia.blogspot.com/2011/04/la-investigacioncientifica-separata-2.html>

Cutrera, G., Manfredi, L., del Valle, C., & González, J. (1999). *On the determination of the kinetic parameters for the BOD test*. *Water SA*, 25(3), 377–379.

Delgado Portilla, E. R. (2022). *Tratamiento del efluente de la planta de tratamiento de agua residual de Celendín a través de humedales con el uso de la cola de zorro (myriophyllum aquaticum)*. Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4952>

Enríquez-Nateros, N. A., Cruz, R. M. Q.-D. la, Herrera-Quispe, C. A., & Hinojosa-Benavides, R.

A. (2021). *Descontaminación de Aguas Residuales Utilizando Reactores Anaerobios de Flujo Ascendente: Wastewater Decontamination Using Anaerobic Upflow Reactors.*

Scientific Research Journal CIDI, 1(2), 148-161. <https://doi.org/10.53942/srjcidi.v1i2.61>

Flowen. (2025, julio 30). *Parámetros de control en los tratamientos anaerobios de aguas residuales.* <https://flowen.com.pe/blog/parametros-de-control-en-los-tratamientos-anaerobios-de-aguas-residuales>

García Castillo, C. C. (2012). *Evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de las aguas residuales de los rastros en un reactor UASB.*

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4674](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4674)

García Ortiz, J. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín—Cajamarca.* Universidad Nacional de Cajamarca. <https://doi.org/10/G72-T>

Gaviria, C. A. O., Cabrera, C. C. T., & Losada, L. M. (2014). *Arranque de un Reactor UASB para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en Condiciones Andino Amazónicas.* Revista Facultad de Ciencias Básicas, 10(2), 170-185.

<https://doi.org/10.18359/rfcb.328>

González-Sánchez, M. E., Pérez-Fabiél, S., Wong-Villarreal, A., Bello-Mendoza, R., &

YañezOcampo, G. (2015). *Residuos agroindustriales con potencial para la producción de metano mediante la digestión anaerobia.* Revista Argentina de Microbiología, 47(3), 229-

235. <https://doi.org/10.1016/j.ram.2015.05.003>

González, Y. y Sandoval, S. (2005). Diseño de sistemas de tratamiento y aprovechamiento de purines de origen bovino (Tesis de Licenciatura). Disponible en Escuela de Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Temuco.

<http://biblioteca.uct.cl/tesis/yohana-gonzalez-sebastian-sandoval/tesis.pdf>

Gonzalez V.(2010), “Estudios de Biodegradabilidad de Efluentes Industriales”, Ingeniería Química, pp97-111. [https://www.studocu.com/ec/document/universidad-san-francisco-de-quito/biotecnologia/practica-4-3-cursos-obligatorios/65742294?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.studocu.com/ec/document/universidad-san-francisco-de-quito/biotecnologia/practica-4-3-cursos-obligatorios/65742294?utm_source=chatgpt.com)

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la Investigación*. Sexta Edición. Editorial McGraw-Hill. México. Recuperado de: <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wpcontent/uploads/2017/08/metodologia-delainvestigación-sexta-edicion.compressed.pdf>.

López, J. (2011). *Evaluación de la eficiencia de un reactor anaeróbico de flujo ascendente y manto de lodos UASB para el tratamiento de aguas residuales — escala laboratorio* [Tesis de Ingeniería Química, Universidad San Francisco de Quito]. Repositorio Digital USFQ. <http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/75050>

Martel Segovia, K. V., & Pérez Bancayán, D. I. (2010). *Tratamiento de aguas residuales domésticas por medio del sistema en serie de U.A.S.B. y filtro biológico de flujo ascendente a escala experimental*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://repositorio.uni.edu.pe/handle/20.500.14076/18024>

Martínez Bardales, M. D. (2016). *Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín*. Universidad Nacional de Cajamarca. <https://doi.org/10/M385/2016>

Mejía-López, A., Cabrera, M., & Carrillo, Y. (2017). *remoción de contaminantes orgánicos presentes en agua residual doméstica mediante prototipo a escala de laboratorio. la granja*. Revista de Ciencias de la Vida, 26(2), 72-83.

Metcalf y Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3 ed. Trillo, JD (trad.). Madrid, España, McGraw HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.

Monsalve Monteza, K. K. (2017). *Reactor Anaerobio De Flujo Ascendente Para El Tratamiento De Aguas Residuales Del Camal Municipal De José Leonardo Ortiz*, 2015. Universidad Cesar Vallejo. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/32298>

MC Graw Hill. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. MC Graw Hill Interamericana S.A. Colombia.

Ochoa León, H. R. (2016). Comparación de la eficiencia de remoción de materia orgánica entre un reactor de lodos activados y un reactor anaerobio de flujo ascendente.

Ortega, R. D., & Suárez, J. C. V. (2015). *efecto de la variación de la carga orgánica en el desempeño de un reactor uasb (upflow anaerobic sludge blanket) tratando efluentes de una planta extractora de aceite de palma*. revista ambiental agua, aire y suelo, 4(1), Article 1. <https://doi.org/10.24054/19009178.v1.n1.2013.147>

Osorio Trujillo, A. F., & Vásquez Botero, J. C. (2007). *Evaluación de la remoción de la materia orgánica en filtros anaerobios de flujo ascendente utilizando aguas residuales sintéticas.*

<https://hdl.handle.net/11059/827>

Parra Huertas, R. A. (2015). *Digestión anaeróbica: Mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación en la industria alimentaria. Producción + Limpia*, 10(2), 142-159.

Pérez Montiel, J. I., Aldana Villasmil, G. J., Rojano Alvarado, R. E., Pérez Montiel, J. I., Aldana Villasmil, G. J., & Rojano Alvarado, R. E. (2016). *Evaluación hidráulica de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) usando un modelo de dispersión axial. Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(3), 281-291.

<https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.03.03>

Piñón Chávez, A. E. (2015). *Evaluación de la capacidad de remoción de materia orgánica de agua residual de rastro en un reactor anaerobio a flujo pistón con temperatura controlada.*

[http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB\\_UMICH/4717](http://bibliotecavirtual.dgb.umich.mx:8083/xmlui/handle/DGB_UMICH/4717)

Quispe Cotrina, F. (2019). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín—Cajamarca.* Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3461>

Quispe Livisi, J. A., & Quispe Livisi, J. A. (2015). *Estudio de la remoción de carga orgánica en un reactor anaerobio de manto de lodos de flujo ascendente con digester de lodos aplicado a una localidad ubicado a una altitud de 3800 msnm.* Universidad Nacional de

Ingeniería. <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/2343173>

Ramalho, R. 2003. *Tratamiento de Aguas Residuales*. Barcelona, España. Disponible en

<https://es.slideshare.net/IngAmbientalMX/tratamiento-de-aguas-residuales-rs-ramalho>

Reutelshofer, T. 2015. *Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Primera edición. La Paz, Bolivia. Disponible en

<https://www.bivica.org/files/5376-aguas-residuales-muestra.pdf>

Instituto Tecnológico de canarias (ITC, 2006). *Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población: Mejora de la calidad de los afluentes*.

España. Disponible en <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamiento-deaguas-residuales-urbanas-parapequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>

Larrota, L., Uribe-García, L., Gómez-Torres, L., Zafra-Mejía, C., Salazar-Larrota,

L., UribeGarcía, L., Gómez-Torres, L., & Zafra-Mejía, C. (2019). *Análisis de la eficiencia de reactores UASB en una planta de tratamiento de aguas residuales municipales*.

DYNA, 86(209), 319-326. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>

Lecca, E; Ruiz, E. 2014. *Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno*. Lima, Perú. Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial vol. 17. N°. 1.

enerojunio, pag.71-80. Consultado 09 jul. 2020. Disponible en

<https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>

Salazar Rodríguez, J. R. (2021). *Eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de*

*tratamiento de aguas residuales de Celendín*. Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4083>

Sanchez Barrios, C. G. (1998). *Evaluación del Raza de UNI-TRAR con énfasis en la producción, características y comportamiento del manto de lodos y producción de Biogas*.

Sánchez Vásquez, J. H. (2019). *Determinación de la concentración de metales (Al, Fe, Mn, Ba) en el punto afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales— Celendín*. Universidad Nacional de Cajamarca. Repositorio institucional - UNC.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/3267>

Stazi, V., Annesini, M. C., & Tomei, M. C. (2022). *Anaerobic domestic wastewater treatment in a sequencing granular UASB bioreactor: Feasibility study of the temperature effect on the process performance*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108512.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108512>

Stewart M. Oakley. (2005). *Lagunas de estabilización en Honduras: Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad (en línea)*. California, Estados Unidos. <http://cidbimena.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacionenhonduras.pdf>

Sun, H., Yu, N., Mou, A., Yang, X., & Liu, Y. (2022). *Effluent recirculation weakens the hydrolysis of high-solid content feeds in upflow anaerobic sludge blanket reactors*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(3). Scopus.

<https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.107913>

Terrerros-Mecalco, J., Olmos-Dichara, A., Noyola-Robles, A., Ramírez-Vives, F., &

MonroyHermosillo, O. (2009). *Produce ácidos orgánicos*

[Http://www.scielo.org.mx/scielo.php?](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1665-27382009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es)

script=sci\_abstract&pid=S1665-27382009000200001&lng=es&nrm=iso&tlng=es.

Revista mexicana de ingeniería química, 8(2), 153-161.

Tirado Salazar, Z. I. (2022). *Porcentaje de remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín*. Universidad Nacional de Cajamarca.

<http://repositorio.unc.edu.pe/handle/20.500.14074/4733>

Vélez Meza, E. M. (2020). *Análisis del reactor anaeróbico de flujo ascendente (uasb) para aprovechamiento energético en pequeñas Unidades Agroproductivas en Imbabura*.

<http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10360>

Vidaurre Damian, L. 2018. *Eficiencia de la retención de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del distrito la florida, San Miguel, Cajamarca*. noviembre – diciembre de 2013. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental. Lambayeque, Perú. UNPRG.

## **CAPÍTULO VII.**

### **ANEXOS**

**ANEXO 1. Matriz de consistencia.**

**ANEXO 2. Cálculos de los resultados.**

**ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo.**

**ANEXO 4. Panel fotográfico.**

**ANEXO 5. Planos de la planta de tratamiento de aguas residuales.**

**ANEXO 6. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua.**

## ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia.

**Tabla 27**

*Matriz de consistencia*

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuál es el porcentaje de remoción de materia orgánica del reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín?	<b>OBJETIVO PRINCIPAL</b> Determinar el porcentaje de remoción de materia del reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín	El porcentaje de remoción de materia orgánica oscila entre 52% a 66% en el reactor anaerobio de flujo ascendente	<b>VARIABLES DEPENDIENTES</b> Porcentaje de remoción de materia orgánica.	Agua residual procedente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.
	<b>OBJETIVOS ESPECIFICOS</b> Determinar la concentración de demanda bioquímica orgánica de oxígeno y demanda química de oxígeno del reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. Evaluar los parámetros de caudal, oxígeno disuelto, pH y temperatura del reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.		<b>VARIABLES INFLUYENTES</b> Características fisicoquímicas del reactor anaerobio de flujo ascendente	

## ANEXO 2. Cálculos de los resultados.

### Cálculos del promedio de los resultados de la DBO<sub>5</sub>

$$M1 = \frac{384.7+362.8+411.2+344.8+344.7+365.4+344.3+364.3+368.5+394.2}{10} = 368.49$$

El promedio de los resultados para M1 (Afluyente) es 368.49 mg O<sub>2</sub>/L.

$$M2 = \frac{211.3+192.5+248.3+241.4+211.8+230.4+212.6+210.2+209.2+209.3}{10} = 217.7$$

El promedio de los resultados para M2 (RAFA 1) es 217.7 mg O<sub>2</sub>/L.

$$M3 = \frac{262.4+277.4+263.5+288.1+251.9+240.8+247+220.6+218.7+247}{10} = 251.74$$

El promedio de los resultados para M3 (RAFA 2) es 251.74 mg O<sub>2</sub>/L.

#### **Cálculos de eficiencia de remoción de la DBO<sub>5</sub>.**

$$M2 = \frac{368.49 - 217.70}{368.49} * 100 = 40.92 \%$$

$$M3 = \frac{368.49 - 251.74}{368.49} * 100 = 31.68 \%$$

#### **Cálculos del promedio de los resultados de la DQO**

$$M1 = \frac{573+697.9+662.2+644.3+608.7+620.4+630.5+650.2+662.2+644.9}{10} = 639.43$$

El promedio de los resultados para M1 (Afluyente) es 639.43mg O<sub>2</sub>/L.

$$M2 = \frac{400.5+343.4+555.1+458.4+429.8+420.3+418.5+415.8+415.6+415.6}{10} = 427.30$$

El promedio de los resultados para M2 (RAFA 1) es 427.30 mg O<sub>2</sub>/L.

$$M3 = \frac{485.6+486.9+555.1+501.6+472.7+460.6+450.2+448.5+444.1+486.9}{10} = 479.22$$

El promedio de los resultados para M3 (RAFA 2) es 479.22 mg O<sub>2</sub>/L.

#### **Cálculos de eficiencia de remoción de la DQO.**

$$M2 = \frac{639.43 - 427.30}{639.43} * 100 = 33.17 \%$$

$$M3 = \frac{639.43 - 479.22}{639.43} * 100 = 25.06 \%$$

### Cálculos de relación entre de la DBO<sub>5</sub>/DQO.

$$M1 = \frac{368.49}{639.43} = 0.58 \text{ biodegradables}$$

$$M2 = \frac{217.7}{427.30} = 0.51 \text{ biodegradables}$$

$$M3 = \frac{251.74}{479.22} = 0.53 \text{ biodegradables}$$

### ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo

Monitoreos	Origen	Parámetro	OD	pH	T	Caudal	TRH
		Unid. De Medida	mg/L	Unidad	°C		
Peimer monitoreo	Afluente	M1	0	8.06	18.1	58.86	3.34
	RAFA 1	M2	1.99	7.97	18.5		
	RAFA 2	M3	1.75	7.99	18.2		
Segundo monitoreo	Afluente	M1	0	8.65	20.7	57.28	3.43
	RAFA 1	M2	1.93	7.8	20.8		
	RAFA 2	M3	1.77	7.74	20.9		
Tercer monitoreo	Afluente	M1	0	8.81	19.6	58.93	3.33
	RAFA 1	M2	1.92	8.08	19.4		

	RAFA 2	M3	1.44	7.15	19.5		
Cuarto monitoreo	Afluente	M1	0	8.67	19.8		
	RAFA 1	M2	1.90	7.8	19.6	58.86	3.34
	RAFA 2	M3	1.78	7.75	19.8		
Quinto monitoreo	Afluente	M1	0	8.7	20.7		
	RAFA 1	M2	2.70	7.9	20.3	58.79	3.34
	RAFA 2	M3	2.73	7.85	20.7		
Sexto monitoreo	Afluente	M1	0	8.65	19.8		
	RAFA 1	M2	1.98	7.83	19.7	58.99	3.33
	RAFA 2	M3	1.96	7.7	19.7		
Séptimo monitoreo	Afluente	M1	0	8.67	19.8		
	RAFA 1	M2	1.87	7.9	19.6	60.33	3.26
	RAFA 2	M3	1.89	7.76	19.6		
Octavo monitoreo	Afluente	M1	0	8.7	20.2		
	RAFA 1	M2	1.98	7.85	20.1	57.28	3.43
	RAFA 2	M3	2.01	7.79	20.1		
Noveno monitoreo	Afluente	M1	0	8.65	19.8		
	RAFA 1	M2	2.03	7.75	19.7	60.36	3.25
	RAFA 2	M3	2.05	7.63	19.7		
Decimo monitoreo	Afluente	M1	0	8.9	19.9		
	RAFA 1	M2	2.03	7.76	19.9	58.86	3.34
	RAFA 2	M3	2	7.68	20		

**ANEXO 4. Panel fotográfico.****Foto 1.** Medición del caudal método del flotador.



**Foto 2.** Recojo de las muestras en los puntos de monitoreo para la medición de materia orgánica.



**Foto 3.** Medición de los efluentes de los puntos de monitoreo M2 y M3.



**Foto 4.** Medición del afluente del punto de monitoreo M1.



**Foto 5.** Medición de los parámetros de campo con el multiparámetro marca HANNA en la

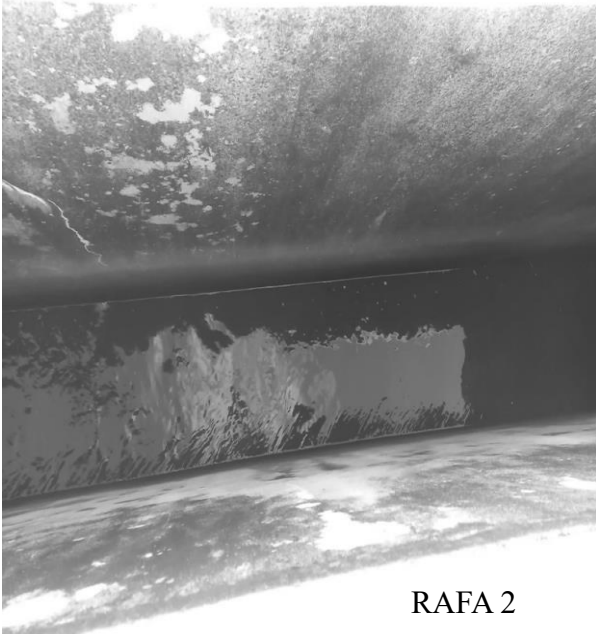
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental.



Foto 6. Diseño del RAFA 1.



Foto 7. Diseño del RAFA 2.



RAFA 2



RAFA 1



RAFA 2

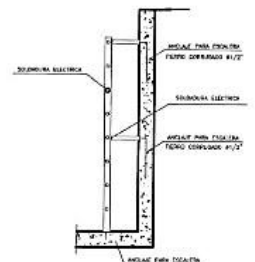
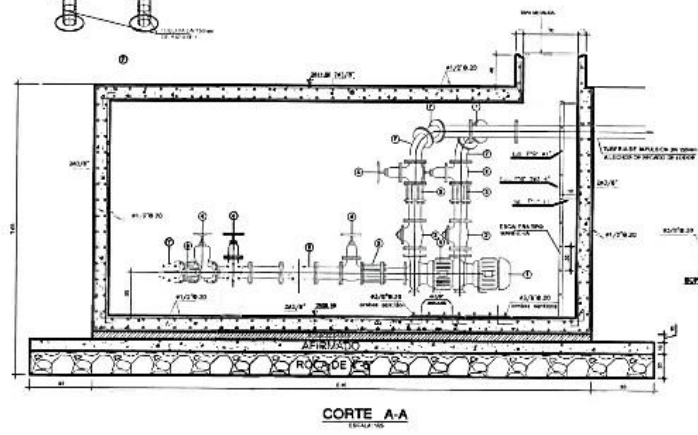
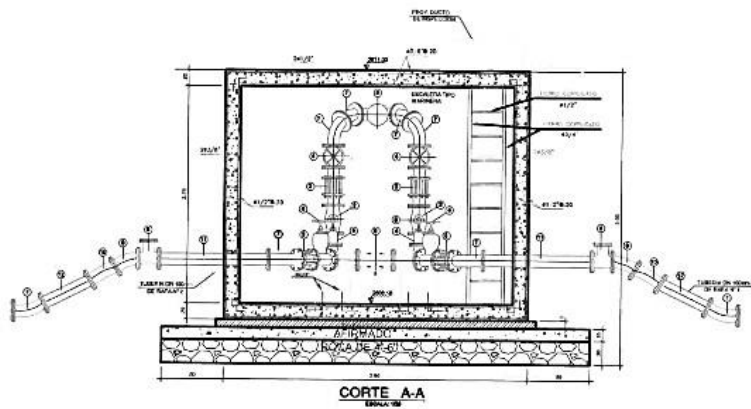
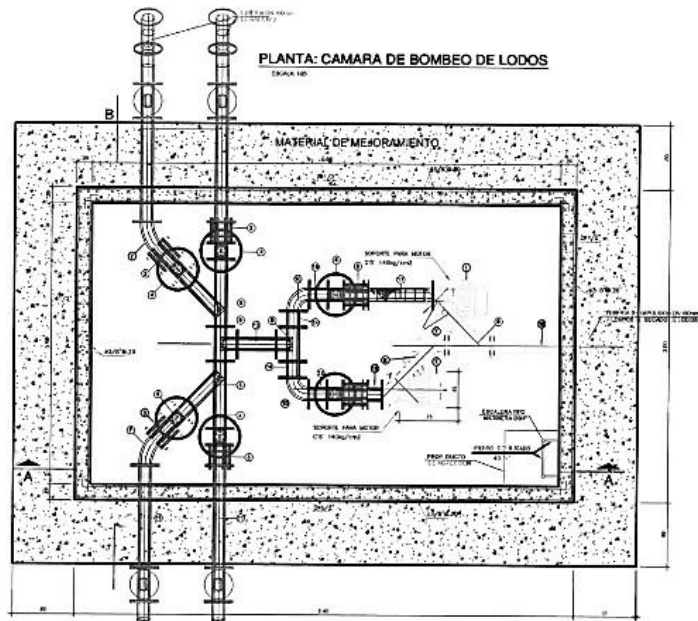
RAFA 1

**Foto 8.** Comparación del efluente del RAFA; en la izquierda efluente del RAFA 2 y en la derecha efluente del RAFA 1.









**NOMENCLATURA DE ACCESORIOS**

ITEM	DESCRIPCION	UND.	CANT.
1	ELECTROBOBINAS DE REPLICACION DE 1/2" HORIZONTAL	UND.	2
2	VALVULA CHECK	UND.	2
3	UNION FLEXIBLE TIPO DRESSER 80mm ALTO BANDA	UND.	8
4	VALVULA DE COMPENSACION 150mm HD-80	UND.	3
5	TEE DN 150mm HD-80	UND.	4
6	TEE DN 150mm x 150mm HD-80	UND.	4
7	COUDO DN 150mm x 80mm HD-80	UND.	10
8	COUDO DN 150mm x 150mm HD-80	UND.	2
9	COUDO DN 150mm x 150mm HD-80	UND.	4
10	COUDO DN 150mm x 220mm HD-80	UND.	4
11	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.80m	UND.	4
12	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.80m	UND.	4
13	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 0.30m	UND.	1
14	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 0.30m	UND.	2
15	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	2
16	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	1
17	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	1
18	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	1
19	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	1
20	TUBERIA 150mm HD-80 Lx 1.20m	UND.	1

*Ing. Victor Alejandro Tajar Villota*  
 COORDINADOR DE PROYECTOS  
 UNIDAD DE INGENIERIA - PROREGION  
 GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA



MEJORAMIENTO Y AMPLIACION DE LOS SISTEMAS DE AGUA POTABLE, ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE LA CIUDAD DE CUELLENDO

**PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

**CAMARA DE BOMBEO DE LODOS**  
 PLANTA, CORTES Y DETALLES

FECHA: 02/06/2016  
 LOCALIDAD: CUELLENDO  
 DEPARTAMENTO: CAJAMARCA

INGENIERO EN JEFE: **ING. VICTOR A. PLASENZA FERNANDEZ**  
 INGENIERO EN PROYECTO: **ING. VICTOR ALEJANDRO TAJAR VILLOTA**

UNIDAD EJECUTORA DE PROGRAMAS REGIONALES - PROREGION

PROYECTO: **L-06-PTAR**



## ANEXO 6. Resultados de los análisis del Laboratorio Regional del Agua



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



### INFORME DE ENSAYO N° IE 1222764

#### DATOS DEL CLIENTE

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

#### DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **19.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
Ensayos solicitados **Fisicoquimicos- Microbiológicos**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservación y conservación**  
Referencia de la Muestra: **Celendin**

#### DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 764 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **19.12.22 15:00** Inicio de Ensayo **19.12.22 15:30**  
Reporte Resultado **06.01.23 17:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222764**

ENSAYOS			QUIMICOS				
Código de la Muestra	M1	M2	M3	-	-	-	
Código Laboratorio	1222764-1	1222764-2	1222764-3	-	-	-	
Matriz	Residual	Residual	Residual	-	-	-	
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-	
Localización de la Muestra	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-	
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	384.7	211.3	262.4	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	573.0	400.5	485.6	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VERNIGAS Azari Jose  
FAU 20433744106 508

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 08:07 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20433744106 508

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:01 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222765**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **20.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 765 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **20.12.22 15:10** Inicio de Ensayo **20.12.22 15:50**  
Reporte Resultado **06.01.22 17:05**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel PAU 20452744166.pdf  
Módulo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:15 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222765**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222765-1	1222765-2	1222765-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	362.8	192.5	277.4	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	697.9	343.4	486.9	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

V° B° 3-F01 Rev: N°02 Fecha : 03/07/2020

Firmado digitalmente por  
COLINA VENDOAS Juan Jose  
PAU 20453744168.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:08 p. m.

Cajamarca, 06 de Enero de 2023

V° B°

Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
PAU 20453744168.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:02 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222771**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **21.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 771 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **21.12.22 15:30** Inicio de Ensayo **21.12.22 16:00**  
Reporte Resultado **06.01.23 17:20**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel PAU 3345374169.pdf  
Motivo: Soy el autor del documento.  
Fecha: 06/01/2023 06:19 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

*Cajamarca, 06 de Enero de 2023*



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222771**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222771-1	1222771-2	1222771-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	411.2	248.3	263.5	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	662.2	555.1	555.1	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEZAS Juan-José  
FAU 20453744166.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:09 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744166.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:02 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222774**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **22.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 774 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **22.12.22 15:20** Inicio de Ensayo **22.12.22 16:10**  
Reporte Resultado **06.01.23 17:20**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel PAU 20453744168 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:17 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

*Cajamarca, 06 de Enero de 2023*



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222774**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222774-1	1222774-2	1222774-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	344.8	241.4	288.1	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	644.3	458.4	501.6	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan Jose  
PAU 20453744100.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:10 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
PAU 20453744100.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:03 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222775**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
 Dirección -  
 Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **23.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
 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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 775 - 22**  
 Fecha y Hora de Recepción **23.12.22 15:10** Inicio de Ensayo **23.12.22 15:55**  
 Reporte Resultado **06.01.23 17:30**

**LABORATORIO REGIONAL  
 DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
 Ester Miguel FAU 20453744108 soft  
 Motivo: Soy el autor del documento  
 Fecha: 06/01/2023 06:18 p.m.

Edder Neyra Jaico  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222775**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222775-1	1222775-2	1222775-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	344.7	211.8	251.9	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	608.7	429.8	472.7	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

- (\*) Los resultados obtenidos corresponden a métodos y/o matriz que no han sido acreditados por el INACAL - DA.  
 (†) Los Resultados son referenciales, no cumplen los requisitos de volumen, tiempo, preservación o conservación estipulado por el método, por lo tanto no se encuentra dentro del alcance de acreditación.  
 ✓ Los resultados Indicados en este Informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua . Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.  
 ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.  
 ✓ Las muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo; luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.  
 ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.  
 ✓ Se prohíbe el uso del símbolo de acreditación o la declaración de condición de 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, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
 OCLINA VENEZAS Juan Jose  
 FAU 20453744168 soft  
 Motivo: Visto en señal de conformidad  
 Fecha: 06/01/2023 06:10 p. m.

LABORATORIO REGIONAL  
 DEL AGUA



Firmado digitalmente por  
 LOPEZ LEON Freddy Humberto  
 FAU 20453744168 soft  
 Motivo: Visto en señal de conformidad  
 Fecha: 06/01/2023 06:03 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222768**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **24.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 768 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **24.12.22 15:30** Inicio de Ensayo **19.12.22 16:30**  
Reporte Resultado **06.01.23 18:00**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Printado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Neyra JAICO 20453744 188 5051  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:14 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222768**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222764-1	1222764-2	1222764-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	365.4	230.4	240.8	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	620.4	420.3	460.6	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan Jose  
FAU 20403744108 005

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:07 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LOPEZ Freddy Humberto  
FAU 20453744108 005

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:01 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222769**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEIVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEIVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **26.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 769 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **26.12.22 15:30** Inicio de Ensayo **16.12.22 16:30**  
Reporte Resultado **06.01.23 18:00**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel FAU 20403744 188 5081  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:14 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222769**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222764-1	1222764-2	1222764-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	PTAR- Celendin	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	344.3	212.46	247.1	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	630.5	418.5	450.2	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan José  
PAU 20403744108 608

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 08:07 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LCDR Freddy Humberto  
PAU 20451744108 608

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 08:01 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222776**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **27.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 776 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **27.12.22 15:00** Inicio de Ensayo **27.12.22 15:30**  
Reporte Resultado **06.01.23 17:30**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Edder Miguel PAJ 20453744168 ash  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:18 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222776**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222776-1	1222776-2	1222776-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	368.5	208.2	218.7	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	662.2	415.6	444.1	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan Jose  
FAU 204533744168 x0f

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:10 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 204533744168 x0f

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:03 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222777**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEIVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEIVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **28.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 777 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **28.12.22 17:05** Inicio de Ensayo **28.12.22 17:20**  
Reporte Resultado **06.01.23 17:35**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Editor: Miguel PFAU 20450794199 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:18 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222777**

ENSAYOS			QUÍMICOS					
Código de la Muestra			M1	M2	M3	-	-	-
Código Laboratorio			1222777-1	1222777-2	1222777-3	-	-	-
Matriz			Residual	Residual	Residual	-	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra			PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	PTAR- Celendín	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6000	394.2	211.1	246.9	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3000	644.9	415.6	486.9	-	-	-

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

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizado
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

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

Cajamarca, 06 de Enero de 2023



Firmado digitalmente por  
COLINA VENEGAS Juan Jose  
FAU 20452744168.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:10 p. m.



Firmado digitalmente por  
LOPEZ LEON Freddy Humberto  
FAU 20453744168.pdf

Motivo: Visto en señal de conformidad  
Fecha: 06/01/2023 06:04 p. m.



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 1222778**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ**  
Dirección -  
Persona de contacto **DEVIS EIDAN DIAZ PEREZ** Correo electrónico [ddiazp14@unc.edu.pe](mailto:ddiazp14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **29.12.22** Hora de Muestreo **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 **03**  
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: **Celendín**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC-1033** Cadena de Custodia **CC - 778 - 22**  
Fecha y Hora de Recepción **29.12.22 15:30** Inicio de Ensayo **18.12.22 16:30**  
Reporte Resultado **06.01.23 18:00**

**LABORATORIO REGIONAL  
DEL AGUA**



Firmado digitalmente por NEYRA JAICO  
Eduar Miguel PAU 20403744 188 5011  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 06/01/2023 06:14 p.m.

Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028

Cajamarca, 06 de Enero de 2023