

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Escuela Académico Profesional De Ingeniería Ambiental



TESIS

**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.**

Para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

PRESENTADO POR

BACHILLER: Franklin Quispe Cotrina

ASESOR: Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza

CAJAMARCA - PERÚ

-2019-



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Norte de la Universidad Peruana

Fundada por Ley 14015 del 13 de febrero de 1962

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Cajamarca, a los catorce días del mes de octubre del Año dos mil diecinueve, se reunieron en el ambiente 2C – 211 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los integrantes del Jurado designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 327-2019-FCA-UNC, Fecha 12 de Julio del 2019, con el objeto de Evaluar la sustentación de la Tesis titulada: **“EFICIENCIA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES, EN LA REDUCCIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXIGENO Y DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO EN CELENDÍN - CAJAMARCA”**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**, del Bachiller: **QUISPE COTRINA FRANKLIN**

A las nueve horas y treinta minutos y de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el acto. Después de la exposición del trabajo de Tesis, la formulación de preguntas y de la deliberación del Jurado, el Presidente anunció la aprobación por unanimidad con el calificativo de diecisiete (17).

Por lo tanto, el graduando queda expedita para que se le expida el **Título Profesional** correspondiente.

A las diez horas y cuarenta minutos, el presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Cajamarca, 14 de octubre de 2019.

Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia
PRESIDENTE

Ing. José Lizandro Silva Mego
VOCAL

Ing. M.Sc. Segundo César Guevara Cieza
SECRETARIO

Dr. Glicerio Eduardo Torres Carranza
ASESOR

DEDICATORIA

...El presente trabajo se la dedico en especial a nuestro creador por haberme acompañado y guiado en todo momento; por darme la salud y la fuerza de voluntad para culminar con este proyecto de investigación...

...A mis padres y abuelos, quienes inculcaron en mí sus sabios consejos para ser una persona de bien, a ellos quienes me brindaron su amor, cariño y comprensión en los momentos difíciles de mi vida para alcanzar mis objetivos propuestos...

AGRADECIMIENTO

...A **Dios**, por darme la oportunidad de vivir y acompañarme en cada paso que doy para lograr mis objetivos y metas planteadas...

...A **mis padres y abuelos**, quienes fueron el pilar fundamental en todo lo que soy y haberme apoyado en todo momento, por sus sabios consejos y valores inculcados para hacer una persona de bien...

...A **mis hermanos y esposa** por brindarme su apoyo moral e incondicional durante todo este tiempo, por la motivación a seguir adelante en mi carrera profesional y cumplir mis objetivos...

...Al **asesor** quien, con su experiencia, conocimiento y su disponibilidad de tiempo supo orientarme durante la ejecución de este proyecto...

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	ix
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación.....	3
2.2. Bases teóricas.....	7
2.2.1. Aguas residuales.....	7
2.2.2. Clasificación de las aguas residuales según su origen.....	8
2.2.2.1. Aguas residuales domésticas.....	8
2.2.2.2. Aguas residuales industriales.....	8
2.2.2.3. Aguas residuales pluviales.....	8
2.2.3. Características Físicas, químicas y biológicas del agua residual.....	9
2.2.4. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	10
2.2.5. Características químicas de las aguas residuales.....	12
2.2.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno.....	12
2.2.5.2. Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno.....	12
2.2.5.3. Procedimiento de datos de la DBO ₅	13
2.2.5.4. Demanda química de oxígeno.....	13
2.2.5.5. Determinación de la demanda química de oxígeno.....	14
2.2.5.6. Relación de la DBO ₅ /DQO en aguas residuales.....	14
2.2.6. Tratamiento de las aguas residuales.....	14
2.2.7. Tecnologías aplicadas al tratamiento de las aguas residuales.....	15
2.2.8. Niveles de tratamiento de las aguas residuales.....	16
2.2.9. Componentes de la planta de tratamiento de aguas residuales Celendín.....	17
2.2.8.1. Tratamiento preliminar.....	18
2.2.8.2. Tratamiento secundario.....	19
2.2.10. Cálculos de diseño de la PTAR.....	21
2.2.9.1. Caudal de diseño del sistema de tratamiento.....	22
2.2.9.2. Cargas orgánicas.....	22
2.2.9.3. Resumen de las bases de diseño.....	23
2.2.9.4. Características de los procesos de tratamiento.....	23
2.2.9.5. Características físicas de diseño y eficiencia del RAFA.....	24
2.2.9.6. Características físicas de diseño y eficiencia de la laguna de maduración.....	25
2.2.11. MINAM (Ministerio del Ambiente)	27
2.2.12. Decreto legislativo N° 1285.....	27

2.2.13. Ley de servicios de saneamiento.....	28
CAPÍTULO III.....	29
MATERIALES Y MÉTODOS.....	29
3.1. Ubicación del trabajo de investigación.....	29
3.2. Acceso a la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).....	31
3.3. Características climáticas y edafológicas.....	31
3.4. Materiales.....	31
3.4.1. Material de campo.....	31
3.4.2. Material y equipos de laboratorio.....	32
3.5. Metodología.....	33
3.6.1. Trabajo de campo.....	33
3.6.2. Trabajo de laboratorio.....	35
3.6.3. Trabajo de gabinete.....	35
CAPÍTULO IV.....	38
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	38
4.1. Concentración en el afluente y efluente de la DQO.....	38
4.2. Comparación de resultados de la DQO del afluente con los LMP.....	39
4.3. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DQO.....	40
4.4. Concentración en el afluente y efluente DBO ₅	41
4.5. Comparación de resultados de la DBO ₅ del efluente con los LMP.....	42
4.6. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DBO ₅	43
CAPÍTULO V.....	45
CONCLUSIONES.....	45
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46
ANEXOS.....	49
Resultados de análisis de parámetros de campo del afluente y efluente de la PTAR....	50
Registro fotográfico.....	51
Resultados de análisis del Laboratorio Regional del Agua.....	55
Glosario de términos.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de una PTAR domésticas y eficiencia. (Sunass, 2015).....	15
Figura 2. Proceso PAMLA o UASB con laguna facultativa. (Romero, 2004).....	17
Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la PTAR.....	29
Figura 4. Ubicación de la PTAR – Celendín.....	30
Figura 5. Concentración en el afluente y efluente de la DQO en la PTAR.....	38
Figura 6. Comparación de resultados de la DQO con los LMP.....	39
Figura 7. Criterios de calidad para el vertido del AR en la DQO de varios países.....	40
Figura 8. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DQO	41
Figura 9. Concentración en el afluente y efluente de la DBO ₅ en la PTAR.....	42
Figura 10. Comparación de resultados de la DBO ₅ con los LMP.....	43
Figura 11. Criterios de calidad para el vertido del AR en la DBO ₅ de varios países....	44
Figura 12. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DBO ₅	45

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas del AR y su procedencia.....	9
Tabla 2. Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual.....	11
Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamiento.....	16
Tabla 4. Caudales a ser drenados a la PTAR.....	22
Tabla 5. Carga orgánica.....	22
Tabla 6. Resumen de datos de diseño.....	23
Tabla 7. Datos generales de diseño de la PTAR.....	24
Tabla 8. Características físicas de diseño y eficiencia del RAFA.....	24
Tabla 9. Características físicas de diseño y eficiencia de la laguna de maduración.....	26
Tabla 10. Límites Máximos Permisibles (LMP).....	27
Tabla 11. Coordenadas de puntos de muestreo en la PTAR – Celendín.....	33
Tabla 12. Frecuencia de monitoreo de la PTAR – Celendín.....	34
Tabla 13. Volumen de muestra y reactivos de preservación.....	34
Tabla 14. Concentración en el afluente y efluente de la DQO en la PTAR.....	38
Tabla 15. Comparación de resultados de la DQO con los LMP.....	39
Tabla 16. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DQO	40
Tabla 17. Concentración en el afluente y efluente de la DBO ₅ en la PTAR.....	42
Tabla 18. Comparación de resultados de la DBO ₅ con los LMP.....	43
Tabla 19. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DBO ₅	44
Tabla 20. Resultados de parámetros de campo del afluente y efluente de la PTAR.....	51

RESUMEN

El presente trabajo de investigación estuvo orientado a determinar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química y bioquímica de oxígeno en la ciudad de Celendín; realizando la toma de muestras de agua residual cruda y tratada en dos puntos en el afluente después del proceso de cribado y efluente después del proceso biológico de la laguna facultativa en la caja de registro con una frecuencia de muestreo cada 22 días durante un periodo de 03 meses. Los resultados obtenidos muestran para DBO_5 una concentración de $245.95 \text{ mgO}_2/\text{l}$ en el afluente y $41.03 \text{ mgO}_2/\text{l}$ en el efluente con eficiencias de reducción de la PTAR del 83.32 %; al igual que, para DQO una concentración de $495.13 \text{ mgO}_2/\text{l}$ en el afluente y de $149.63 \text{ mgO}_2/\text{l}$ en el efluente, con una eficiencia de reducción del 69.78 %, además de la medición de otros parámetro de campo en el afluente $T^\circ 13 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 6.3; en el efluente $T^\circ 14 \text{ }^\circ\text{C}$, pH 6.4. Los valores obtenidos nos permiten afirmar que la PTAR es eficiente en la reducción de la DBO_5 e ineficiente en la reducción de la DQO no cumpliendo con las bases de diseño; y en cuanto a la concentración del efluente de los parámetros de estudio estos se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles (LMP) establecidos en la normativa vigente del DECRETO SUPREMO N° 003-2010-MINAM para vertidos a cuerpos de agua.

Palabras clave: Aguas residuales, eficiencia, frecuencia de monitoreo, proceso biológico, afluente, efluente.

ABSTRACT

This research work was aimed at determining the efficiency of the wastewater treatment plant, in the reduction of chemical and biochemical oxygen demand in the city of Celendín; sampling raw and treated wastewater at two points in the tributary after the screening process and effluent after the biological process of the optional lagoon in the record box with a sampling frequency every 22 days for a period of 03 months. The results obtained show for BOD₂₄ a concentration of 245.95 mgO₂ / l in the tributary and 41.03 mgO₂ / l in the effluent with PTAR removal efficiencies of 83.32 %; like, for COD a concentration of 495.13 mgO₂ / l in the tributary and 149.63 mgO₂ / l in the effluent, with a reduction efficiency of 69.78 %, in addition to the measurement of other field parameters in the tributary T ° 13 ° C, pH 6.3; in the effluent T ° 14 ° C, pH 6.4. The values obtained allow us to affirm that the WWTP is efficient in reducing BOD₅ and inefficient in reducing COD not complying with the design bases; and how much on the concentration of the effluent of the study parameters, these are below the Maximum Permissible Limits (LMP) established in the current regulations of the SUPREME DECREE N° 003-2010-MINAM for discharges to water bodies.

Keywords: Wastewater, efficiency, frequency of monitoring, biological process, affluent, effluent.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el interés de muchos países en eliminar los contaminantes de las aguas residuales se ha incrementado en los últimos años; Por lo que, existe una constante búsqueda de nuevos y mejores diseños que permitan la implementación de sistemas de tratamiento confiables con mejores resultados de eficiencia y costos de operación y mantenimiento bajos. Esta tarea ha sido realmente un reto, debido a la gran variedad de afluentes, con diferentes características y composición típica del agua residual cruda; y en particular al cumplimiento de estrictas y diferentes regulaciones que en los distintos países se establecen en materia de control ambiental (Muñoz *et al.*2014).

Durante muchos años los gobiernos y las empresas prestadoras de servicio (EPS) vienen invirtiendo mucho dinero en la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR); sin tener en cuenta algunos aspectos muy importantes como la composición típica del agua residual cruda, la eficiencia de reducción de contaminantes por el tipo de tecnología a construir. De tal forma que su funcionamiento de muchas de estas instalaciones no ha satisfecho plenamente las condiciones exigidas por la normativa vigente establecida en el DS N° 003-2010-MINAM para vertidos a cuerpos de agua; y en muchos casos, y con sobrecostos importantes, han tenido que ser replanteadas y modificadas las instalaciones recién construidas, para cumplir las normas existentes y asegurar un mejor rendimiento.

El tratamiento de las aguas residuales generadas en la ciudad de Celendín constituye un factor muy importante en el cuidado del medio ambiente y la salud pública; puesto que, las aguas residuales después de su tratamiento son vertidos al río Grande de esta ciudad considerado como una de las cuencas más importantes que abastece de agua para el regadío de cultivos; en ese sentido es necesario conocer *¿Cuál es la 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?*.

Las aguas residuales domésticas generadas dentro del casco urbano de la provincia de Celendín son colectadas y transportadas por una red de alcantarillado sanitario hasta la PTAR; conformado por un tratamiento preliminar donde se separan los sólidos

grandes (basura) de la corriente de las aguas empleando un sistema de rejillas de barras paralelas de dos dimensiones; seguido de un medidor de caudal (aforador parshall) y un desarenador constituido por dos cámaras paralelas para separar los sólidos pequeños muy densos como la arena y un tratamiento secundario conformado por un reactor anaerobio de manto de lodos y flujo ascendente (UASB), donde los lodos son dispuestos en un lecho de secado y los líquidos en una laguna facultativa; esperando eliminar o reducir el grado de concentración de los contaminantes.

La metodología del trabajo de investigación es de tipo descriptivo y no se rige a un diseño estadístico; realizado mediante análisis de muestras simples tomadas en dos puntos; en el afluente después del proceso de cribado evitando partículas grandes o material flotante en la toma de muestras y en el efluente después del proceso biológico de la laguna facultativa en la caja de registro con una frecuencia de muestreo cada 22 días durante un periodo de 03 meses; 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° 273-2013-VIVIENDA.

Objetivo general

- Determinar el grado de 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.

Objetivos específicos

- Determinar la concentración de la DQO y DBO₅ en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, comparando los resultados con los LMP establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes de la investigación

Caldera *et al.* (2005) en su estudio determinó el efecto de la carga orgánica en el funcionamiento de un reactor UASB durante el tratamiento de efluente cárnico, en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Zulia Venezuela. La presente investigación demostró la eficiencia del reactor UASB para tratar las aguas residuales de las industrias cárnicas a un amplio rango de cargas orgánicas (1,82 - 12,30 kg DQO/m³/día). Se obtuvo un porcentaje de remoción de DQO de 80% para una carga orgánica (CO) de 9,98 kg DQO/m³/día a TRH de 24 horas. El incremento en la carga orgánica influyó significativamente sobre la variabilidad de los parámetros evaluados con excepción del pH, ocasionando la disminución del porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno (DQO) y del porcentaje de metano, así como un aumento en el volumen de biogás, y en las concentraciones de sólidos suspendidos volátiles (SSV), alcalinidad y ácidos grasos volátiles (AGV).

Canales (1998) evaluó el proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta UNI – TRAR; a fin de proveer las bases para la evaluación y control del sistema de tratamiento, determinando los niveles de calidad del agua del afluente y efluente, las tasas de degradación de materia orgánica y remoción de organismos patógenos. La recolección de las muestras se realizó cuatro puntos de monitoreo; en la cámara de ingreso al reactor anaerobio (P1), a la salida del reactor (P2), a la salida de la primera laguna (P3), y a la salida de la segunda laguna (P4). Los resultados obtenidos muestran una carga orgánica promedio para DQO de 157 kg/d para el afluente y 44 kg/d para el efluente del reactor anaerobio RAFA, alcanzando una alta eficiencia de remoción para DQO 72%, DBO₅ 65 %, SST de 70 % y la producción de biogás fue de 0.2 m³ por kg de DQO removida. Debido a la alta concentración de materia orgánica en el RAFA, solo una pequeña fracción de remoción total de DBO ocurre en las lagunas. La remoción de N fue de 35 % y P de 28 %, las concentraciones de coliformes fecales en el efluente del sistema de lagunas es de 2.3 x 10⁵ NMP/100 ml.

Montenegro (2013) en su estudio determinó la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas (PTAR) del distrito de Parco, Bagua,

Amazonas; donde se colectaron muestras semanales durante 3 meses en dos puntos de muestreo: afluente y efluente, determinándose el pH, temperatura, demanda química de oxígeno (DQO), demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅), sólidos totales en suspensión, aceites y grasas, coliformes totales y fecales; evaluando la eficiencia de la PTAR según el DS N° 003-2010-MINAM. Los valores promedios de los parámetros investigados en el afluente y efluente respectivamente fueron de 7,617 – 7,487 (pH); 27,5 – 26,4 °C (temperatura); 2750 – 210 mg/L (DQO); 1501,67 – 117,50 mg/l (DBO₅); 44,5 – 22,5 mg/l (sólidos totales en suspensión); 13,8 – 3,8 mg/l (aceites y grasas); $24,5 \times 10^{10}$ – 22×10^6 (coliformes totales) y 16×10^{10} – $14,5 \times 10^6$ (coliformes fecales). La eficiencia en el tratamiento de las aguas residuales fue de 99,99% (coliformes fecales); 92,36% (DQO); 92,14% (DBO₅); 72,46% (aceites y grasas) y 49,44% (sólidos totales en suspensión). El valor de coliformes fecales ($14,5 \times 10^6$ CF/100mL) en el afluente de la PTAR El Parco superó el límite máximo permisible (10×10^3 CF/100 ml), de igual manera en el efluente la DQO (210 mg/l) y la DBO₅ (117,50 mg/l) superando los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con los estándares establecidos en la normativa vigente.

Vidaurre (2013) en su estudio determinó la eficiencia de remoción de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅) y demanda química de oxígeno (DQO) en la laguna de estabilización del distrito la Florida, San Miguel, Cajamarca; seleccionando dos puntos de muestreo, obteniéndose muestras del afluente y efluente semanalmente durante dos meses haciendo un total de 9 muestreos; los valores obtenidos se compararon con los Límites máximos permisibles (LMP) establecidos en el DS N° 003-2010-MINAM. La temperatura de las aguas residuales fue en promedio 27,4 °C en el afluente y 26,4 °C en el efluente; el pH fue 7,3 en el afluente y 6,8 en el efluente. La DQO fue en promedio 625,89 mg/l en el afluente y 371,56 mg/l en el efluente, y la DBO₅ fue en promedio 390,89 mg/l en el afluente y 288,00 mg/l en el efluente. Los coliformes totales fueron en promedio 49×10^6 NMP/100 ml en el afluente y 23×10^6 NMP/100 ml en el efluente y los termotolerantes $42,8 \times 10^6$ NMP/100 ml en el afluente y $20,3 \times 10^6$ NMP/100 ml en el efluente. Los valores de los parámetros investigados: DQO, DBO₅ y coliformes termotolerantes superaron los límites máximos permisibles, indicando que no se cumple con la normativa vigente establecida por el DS N° 003-2010-MINAM para vertidos a cuerpos de agua.

Racchumí (2014) determinó el grado de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Segunda Jerusalén, Rioja. Los parámetros de estudio; aceites y grasas, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno, pH, sólidos totales suspendidos y temperatura; los cuales se monitorearon en el agua residual cruda que ingresa (afluente) y en el agua residual tratada (efluente) con una frecuencia de muestreo cada quince días, haciendo un total de 32 muestras simples. Los resultados obtenidos en promedio para DBO_5 en el afluente 432.56 mg/l, y efluente de 107.89 mg/l con una eficiencia de remoción del 75.06 %; para DQO en el afluente 1068.26 mg/l, efluente de 249.41 mg/l y eficiencia de remoción de 76.65 %. Ambos parámetros no cumplen con los LMP; dado que para DQO presenta una concentración en el efluente de 249.41 mg/l siendo el LMP de 200 mg/l, para el caso de la DBO_5 presenta una concentración en el efluente de 107.89 mg/l siendo el LMP de 100 mg/l. En cuanto a la concentración de los Sólidos Suspendidos Totales en el afluente presenta una concentración de 596.70 mg/l sobre el cual existe una remoción hasta obtener 80.44 mg/l con un grado de eficiencia de 86.52%, para coliformes Termotolerantes en el afluente con una concentración de 821 179.88 NMP/100 ml y en el efluente una concentración de 441 117.00 NMP/100 ml, reportando una eficiencia de 94.63%; cuyos valores comparando con el LMP establecido de 10 000 NMP/100 ml, no cumple con lo recomendado, lo cual hace ver que el sistema de tratamiento no estaría removiendo adecuadamente la presencia de estos microorganismos.

Ochoa (2016) estudió la eficiencia de remoción de materia orgánica de las aguas residuales urbanas mediante un reactor de lodos activados y un reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB); La metodología consistió en operar, los dos reactores con volúmenes de 6 litros, a condiciones similares con tiempos de retención hidráulica (TRH) de 24 y 40 horas respectivamente. En principio se realizó la caracterización fisicoquímica del agua residual urbana obteniendo en Sólidos Totales 658 mg/L, Sólidos Disueltos 243 mg/L, Sólidos Suspendidos 160 mg/L, Demanda Química de Oxígeno (DQO) 547 mg/L, Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5) 348,8 mg/L, Oxígeno Disuelto 1,55 ppm y pH 8,4; determinando coeficientes cinéticos con mayores remociones de materia orgánica en el reactor de lodos activados con tiempos de retención hidráulica (TRH) de 40 horas y en el reactor UASB con un TRH de 24

horas, en el cual se obtuvo el valor de $k=2,393$ y $2,245$; la $K_s=69,629$ y $96,369$; el $Y=0,357$ y $0,666$; el $k_d=0,069$ y $0,077$; y la $\mu_m=0,853$ y $1,495$ respectivamente para cada reactor. A partir de los análisis se determinó una máxima eficiencia de remoción en el reactor de lodos activados, en época de estiaje con un caudal de $0,15$ L/h y TRH de 40 horas resultando el 84.49 % de remoción; a diferencia del reactor UASB en época de estiaje con un caudal de $0,25$ L/h y TRH de 24 horas con una eficiencia del 90.32 % de remoción.

Martínez (2016) en su estudio "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"; con un ingreso del 50 % del caudal (12.2 l/s), realizó dos muestreos, tomando muestras en dos puntos, el punto uno (P1) en el influente de la PTAR y el punto dos (P2) en el efluente de la PTAR, obteniendo los siguientes resultados en promedio por cada parámetro analizado; para DBO_5 una concentración de 572.00 mg/L en el P1, y 48.58 mg/L en el P2 con una eficiencia de remoción del 91.507 %; para la DQO 1207.25 mg/L en el P1, y 107.50 mg/L en el P2 y una eficiencia de remoción del 91.095 %; para los SST 253.81 mg/L en el P1, y 42.64 mg/L en el P2 con una eficiencia de remoción del 83.20 %. Utilizando el método analítico pudo determinar que las concentraciones de carga contaminante de los parámetros medidos en el efluente (P2) se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) para vertido a cuerpos de agua; logrando una alta eficiencia de remoción a futuro en la operatividad de la PTAR-Celendín.

Aspajo (2017) evaluó la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales respecto a los límites máximos permisibles de aguas residuales de los distritos de Elias Soplin Vargas, provincia de Rioja y Soritor, región San Martín. La metodología del trabajo es de tipo descriptivo comparativo tomando muestras simples en los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de ambos distritos; Los resultados obtenidos muestran para la PTAR Elias Soplin Vargas concentraciones del efluente en la DBO_5 : (M1) 72 mg/L, (M2) 60 mg/L, (M3) 48 mg/L, (M4) 48 mg/L y para DQO de (M1) 132 mg/L, (M2) 128 mg/L, (M3) 108 mg/L, (M4) 100 mg/L; a diferencia de la PTAR de Soritor con concentraciones para DBO_5 de (M1) 84 mg/L, (M2) 64 mg/L, (M3) 52 mg/L, (M4) 48 mg/L y para DQO

de (M1) 125 mg/L, (M2) 115 mg/L, (M3) 97 mg/L, (M4) 98 mg/L. Permitiendo indicar una mejor eficiencia en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito Elias Soplin Vargas con respecto a los LMP establecidos en el DS N° 003-2010-MINAM.

Castro (2018) el presente estudio evaluó 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, con la finalidad de determinar un nuevo sistema de tratamiento primario para aguas residuales industriales utilizando un reactor (UASB). El sistema fue diseñado a escala piloto donde el agua residual se bombeo después del pretratamiento (cámara de reja gruesa y desarenador) al tanque de almacenamiento de 350 litros para posterior realizar el tratamiento del agua residual en el reactor UASB a escala laboratorio. Se determinó la mejor eficiencia de remoción de materia orgánica, para un tiempo de retención hidráulico (TRH) de 14 horas con un caudal de circulación de 35 ml/min, teniendo una eficiencia mínima de remoción de Demanda Química de Oxígeno (DQO) de 33.66% y una máxima eficiencia de 76.90%, en un rango de temperatura de agua residual de 10°C y 19°C.; en cuanto a los sólidos suspendidos totales disminuyo de 524.34mg/L a 365.04mg/L, obteniendo una eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales de 30.28%. El tratamiento primario en el reactor UASB es una alternativa para remover la materia orgánica y sólidos suspendidos totales, aplicado para aguas residuales del Camal Municipal de Huancavelica a localidades ubicados en lugares con condiciones de clima y altitud similares, el diseño se optimizó para un TRH de 14 horas para el reactor UASB el cual se obtuvo una mejor eficiencia de remoción de materia orgánica.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Aguas residuales.

Según la OEFA (2014) las aguas residuales son todos aquellos líquidos cuyas características originales han sido modificadas por el ser humano en actividades industriales, domésticas y comerciales y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

Romero (2004) son todas aquellas aguas cuya calidad se ha visto afectada negativamente como resultado de las actividades humanas y los sólidos que por uno u otro medio se introducen en las cloacas y son transportados mediante el sistema de alcantarillado hacia una planta de tratamiento de aguas residuales.

2.2.2 Clasificación de las aguas residuales según su origen.

2.2.2.1 Aguas residuales domésticas

Según ITC (2006) este tipo de agua residual es el resultado del uso del agua en las viviendas y actividades domésticas provenientes del lavado de utensilios de cocina, las aguas de lavadoras, las aguas de baño y las aguas negras como consecuencia del metabolismo humano.

Las aguas residuales domésticas (ARD) son todos aquellos líquidos producto de las diferentes actividades de las viviendas o zonas residenciales, edificios comerciales o institucionales, que son conducidos por medio de una red de alcantarillado de una ciudad o población para ser tratados en una planta de tratamiento de aguas residuales (Romero 2004).

2.2.2.2 Aguas residuales industriales

Son todas aquellas aguas generadas como consecuencia de las actividades destinadas a la fabricación de productos consumibles o manufactureros en las industrias que descargan sus vertidos a la red de alcantarillado municipal. Este tipo de agua residual presenta una composición muy variable dependiendo del tipo de industria (ITC 2006).

Las aguas residuales industriales antes del vertido en el sistema de alcantarillado municipal deben recibir un tratamiento; debido a que las características de estas aguas residuales cambian de una a otra industria, los procesos para su tratamiento son muy diversos siendo necesario la caracterización (Valdez y Vásquez 2003).

2.2.2.3 Aguas residuales pluviales

Las aguas pluviales se producen por efecto de la lluvia al arrastrar partículas y contaminantes presentes tanto en la atmósfera como en las calles de los núcleos urbanos. En la mayoría de las ocasiones, donde los sistemas de alcantarillado son unitarios, las aguas de lluvia son recogidas por el mismo sistema que se emplea para la recogida y conducción de las aguas residuales domésticas e industriales (ITC 2006).

2.2.3 Características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

Los constituyentes de las aguas residuales pueden ser clasificados como físicos, químicos y biológicos. Por ello resulta imprescindible conocer sus características, funciones, metabolismos y procesos de síntesis. La tabla 1 nos muestra las principales propiedades físicas del agua residual, así como sus principales constituyentes químicos y biológicos; así como también su procedencia. Debido a ello es conveniente observar que muchos de los parámetros están relacionados entre ellos. Por ejemplo, una propiedad física como la temperatura afecta tanto a la actividad biológica como a la cantidad de gases disueltos presentes el agua residual (Metcalf & Eddy 1995).

Tabla 1. Características físicas, químicas y biológicas del AR y su procedencia.

Características	Procedencia
Propiedades físicas:	
Color	Agua residual doméstica e industrial, degradación natural de materia orgánica.
Olor	Agua residual en descomposición, residuos industriales.
Sólidos	Agua de suministro, aguas residuales domésticas e industriales, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
Temperatura	Aguas residuales domésticas e industriales.
Constituyentes químicos:	
Orgánicos:	
Carbohidratos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Grasas animales, aceites y grasa	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Pesticidas	Residuos agrícolas.
Fenoles	Vertidos industriales.
Proteínas	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Agentes tensoactivos	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Compuestos orgánicos volátiles	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Otros	Degradación natural de materia orgánica.

Inorgánicos:

Alcalinidad	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Cloruros	Aguas residuales domésticas, agua de suministro, infiltración de agua subterránea.
Metales pesados	Vertidos industriales.
Nitrógeno	Residuos agrícolas y aguas residuales domésticas.
pH	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Fosforo	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales; aguas de escorrentía.
Contaminantes prioritarios	Aguas residuales domésticas, industriales y comerciales.
Azufre	Aguas de suministro, aguas residuales domésticas, comerciales e industriales.

Gases:

Sulfuro de hidrogeno	Descomposición de residuos domésticos.
Metano	Descomposición de residuos domésticos.
Oxígeno	Agua de suministro, infiltración de agua superficial.

Constituyentes biológicos:

Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.

Protistas:

Eubacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Arqueobacterias	Aguas residuales domésticas, infiltración de agua superficial, plantas de tratamiento.
Virus	Aguas residuales domésticas.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

2.2.4 Contaminantes de importancia en el tratamiento del agua residual

En la tabla 2 se describen los contaminantes de interés en el tratamiento de las aguas residuales y las normas que regulan los tratamientos secundarios basadas en las tasas de eliminación de la materia orgánica, sólidos en suspensión y patógenos presentes en el agua residual. Gran parte de las normas implantadas recientemente, son más exigentes incluyendo el control en la eliminación de nutrientes y de los contaminantes prioritarios cuando se pretende reutilizar el agua residual. Las

exigencias normativas incluyen también la eliminación de compuestos orgánicos refractarios, metales pesados y en algunos casos, sólidos inorgánicos disueltos (Metcalf & Eddy 1995).

Tabla 2. Contaminantes importancia en el tratamiento del agua residual.

Contaminantes	Razón de la importancia
Sólidos e suspensión	Los sólidos en suspensión pueden dar lugar al desarrollo de los depósitos de fango y de condiciones anaerobias cuando se vierte agua residual sin tratar al entorno acuático.
Materia orgánica biodegradable	Compuesta principalmente por proteínas, carbohidratos, grasas animales, la materia orgánica biodegradable se mide, en la mayoría de las ocasiones, en función de la DBO (demanda bioquímica de oxígeno) y de la DQO (demanda química de oxígeno). Si se descargan al entorno sin tratar su estabilización biológica puede llevar al agotamiento de los recursos naturales de oxígeno y al desarrollo de condiciones sépticas.
Patógenos	Pueden transmitirse enfermedades contagiosas por medio de los organismos patógenos presentes en el agua residual.
Nutrientes	Tanto el nitrógeno como el fosforo, junto con el carbono, son nutrientes esenciales para el crecimiento. Cuando se vierten al entorno acuático, estos nutrientes pueden favorecer el crecimiento de una vida acuática no deseada. Cuando se vierten al terreno en cantidades excesivas, también pueden provocar la contaminación del agua subterránea.
Contaminantes prioritarios	Son compuestos orgánicos o inorgánicos determinados en base a su carcinogenicidad, mutagenicidad, teratogenicidad o toxicidad aguda conocida o sospechada. Muchos de estos compuestos se hallan presentes en el agua residual
Materia orgánica refractaria	Esta materia orgánica tiende a resistir os métodos convencionales de tratamiento. Ejemplos típicos son los agentes tensoactivos, los fenoles y los pesticidas agrícolas
Metales Pesados	Los metales pesados son, frecuentemente, añadidos al agua residual en el curso de ciertas actividades comerciales e industriales, y puede ser necesario eliminarlos si se pretende reutilizar el agua residual.
Sólidos inorgánicos disueltos	Los constituyentes inorgánicos tales como el calcio, sodio y los sulfatos se añaden al agua de suministro como consecuencia del uso del agua, y es posible que se deben eliminar si se va a reutilizar el agua residual.

Fuente: Metcalf & Eddy (1995).

2.2.5 Características químicas de las aguas residuales.

2.2.5.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno es la prueba utilizada para determinar la cantidad de oxígeno disuelto necesario para oxidar biológicamente la materia orgánica presente en las aguas residuales. Durante el transcurso de los cinco días de duración del ensayo se consume aproximadamente el 70 % de las sustancias biodegradables (ITC 2006).

La DBO expresa la cantidad de oxígeno disuelto que consumen los microorganismos durante el proceso de oxidación bioquímica de la materia orgánica. Con el fin de asegurar la fiabilidad de los resultados obtenidos, es preciso diluir convenientemente la muestra con una solución especialmente preparada de modo que asegure la disponibilidad de nutrientes y oxígeno durante el periodo de incubación (Metcalf & Eddy 1995).

La determinación de la DBO es una prueba en la cual se determinará la cantidad de oxígeno que requieren los microorganismos para oxidar (estabilizar) la materia orgánica biodegradable en condiciones aerobias. La DBO es el parámetro que nos permite medir la concentración del agua en materias putrescibles y su poder autodepurador, determinando la cantidad de oxígeno necesario para poder estabilizar biológicamente la materia orgánica. La prueba permitirá diseñar unidades de tratamiento biológico eficientes en la remoción de la materia orgánica y fijar las cargas orgánicas permisibles en fuentes receptoras (Romero 2004).

2.2.5.2. Determinación la demanda bioquímica de oxígeno.

Después de establecer la cantidad de muestra que se necesita de acuerdo a las diluciones a realizar, agite la muestra para la homogenización completa y sirva en un vaso de precipitado, ajuste el pH entre un rango de 6,5 a 7,5 con ácido sulfúrico 1 M o hidróxido de sodio 1 M, según sea el caso, dosificando estos reactivos con una pipeta Pasteur que dosifique gotas muy pequeñas.

Aliste cuatro botellas Winkler y rotule estas con el número de muestras indicando la dilución correspondiente y la fecha de análisis. Para determinar la dilución aproximada siga los criterios de dilución de muestras registrando en el formato TF 0025 el volumen real de la botella Winkler impreso en la botella usada, luego adicione a cada una de ellas la cantidad de muestra que se ha establecido, si se

requiere hacer dilución realice en un balón aforado clase A o B agite y sirva en la botella la cantidad requerida; en seguida adicione 2 ml de cepa, luego agregue agua solamente hasta la mitad del cuello de la botella, para que al introducir el electrodo no haya pérdida de muestra. Posteriormente, ejecute la lectura del oxígeno inicial en las cuatro botellas, llene totalmente dejando el sello hidráulico (pequeña película de agua para impedir el intercambio de oxígeno entre la botella y el ambiente). Si al medir el oxígeno disuelto inicial, ha descendido a menor de 6, preparar otra botella utilizando un volumen de muestra menor registrando los datos en el formato TF 0025 e incube a 20° +/- 3 °C por cinco días. Al quinto día lea el oxígeno disuelto residual y calcule la DBO₅ con los resultados obtenidos (IDEAM 2007).

2.2.5.3. Procedimiento de datos de la demanda bioquímica de oxígeno.

Para el procesamiento de datos se hace uso de la siguiente formula:

$$DBO_5 \text{ mgO}_2/\text{l} = \frac{(\text{OD Consumido} - \text{OD Consumo cepa})}{V_m} \times V$$

Donde:

OD consumido: OD i – OD r.

OD consumo cepa: OD i (agua dilución + cepa) – OD r (agua dilución + cepa).

V: Volumen de botella Wincler, que el valor promedio es de 293 ml.

V_m: Volumen de alícuota de la muestra afectado por el factor de dilución.

2.2.5.4. Demanda química de oxígeno (DQO)

El ensayo de la DQO se emplea para la medición de la materia orgánica presente en aguas residuales tanto industriales y municipales que contengan compuestos tóxicos para la vida biológica. La DQO del agua residual suele ser mayor que su correspondiente DBO, siendo esto debido al mayor número de compuestos cuya oxidación tiene lugar por vía química frente a los que se oxidan por vía biológica. En muchos tipos de aguas residuales es posible establecer una relación entre los valores de la DBO y la DQO. Ello puede resultar de gran utilidad dado que es posible determinar la DQO en un tiempo de 3 horas, frente a los 5 días necesarios para determinar la DBO (Metcalf & Eddy 1995).

La demanda química de oxígeno (DQO) se usa para medir el oxígeno consumido por una muestra de agua residual mediante un agente químico oxidante fuerte, por lo

general dicromato de potasio después de 2 o 3 horas de reflujo en un medio ácido concentrado y alta temperatura. Para la oxidación de sustancias orgánicas resistentes se requiere la ayuda de un catalizador como el sulfato de plata. Compuestos inorgánicos que interfieren con el ensayo como los cloruros, pueden causar resultados erróneos de DBO (Romero 2004).

2.2.5.5. Determinación de la demanda química de oxígeno

El presente método es derivado del método Standard, modificado de la siguiente manera: se han dividido las cantidades por 5 y se utiliza un tubo de digestión de 25 x 300 mm, calentado en su parte inferior, en una placa de calefacción apropiada, la cual produce condensación en las paredes del tubo, y hace innecesario el uso del refrigerante de reflujo. Esto simplifica enormemente el procedimiento y permite correr simultáneamente en una placa normal hasta 56 muestras.

Se toman 10 ml de muestra que puede ser pura o diluida según el valor esperado para la DQO colocado en un tubo de digestión, se agregan 5 ml de solución $K_2Cr_2O_7$ 0.25 N (equivalentes a 1.25 ml de solución 1N + 3.75 ml de H_2O). Con mucho cuidado se agregan 15 ml de H_2SO_4 , se pone a digerir 1 hora y 30 minutos y, seguidamente, se deja enfriar de un día para otro. Al otro día se diluye a 100 ml con agua, se agregan 2 - 3 gotas de indicador Ferroiri y se titula con Sulfato Ferroso Amoniacal (FAS) 0.25 N (Deloya 2010).

2.2.5.6. Relación de la DBO_5 /DQO en aguas residuales

La relación DBO_5 /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 y depuradas por los microorganismos, que las emplean para producir energía y crear otras sustancias como aminoácidos, nuevos tejidos y nuevos organismos (ITC 2006).

2.2.6 Tratamiento de las aguas residuales

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con objeto de producir un efluente reutilizable en el medio ambiente con una calidad de agua requerida en la normatividad vigente. El tratamiento de las aguas residuales consiste en una serie de procesos u operaciones

físicas, químicas y biológicas a fin de eliminar los contaminantes presentes en el agua residual. Los procesos de tratamiento serán seleccionados en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada del agua tratada. Dependiendo de ello, es posible generar emisiones gaseosas a la atmósfera e invariablemente la producción de material de desecho que puede ser un residuo sólido; como la materia retenida en las rejillas o tamices, o semisólido en forma de lodos (Noyola *et al.* 2013).

El tratamiento de las aguas residuales, constituye un factor muy importante en la protección de la salud pública y del medio ambiente, puesto que el vertido de las aguas residuales sin tratamiento a un cuerpo receptor, es una fuente de contaminación; debido a que, son fuentes transmisoras de enfermedades por la presencia de microorganismos patógenos y alteran los ecosistemas acuáticos por la rápida proliferación de algas" (FONAN 2010).

2.2.7 Tecnologías aplicadas al tratamiento de las aguas residuales

Como se ha visto el tipo de tecnología de una PTAR está en función a la calidad del efluente que se requiera alcanzar para ser vertido a un cuerpo natural o reusado sin afectar el medio ambiente y la salud de las personas cumpliendo con los estándares de calidad establecidos en la normatividad ambiental vigente (Sunass 2015).

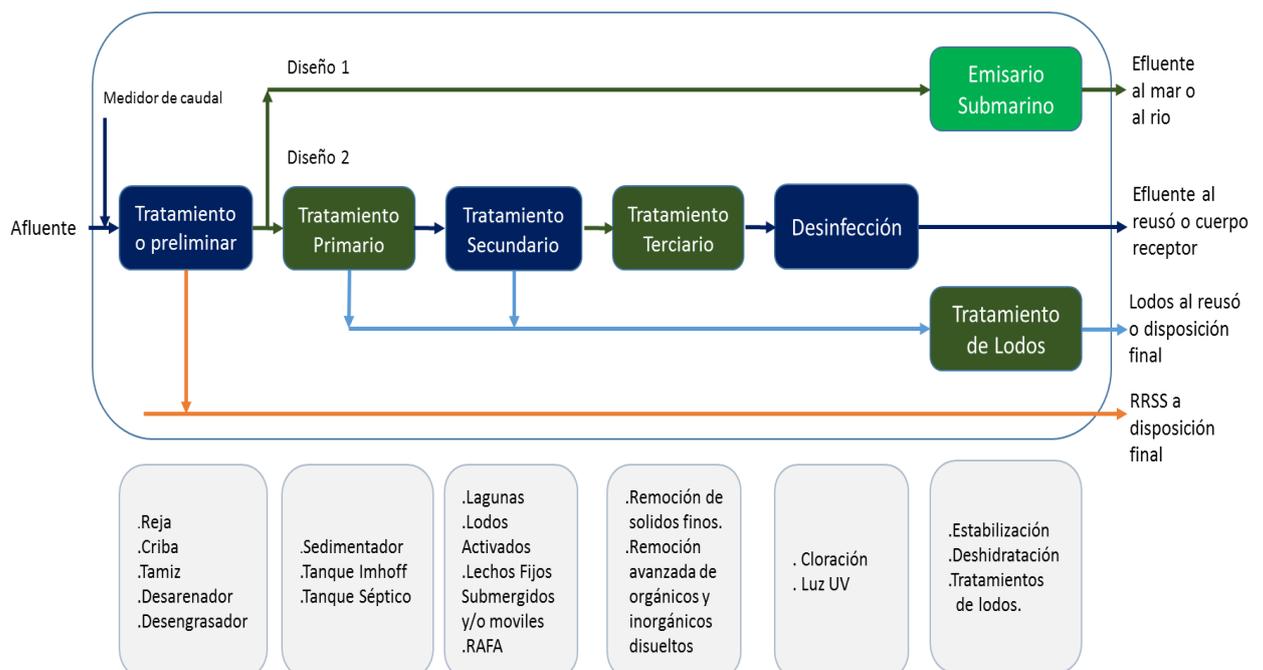


Figura 1. Esquema de una PTAR de aguas residuales domésticas y eficiencia

Fuente: Sunass (2015).

2.2.8 Niveles de tratamiento de las aguas residuales.

Los diferentes niveles de tratamiento para el agua residual pueden ser fisicoquímicos o biológicos; en los primeros se hace uso de las diferencias entre las propiedades de las partículas y el agua residual, aplicando principios de separación como la sedimentación o flotación. En los procesos químicos se cambia la forma de las partículas que no pueden ser separadas por estos medios, mediante la aplicación de productos químicos para formar partículas de mayor densidad que luego puedan ser separadas por métodos físicos. Algunos aspectos favorables de estos procesos son la rápida adaptación a cambios en la calidad y cantidad del agua residual y su tamaño compacto cuando se utilizan sedimentadores de alta tasa; sin embargo, las siguientes características limitan su aplicación (Noyola 1998).

Existen diversas clasificaciones para el tratamiento de las aguas residuales: por niveles, por operaciones y procesos, por el grado de complejidad y tratamiento. En todos los casos, una adecuada selección y combinación en los sistemas de tratamiento permitirá altos niveles de eficiencia dando cumplimiento a los estándares de calidad establecidos en la normatividad vigente (Noyola, 1998). La tabla 3 describe para cada nivel de tratamiento el tipo de contaminante removido, las eficiencias de reducción alcanzadas y el tipo de mecanismo predominante (Torres 2012).

Tabla 3. Características de los principales niveles de tratamiento.

Niveles de tratamiento	ITEM		
	Mecanismos predominantes	Contaminantes removidos	Eficiencia de reducción
Preliminar	Físico	Sólidos gruesos (basuras, arenas) Grasas Acondicionamiento químico (pH)	SS: < 10 % DBO: < 10 % Coliformes: = 0% Nutrientes: = 0%
Primario	Físico	Sólidos suspendidos sedimentables. Materia orgánica suspendida (parcialmente)	SS: 40 - 50 % DBO: 25 - 35 % Coliformes: 30 - 40 % Nutrientes: < 20 %
Primario Avanzado	Físico y químico	Sólidos suspendidos sedimentables y no sedimentables Materia orgánica suspendida (parcialmente) Fosforo	SS: 70 - 85 % DBO: 45 - 55 % Coliformes: 60 - 90 % Nutrientes: 20 %N; 50 - 95 %P

Secundario	Biológico o químico	Sólidos no sedimentables Materia orgánica suspendida fina /soluble (parcialmente) Nutrientes (parcialmente) Patógenos (parcialmente)	SS: 60 - 99 % DBO: 60 - 99 % Coliformes: 60 - 99 % Nutrientes: 10 - 50 %
Terciario	Biológico o químico	Contaminantes específicos Materia orgánica fina y soluble (pulimento) Nutrientes Patógenos (principalmente)	SS: > 99 % DBO: > 99 % Coliformes: > 99.99 % Nutrientes: > 90 %

Fuente: Adaptado de Von Sperling, 1996; Torres, 2000; Metcalf y Eddy, 2003; Jordao y Pessoa, 2005; Bratby, 2006 y van Haandel, 2008.

2.2.9 Componentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales-Celendín

La infraestructura de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín tiene un diseño de tratamiento de UASB con laguna facultativa; el cual está conformado por un tratamiento preliminar (Rejillas o cribas, medidor de caudal, desarenador), seguido de un tratamiento secundario con un RAFA (Reactor Anaerobio de flujo ascendente), lecho de secado de lodos y un sistema de laguna facultativa; cuya finalidad es eliminar o reducir el grado de concentración de los contaminantes presentes en las aguas residuales; las cuales serán vertidas posteriormente a un cuerpo receptor agua.

La PTAR de Celendín es un modelo UASB con laguna facultativa.

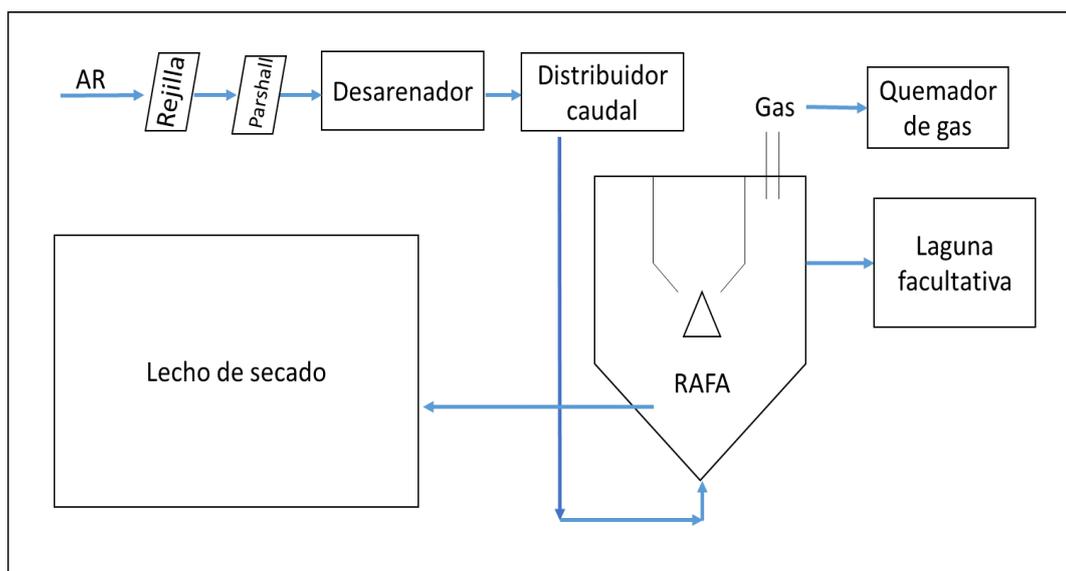


Figura 2. Proceso PAMLA o UASB con laguna Facultativa

Fuente: Romero (2004)

2.2.9.1. Tratamiento Preliminar

El tratamiento preliminar del agua residual, tiene como objetivo la retención de objetos de gran y mediano volumen como botellas de plástico, palos y animales muertos, o bien problemáticos, como arenas, grasas y aceites; cuya presencia puede generar problemas operacionales y de mantenimiento durante el proceso de depuración de aguas residuales. Por ello el tratamiento se realiza a través de cribas o rejillas de diferentes aberturas, desarenadores, flotadores o desgrasadores. En ciertas ocasiones se emplean trituradores para reducir el tamaño de ciertos desechos y reincorporarlos al tratamiento (Noyola *et al.* 2013).

- **Cribado o rejillas**

El cribado es la primera operación que se considera en una planta de tratamiento de aguas residuales, el cual se utiliza para interceptar y retener tarros, trapos y demás objetos grandes; protegiendo bombas, válvulas, tuberías, equipos e instalaciones de la estación depuradora. La captación de estos cuerpos se realiza por medio de rejillas finas y gruesas y son de limpieza manual o mecánica. Según el tamaño de las aberturas se clasifican en rejillas gruesas o finas. Las gruesas son aquellas con aberturas de iguales o mayores de 0.64 cm (1/4 pulgada), mientras que las finas tienen aberturas menores de 0.64 cm. (Romero 2004).

- **Medidor de Caudal.**

Según Valdez *et al.* (2003) El canal de Parshall es un tipo de medidor perfeccionado del de Venturi, usado para determinar el volumen de las de aguas en canales abiertos, canales de irrigación y salidas de alcantarillas entre otros. Es un dispositivo de aforo eficiente y bastante exacto, aunque no tanto como el medidor Venturi, pero tiene la ventaja de que su costo es menor. El canal Parshall ha sido empleado para medir el caudal de descargas de las aguas residuales en las plantas de tratamiento, instalaciones en las que el bajo costo es materia de importancia. Por su excelente funcionalidad que tiene es un medio de aforo satisfactorio y también muy útil para verificar la velocidad en los desarenadores.

- **Desarenadores**

Según Romero (2004) Los desarenadores en el tratamiento de aguas residuales se usan con el objetivo de eliminar partículas de arena, grava u otro material solido pesado superior a 200 micras y que tenga velocidad de asentamiento o peso

específico bastante mayor al de los sólidos orgánicos degradables que traen las aguas servidas. A fin de evitar la acumulación de sedimentos en las tuberías, canales y conductos; protegiendo las bombas y otros equipos mecánicos del desgaste anormal. Además, de ello se minimizan los periodos de limpieza de los digestores, en aquellos casos que se presente una acumulación excesiva de arena en las fases de tratamiento.

2.2.9.2. Tratamiento secundario

Esta etapa de tratamiento está destinada a la eliminación de la materia orgánica biodegradable soluble por medio de la degradación biológica debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción de los contaminantes presentes en las aguas residuales. Los cuales son transformados por los microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y en otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua. En el caso del agua residual doméstica, el objetivo principal es reducir el contenido orgánico y en ciertos casos, los nutrientes tales como el nitrógeno y el fósforo (Noyola *et al.* 2013).

- **Proceso Ascensional de Manto de Lodos Anaerobio (UASB)**

Según Romero (2004) el reactor o proceso de flujo ascensional y manto de lodos anaerobio, conocido en inglés como UASB y en español como RAFA, es un proceso en el cual el agua residual se introduce por el fondo del reactor y fluye a través de un manto de lodos conformado por granos biológicos o partículas de microorganismos. El tratamiento se efectúa por contacto del agua residual con el lodo granulado o floculento, en el cual se deben desarrollar bacterias con buenas características de sedimentación, bien mezcladas por el gas en circulación.

La concentración de SSV en el manto de lodos puede alcanzar los 100 g/l. donde los gases de la digestión anaerobia se adhieren a los granos o partículas biológicas o causan circulación interna para proveer la formación de más granos. El gas libre y las partículas con gas adherido se elevan hacia la parte superior del reactor. Las partículas que se elevan chocan con el fondo de las pantallas desgasificadoras para que el gas se libere. Los granos desgasificados caen de nuevo sobre la superficie del manto de lodos y el gas libre se captura en los domos localizados en la parte superior del reactor. La porción líquida fluye al sedimentador donde se separan los sólidos residuales del líquido (Romero 2004).

Noyola *et al.* (2013) La particularidad de un reactor UASB radica en el hecho de retener mediante sedimentación los microorganismos en forma de gránulos o flocos densos, lo que aumenta considerablemente el tiempo de retención celular (TRC). Con esto es posible operar el sistema con reducidos tiempos de retención hidráulica (TRH) y con volúmenes de reactor limitados, conservando buenas eficiencias en la remoción de materia orgánica. En adición a esto, la interacción entre el sustrato y el microorganismo se favorece debido a la turbulencia que provocan las burbujas de gas que ascienden hacia la superficie y al flujo ascendente del agua que atraviesa la cama. Este lecho de lodos funge también como un filtro en el sentido mismo de la palabra; en él queda retenido material particulado que podrá ser degradado en el lecho. Con un reactor UASB alimentado con agua residual municipal típica se pueden lograr eficiencias de remoción en DQO entre el 60 a 70% y para DBO del 70 al 80%.

América latina es la región con mas numero de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas (PTARD) anaerobias, siendo el reactor UASB el de mayor aplicación para el tratamiento del ARD; demostrando que es una tecnología consolidada con eficiencias de remoción entre 65 y 80 % de la DQO (Torres 2012).

Según estudios realizados por Conil (s.f.) unas primeras conclusiones de estas plantas U.A.S.B. (RAFA) son las siguientes:

Remoción versus Dilución: Cuando la DQO es igual o inferior a 300 mg/L, la eficiencia de un reactor UASB para remoción de DQO y DBO no supera el 65%. A mayor dilución del agua residual menor eficiencia de tratamiento, en términos porcentuales, y menor producción de biogás por kilo de DQO removida, pues parte del biogás se queda disuelto en el efluente. Pero para concentraciones de DQO superiores a 500 ppm la eficiencia de remoción puede superar el 80 %.

Eficiencia versus Factores de Diseño: La eficiencia de la PTAR expresada en porcentaje (%) depende de factores de diseño como son la distribución de la alimentación, la expansión del manto de lodo, la homogeneidad de la recolección, la separación Gas / Lodo / Efluente, y la debida purga paulatina de los lodos.

Remoción de Sólidos Suspendidos (SS): Casi todos los reactores previos al año 94, y muchos todavía en Brasil hasta la fecha, tienen una baja remoción de SS (inferior a 70%), y en consecuencia de DQO (inferior a 70 %), pues al parecer no les preocupan tanto estos parámetros, o tienen unas fallas en el diseño, o prefieren

manejar los sólidos en el post-tratamiento. Con un correcto diseño, y una adecuada y oportuna operación, mantenimiento y control, se pueden lograr remociones del 80 % en DQO, DBO y SS (para aguas residuales con una DQO mayor a 500 ppm).

Color: El efluente de un reactor de tipo UASB bien diseñado y operado adecuadamente el color es transparente no habiendo arrastre de sólidos suspendidos.

- **Laguna Facultativa.**

Sánchez y Matsumoto (2012) los procesos de tratamiento en las lagunas facultativas se realizan mediante la retención del agua residual por un determinado lapso de tiempo necesario para que se desarrollen los procesos naturales de estabilización de la materia orgánica. Sus principales ventajas y desventajas están asociadas a la predominancia de los fenómenos naturales, cuyo mecanismo de purificación de las aguas residuales ocurre en tres zonas bien definidas: una anaerobia donde se sedimenta la materia orgánica, una facultativa donde se lleva a cabo la degradación de la materia orgánica disuelta y coloidal y una aerobia donde ocurre los procesos de fotosíntesis y transferencia de oxígeno atmosférico. Este tipo de lagunas presentan profundidades y tiempos de retención hidráulica (TRH) del orden de: 1,5 a 2,5 metros (m) y 10 días (d); 1,0 a 1,5m y 20d; 1,0 a 2,0m y 15 a 35d.

Las lagunas facultativas se caracterizan por presentar tres estratos claramente diferenciados: uno inferior anaerobio, el superior aerobio, y uno intermedio en el que se dan unas condiciones muy variables y en el que predominan bacterias de tipo facultativo, que son las que dan nombre a este tipo de lagunas; su profundidad suele oscilar entre 1,5 y 2 m. con eficiencias de remoción para DBO_5 entre el 60 y 80 %, y para DQO entre el 55 y 75 % de remoción (ITC 2006).

2.2.10 Cálculos de diseño de la PTAR - Celendín

El diseño de la estructura de la planta de tratamiento de aguas residuales se ha elaborado en base al diseño original establecido por el Gobierno Regional de Cajamarca; a fin de poder solucionar el problema de saneamiento dentro del casco urbano de la provincia de Celendín, dándole un adecuado sistema de abastecimiento de agua, alcantarillado y tratamiento de las aguas residuales. El proyecto atenderá al 90 % de la población y al final del año 2017, la cobertura de ambos sistemas de saneamiento será del 92 % de la población (Nippon 2009).

2.2.10.1. 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 medio ambiental, de las condiciones climáticas y del tipo de alcantarillado. La tabla 4 ha sido elaborada teniendo en cuenta la situación actual. Se estima que al año 2027 se generará en promedio un total de 1,820 m³/día de aguas residuales (Nippon 2009).

Tabla 4. Caudales a ser drenados a la planta de tratamiento de aguas residuales.

Año		Población total	Población servida	Caudal Promedio		Caudal Máximo	
		hab	hab	m ³ /d	l/s	m ³ /d	l/s
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	1,674	19.4	3,678	42.6
20	2027	23,279	21,417	1,820	21.1	3,943	45.6

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

2.2.10.2. Cargas orgánicas

El estudio de caracterización ha servido de base para proyectar la carga orgánica (demanda bioquímica de oxígeno DBO₅) que tratarán las plantas de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y en el proyecto se ha definido que la DBO₅ per cápita al año horizonte del proyecto será de 50.0 gramos por persona y por día. En la tabla 5 se indican las cargas promedio a ser tratadas por la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín (Nippon 2009).

Tabla 5: Carga orgánica

Año		N° hab	Caudal medio		Carga Orgánica (DBO)		
			m ³ /d	l/s	g/hab-d	kg/d	mg/l
0	2007	12,564	1,188	13.8	45	565	476
1	2008	15,322	1,303	15.1	45.2	693	532
5	2012	16,515	1,403	16.2	46.2	763	544
10	2017	18,077	1,535	17.8	47.4	858	558
15	2022	19,712	1,674	19.4	48.7	960	573
20	2027	21,417	1,820	21.1	50	1,071	588

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

2.2.10.3. Resumen de las bases de diseño

Considerando las condiciones climáticas, el área de terreno existente, los factores técnicos, y operacionales, el estudio definitivo se ha determinado que la alternativa más viable es la del tratamiento mediante lagunas anaeróbicas seguidas de filtros percoladores y sedimentadores secundarios donde el agua residual tratada podrá ser descargada sin ninguna limitación en el canal de excedentes de agua de riego o aprovechada en el riego de áreas agrícolas. En la tabla 6 se presenta el resumen de las bases de diseño de las estructuras hidráulicas y de los procesos de tratamiento de aguas residuales por medio de un esquema de lagunas facultativas (Nippon 2009).

Tabla 6. Resumen de bases de diseño

Parámetro	2008	2017	2027
Población total (hab)	17,024	19,876	23,279
Población servida (hab)	15,322	18,077	21,417
Caudal promedio			
<i>m³/día</i>	1,303	1,535	1,820
<i>L/s</i>	15.1	17.8	21.1
Caudal máximo			
<i>m³/día</i>	2,998	3,424	3,943
<i>L/s</i>	34.7	39.6	45.6
Caudales de diseño (l/s)			
Estructuras hidráulicas	45.6	45.6	45.6
Procesos de tratamiento	15.1	17.8	21.1
Cargas orgánicas (kg/día)	693	858	1,071
Concentración del desecho (mg/l)			
Aporte per cápita (g/l-hab-d)	45.2	47.4	50
Demanda bioquímica de oxígeno	532	558	588
Sólidos suspendidos (mg/l)	2.30E+08	2.40E+08	2.40E+08
Coliformes fecales (NMP/100 ml)	1.0/1.2	1.0/1.2	1.0/1.2

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

2.2.10.4. Características de los procesos de tratamiento

Para el diseño y cálculo de cada uno de los procesos de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Celendín, se ha respetado las Normas Técnicas del Reglamento Nacional de Edificaciones – RNE, en especial la Norma OS.090 – Plantas de tratamiento de aguas residuales, publicado en junio del año 2006. El cual consta con las siguientes características de diseño (Nippon 2009).

Tabla 7. datos generales de diseño de la PTAR

Datos básicos de diseño	
Caudal promedio	21.1 L/s
Caudal máximo promedio	45.6 L/s
DBO afluente	588 mg/L
Temperatura del agua (mínimo mensual)	15.0 °C (promedio mensual)
Coliformes crudo	2.4E+08 Gérmenes/100 ml
Tasa de mortalidad de coliformes	1.0 día ⁻¹

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

2.2.10.5. Características físicas de diseño y eficiencia del RAFA

Los dos reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) construidos por la cooperación española, a través de la ONG FIADELISO, tienen capacidad para tratar un caudal promedio de (Qp) de 32.44 L/s, caudal máximo diario (Qmd) de 42.2 L/s y caudal máximo horario (Qmh) de 58.4 L/s. Cada reactor tiene 17.0 m de largo, 7.0 m de ancho y una profundidad total de 6.55 m y neta de 5.2 m. La cantidad de lodos a producirse ha sido estimado en 5.2 kg por persona año, lo cual representa una producción anual de aproximadamente 95 toneladas de material seco o 3200 metros cúbicos de lodos por año con una humedad de 3% y 10.0% de sólidos (Nippon 2009).

Tabla 8. Características físicas de diseño y eficiencia del RAFA

Datos	Unid	
Caudal total	l/s	21
Caudal máximo	l/s	46
Unidades	Nº	2
DQO total	mg/l	588
DQO soluble	mg/l	650
Dotación de agua	l/hab-día	84.7
Temperatura invierno	°C	15
Sedimentador		
Largo sedimentador	m	17
Ancho	m	1.2
Número sedimentadores seleccionado		2
Profundidad recta	m	0.5
Profundidad inclinada	m	0.6
Sedimentador longitudinal		
Volumen	m ³	35.29
Profundidad total del sedimentador	m	1.1
Periodo de retención Q promedio	h	0.93
Periodo de retención Q máximo	h	0.43

Reactor		
Carga orgánica	kg DQO/d	533.4
Área	m ²	136
Altura reactor lodos	m	3.33
Volumen lodo (carga de diseño)	m ³	707
Carga orgánica	kg DQO/m ³ -d	0.75
Velocidad ascensional Q promedio	m/día	6.67
Velocidad ascensional Q máximo	m/día	14.6
Carga hidráulica	m ³ Ar/m ³ rea-d	1.28
Período de retención Q promedio	h	18.71
Periodo de retención Q máximo		8.54
Carga Orgánica		
Degradación de DQO particulado	%	50
Eficiencia remoción DQO total	%	78.3
DQO total degradable	mg/L	619
DQO degradable efluente	mg/L	159
DQO a ser degradado	mg/l	460
DQO total efluente	mg/l	128
Producción de lodos x reactor		
Sólidos en el lodo húmedo	%	3
Lodo producido	kg SSV/d	45
Lodo producido	kg SST/d	91
Lodo eliminado en el efluente	kg SST/d	27
Lodos drenados	kg SST/d	63
Volumen de lodos a descargar	m ³ /día	2.1
Tiempo de retención del lodo	días	467.9

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca.

2.2.10.6. Características físicas de diseño y eficiencia de la laguna maduración.

En el proyecto se ha proyectado una laguna de maduración de sección trapecial de 307.0 m de largo, 75.0 m de ancho y 1.5 m de profundidad. La tasa de aplicación promedio al año es de 209 kg DBO/ha-d y el periodo de retención inicial de 18 días. Se estima que la remoción de carga orgánica será del orden del 73% y de sólidos sedimentables del 70% siendo la probable DBO soluble remanente de 42 mg/L y la total de 72 mg/L. La cantidad de lodos a producirse ha sido estimado en 3.0 kg/persona/año, lo cual representa una producción anual de aproximadamente 54 toneladas de material seco o 540 metros cúbicos de lodos por año con una humedad de 90% (Nippon 2009).

Tabla 9. Características físicas de diseño y eficiencia de la laguna maduración.

DATOS DE DISEÑO	Unidad	2017	2027
Caudal	l/s	17.77	21.06
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l	251	265
Demanda bioquímica de oxígeno	kg/día	385.3	482.3
Carga per-cápita	g DBO/hab-d	21	23
Temperatura ambiental mínima	°C	8	8
Temperatura invierno de diseño (agua)	°C	15	15
Evaporación	mm/día	5	5
Infiltración	mm/día	3	3
Precipitación	mm/día	5	5
Lagunas			
Número de lagunas	N°	1	1
Profundidad de laguna	m	1.5	1.5
Largo de laguna (espejo de agua)	m	307	307
Ancho de laguna (espejo de agua)	m	75	75
Calculo			
Largo de laguna (fondo)	m	301	301
Ancho de laguna (fondo)	m	69	69
Relación largo/ancho		4.1	4.1
Volumen unitario	m ³	32831	32831
Volumen total	m ³	32831	32831
Periodo de retención	días	21.4	18
Carga aplicada	kg DBO/ha-día	167	209
Carga máxima	kg DBO/ha-día	238	238
Porcentaje de carga máxima	%	70	88
Área superficial total	ha	2.3	2.3
Área superficial unitaria	ha	2.3	2.3
Caudal afluente	m ³ /día	1535	1820
Caudal efluente	m ³ /día	1466	1751
Población equivalente	hab	18088	21436
Remoción de carga orgánica y bacteriana			
DBO soluble (mg/l)	mg/l	37	42
DBO total (mg/l)	mg/l	63	71
Remoción total	%	76	73
Coliformes afluente (num/100 ml) miles	NMP/100 ml	100000	100000
Coliformes efluentes (num/100 ml)	NMP/100 ml	5.60E+04	1.20E+05
Área necesaria			
Área total	ha	2.91	2.91

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca.

2.2.11 El MINAM (Ministerio del Ambiente).

Mediante Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM, en su artículo 2° define el término **Límite Máximo Permisible (LMP)**, es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.

Tabla 10. Límites Máximos Permisibles (LMP)

Parámetro	Unidad	LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua
Aceites y grasas	mg/l	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10,000
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/l	100
Demanda Química de Oxígeno	mg/l	200
pH	unidad	6,5 - 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	ml/l	150
Temperatura	°C	<35

Fuente: Tomado del DS N° 003-2010 – MINAM.

2.2.12 Decreto Legislativo N° 1285 que modifica el artículo 79 de la ley N° 29338, ley de recursos hídricos que establece:

Artículo 79. Vertimiento de agua residual La Autoridad Nacional del Agua autoriza el vertimiento del agua residual tratada a un cuerpo natural de agua continental o marítima sobre la base del cumplimiento de los ECA-Agua y lo Limite Máximos Permisibles (LMP).

Queda prohibido el vertimiento directo o indirecto de agua residual sin dicha autorización. En caso de que el vertimiento del agua residual tratada pueda afectar la calidad del cuerpo receptor, la vida acuática asociada a este o sus bienes asociados, según los estándares de calidad establecidos o estudios específicos realizados y sustentados científicamente, la Autoridad Nacional del Agua debe disponer las medidas adicionales que hagan desaparecer o disminuyan el riesgo de la calidad del agua, que puedan incluir tecnologías superiores, pudiendo inclusive suspender las autorizaciones que se hubieran otorgado al efecto. En caso de que el vertimiento afecte la salud o modo de vida de la población local, la Autoridad Nacional del Agua

suspende inmediatamente las autorizaciones otorgadas. Corresponde a la autoridad sectorial competente la autorización y el control de las descargas de agua residual a los sistemas de drenaje urbano o alcantarillado.”

Artículo 5. Descarga o rebose de las aguas residuales

5.1 Durante la descarga o rebose de las aguas residuales de los servicios de saneamiento, sin tratamiento previo, por deficiencias o fallas operativas en los sistemas de saneamiento, de origen natural o antropogénico, por su propia naturaleza no es exigible el cumplimiento de los ECA-Agua y los LMP, mientras dure la restitución del sistema o de la parte averiada. Sin perjuicio de ello, debe cumplirse con las disposiciones que contemple la normatividad de la materia en caso de emergencia. En el Reglamento se regulan los supuestos aplicables a la presente disposición.

5.2 Dentro de las veinticuatro (24) horas de ocurrida la eventualidad, se reporta a la autoridad fiscalizadora las acciones realizadas y/o aquellas por realizar, incluyendo las medidas adoptadas para disminuir el riesgo a la salud humana de la población aledaña y del ambiente de la zona.

5.3 El plazo para la restitución del sistema no excede los veinte (20) días calendario, los cuales son prorrogables, por única vez por la Autoridad Nacional del Agua, con la debida justificación a cargo del responsable de la prestación de los servicios de saneamiento y con la opinión favorable del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

2.2.13 Ley General de Servicios de Saneamiento: Ley N. 26338, p.16

La Ley N 26338 “Ley de Servicios de Saneamiento” en su artículo 10 se establecen los sistemas que integran los servicios de saneamiento son: a) Servicios de agua potable, que incluyen a los sistemas de producción (captación, almacenamiento, conducción de agua cruda y tratamiento). b) Alcantarillado sanitario y pluvial, que incluye al sistema de recolección y tratamiento y disposición de las aguas servida. c) Disposición sanitaria de excretas: sistemas de letrinas y fosas sépticas.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del trabajo de investigación

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales, infraestructura donde se recolectan y tratan las aguas residuales generadas dentro del casco urbano de la ciudad de Celendín, las mismas que son conducidas por una red de alcantarillado sanitario hasta la PTAR ubicado en el barrio de Pallac, a una distancia de 2.5 km con dirección norte teniendo como referencia el centro de la ciudad, cuyas coordenadas son latitud $6^{\circ} 50' 58''$, longitud $78^{\circ} 08' 46''$ y una altitud de 2605 msnm a ambas márgenes del río Grande.

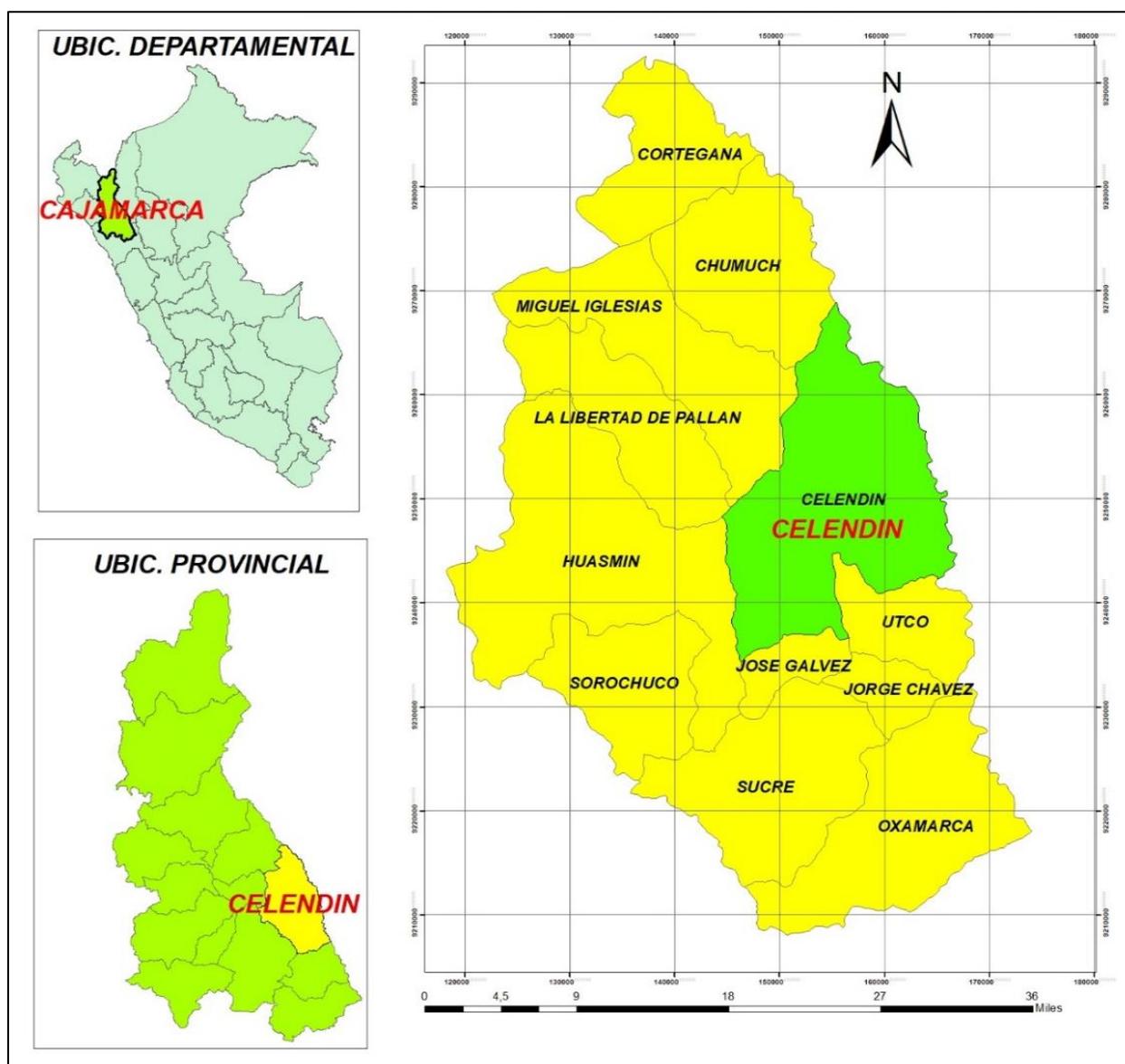


Figura 3. Mapa de ubicación geográfica de la planta de tratamiento de aguas residuales.



Figura 4. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales – Celendín.

3.2. Acceso a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

El acceso a la PTAR es por vía terrestre en cualquier tipo de vehículo motorizado iniciando en la plaza de armas central dirigiéndose al norte por el Jr. dos de mayo hasta el instituto Superior Tecnológico "Pedro Ortiz Montoya" por una vía asfaltada; para luego continuar por la carretera afirmada que conduce al valle de llanguat, durante un recorrido de 2.5 km de distancia en ambas vías y un tiempo de 15 minutos, permitiendo el desplazamiento hasta la misma PTAR por un desvío cerca del parque recreativo del barrio de Pallac.

3.3. Características climáticas y edafológicas

Según la estación SENAMHI la provincia de Celendín cuyas coordenadas geográficas son latitud 6° 51' 56", longitud 78° 08' 43" y una altitud de 2629. Posee un clima templado con temperaturas variables durante el día y la noche, registrándose en promedio temperaturas máximas normales y temperaturas mínimas superiores a lo normal que oscilan entre los 12.1 °C y 19.0°C respectivamente, notándose un incremento en promedio a las temperaturas de meses anteriores; en lo que concierne, a las precipitaciones se presentó acumulados de lluvia excesivas (anomalía del 11%) registrando 27 días de precipitaciones, en promedio de 229.9 mm/mes.

La provincia de Celendín presenta consociaciones conformadas por suelos leptosoles generadas a partir de rocas areniscas cuarcíticas y en partes derivados de rocas calizas y volcánicas. En su mayoría estos suelos son muy superficiales localizándose mayormente en las partes de laderas de colina, presenta una textura ligera a media, drenaje mayormente excesivo con escasa capacidad de retención de humedad, una permeabilidad moderada de reacción fuertemente acida a ligeramente alcalina. La fertilidad natural de estos suelos es baja con presencia escasa de materia orgánica y niveles medios de NPK (nitrógeno, fosforo, potasio); con presencia de pastos naturales y vegetación arbustiva (Poma *et al.* 2012).

3.4. Materiales

3.4.1 Material de campo

- Muestras de agua residual
- Equipo GPS.
- Cámara digital.
- Fichas de registro de campo.

- Cadena de custodia.
- Plumón indeleble punta fina.
- Lapiceros tinta seca.
- Papel secante.
- Cinta masking tape.
- Alcohol (C_2H_5OH).
- Solución amortiguadora de pH.
- Preservantes químicos para la conservación de las muestras (H_2SO_4).
- Frascos de plástico de 500 y 100 ml.
- Guantes quirúrgicos.
- Mascarillas.
- Mandil.
- Hielo u otro refrigerante.
- Cooler térmico.
- Cuerda de nylon.
- Balde para toma de muestras.
- Equipo termómetro ambiental.
- Reloj.

3.4.2 Material y equipo de laboratorio

- Buretas.
- Pipetas.
- Matraz Erlenmeyer.
- Estufa.
- Vaso precipitado.
- Tubos de ensayo.
- Rejilla para tubos de ensayo
- Reactivos.
- Electrodo.
- Cámara de incubación para DBO_5 .
- Termo reactor para DQO.
- Medidor de oxígeno disuelto para DBO_5 .
- pH-metro.

3.5. Metodología

La metodología del trabajo de investigación es de tipo descriptivo y no se rige a ningún diseño estadístico y se realizó mediante análisis de muestras simples tomadas en el afluente y efluente de la PTAR de Celendín, 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° 273-2013-VIVIENDA.

Puntos de muestreo

La recolección de las muestras del agua residual cruda y tratada se realizó en dos puntos; en el afluente (E1) después del proceso de cribado evitando partículas grandes o material flotante en la toma de muestras y en el efluente (E2) después del proceso biológico de la laguna facultativa en la caja de registro permitiendo que esta sea representativa del flujo; con una frecuencia de muestreo cada 22 días durante un periodo de 03 meses.

El monitoreo se desarrolló conforme al protocolo establecido y realizado por el Laboratorio Regional del Agua acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL – DA con registro N° LE-084; iniciando con el trabajo de campo con la preparación de materiales, equipos para medición de parámetros y la indumentaria de protección personal.

3.6.1. Trabajo de campo.

La localización de los puntos de muestreo fue establecida previamente antes de la recolección de las muestras; verificando que estas cumplan con algunas características y que la muestra sea representativa del flujo y exista una mejor mezcla; los cuales, fueron debidamente identificadas en coordenadas geográficas.

Tabla 11. Coordenadas de los puntos de muestreo en la PTAR - Celendín

Puntos de monitoreo	Coordenadas geográficas		
	Latitud	Longitud	Altura
Afluente (E1)	6° 50' 59"	78° 8' 46"	2606
Efluente (E2)	6° 50' 48"	78° 8' 49"	2605

Fuente: elaboración propia.

El monitoreo para los parámetros de estudio DBO_5 y DQO se efectuó cada 22 días durante un periodo de 03 meses (diciembre, enero y febrero), habiendo recolectado un

total de 16 muestras simples, 08 muestras por cada parámetro a evaluar; en el afluente 04 muestras de agua residual cruda y efluente 04 muestras de agua residual tratada.

Tabla 12. Frecuencia de monitoreo en la PTAR – Celendín.

Parámetro	Frecuencia de monitoreo	diciembre (04-12-2018)		diciembre (26-12-2018)		Enero (17-01-2019)		Febrero (08-02-2018)	
		E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
DQO	22 días	x	x	x	x	x	x	x	x
DBO ₅	22 días	x	x	x	x	x	x	x	x

Fuente: Elaboración propia

Para la toma de muestras de los parámetros de estudio se utilizaron frascos de plástico con tapa rosca de 1 litro capacidad para DBO₅ y de 0.5 litros para DQO. Los cuales fueron debidamente codificados y etiquetados después de la toma de las muestras indicando claramente con plumón indeleble a prueba de agua, el origen y punto de muestreo, código de muestra, responsable del muestreo, fecha y hora de muestreo.

Para la extracción de las muestras para análisis de DBO₅ y DQO se procedió a enjuagar los frascos con agua del afluente de la PTAR; para luego colocar el frasco contra corriente del agua hasta que esté totalmente lleno sin dejar espacio entre la tapa y la muestra; en las muestras para DQO inmediatamente se incorporó el reactivo de preservación ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄). La medición de parámetros en campo se realizó en forma contigua a la recolección de las muestras, como la temperatura, pH, medición del caudal del afluente y efluente de la PTAR y algunas características del agua residual como olor, color y turbiedad.

Tabla 13. Volumen de muestra y reactivos de preservación.

Parámetro	Punto de muestreo			Volumen mínimo/muestra	Preservación y conservación
	E1	E2	Total muestras		
DBO	4	4	8	1000 ml	Refrigerado a 4°C
DQO	4	4	8	500 ml	se agregó H ₂ SO ₄ y refrigerado a 4°C

Fuente: Elaboración propia

El llenado del formato de la cadena de custodia se realizó al finalizar la toma de muestras indicando los parámetros de estudio, tipo de frasco, tipo de muestra de agua

(agua residual cruda o tratada), volumen, número de muestras y reactivo de preservación. Una vez concluido con las actividades los frascos con las muestras fueron guardadas en un cooler térmico en forma ordenada para evitar daños o derrames conteniendo hielo o refrigerante, para luego ser trasladado al Laboratorio Regional del Agua cumpliendo con los protocolos establecidos para sus respectivos análisis.

3.6.2. Trabajo de laboratorio

Las muestras recolectadas fueron entregados al laboratorio en el menor tiempo posible de haberse realizado en muestreo cumpliendo con los requisitos de volumen, preservación y conservación de la muestra según los informes de ensayo del laboratorio. Los análisis de estudio para DBO_5 y DQO se realizó en el laboratorio Regional del Agua acredita por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA con registro N° LE-084.

3.6.2.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO_5)

La demanda bioquímica de oxígeno es uno de los parámetros más utilizados para evaluar la eficiencia en los procesos de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico e industrial. En el cual se determinó la concentración de la carga orgánica vertida a los cuerpos receptores de agua; asimismo, se utilizó el siguiente:

Método de ensayo: *SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand 5-Day BOD Test.*

3.6.2.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Para la determinación de la demanda química de oxígeno del agua residual del afluente y efluente de la PTAR se utilizó el siguiente:

Método de ensayo: *SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23 nd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.*

3.6.3. Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consistió en el análisis y sistematización de los resultados obtenidos por cada parámetro de estudio en las diferentes muestras del agua residual; mediante los cuales podremos determinar la eficiencia de la PTAR. Estos datos fueron comparados mediante cuadro de barras, haciendo una propuesta cruzada entre la normativa y los resultados del laboratorio.

3.6.3.1. Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Para evaluar la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales en la reducción de la DBO₅ y DQO, determinamos en principio el promedio de los resultados obtenidos en los cuatro muestreos del afluente (E1) y efluente (E2) de la PTAR; utilizando la siguiente fórmula matemática.

$$E = \frac{(E1 + E1 + E1 + E1)}{4}$$

Donde:

E : Valor promedio de un determinado parámetro

E1...E1 : valores individuales de un determinado muestreo

Procesamiento de datos para DBO₅ para el afluente y efluente de la PTAR.

$$\mathbf{E1} = \frac{(201.8 + 342.5 + 231.0 + 208.5)}{4} \quad \mathbf{E1} = \frac{(983.8)}{4}$$
$$\mathbf{E1} = 245.95$$

Los resultados obtenidos muestran en promedio para el afluente 245.95 mgO₂/l.

$$\mathbf{E2} = \frac{(45.0 + 42.2 + 39.4 + 37.5)}{4} \quad \mathbf{E2} = \frac{(164.1)}{4}$$
$$\mathbf{E2} = 41.03$$

Los resultados obtenidos muestran en promedio para el efluente 41.03 mgO₂/l.

Procesamiento de datos para DQO para el afluente y efluente de la PTAR.

$$\mathbf{E1} = \frac{(423.1 + 555.7 + 563.3 + 438.4)}{4} \quad \mathbf{E1} = \frac{(1980.5)}{4}$$
$$\mathbf{E1} = 495.13$$

Los resultados obtenidos muestran en promedio para el afluente 495.13 mgO₂/l.

$$\mathbf{E2} = \frac{(174.9 + 144.3 + 131.2 + 148.1)}{4} \quad \mathbf{E2} = \frac{(598.5)}{4}$$
$$\mathbf{E2} = 149.63$$

Los resultados obtenidos muestran en promedio para el efluente de 149.63 mgO₂/l.

Determinación del grado de eficiencia de la PTAR

La determinación del grado de eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales se ve directamente afectada por el ingreso de efluentes de tipo industrial a los sistemas de alcantarillado y los tiempos de retención hidráulica en las diferentes instalaciones del tratamiento. El grado de eficiencia nos permitió evaluar la capacidad operativa de la PTAR Celendín, en la reducción porcentual de la demanda química y bioquímica de oxígeno, de este modo, haremos uso de la siguiente fórmula matemática.

$$N = \frac{FZ - FA}{FZ} \times 100$$

Donde:

N : Grado de eficiencia

FZ : Sumatoria de las cargas que ingresan a la planta.

FA : Sumatoria de las cargas que salen de la planta.

Procesamiento de datos para DBO₅ para el afluente y efluente de la PTAR

$$N = \frac{245.95 - 41.03}{245.95} \times 100 \qquad N = \frac{204.92}{245.95} \times 100$$

$$N = 83.32 \%$$

Los resultados obtenidos muestran un 83.32 % de eficiencia para DBO₅.

Procesamiento de datos para DQO para el afluente y efluente de la PTAR

$$N = \frac{495.13 - 149.63}{495.13} \times 100 \qquad N = \frac{345.5}{495.13} \times 100$$

$$N = 69.78 \%$$

Los resultados obtenidos muestran un 69.78 % de eficiencia para DQO.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Concentración en el afluente y efluente de la Demanda Química de Oxígeno.

En la tabla 14, se puede observar la concentración de la carga contaminante del agua residual cruda que ingresa y agua residual tratada que sale de la PTAR, son muy variables debido a que en los meses de diciembre y enero la población aumenta por celebrarse las fiestas navideñas; teniendo para el afluente un valor máximo de 563.3 mgO₂/l, un valor mínimo de 423.1 mgO₂/l, y un valor promedio calculado de 495.13 mgO₂/l; al igual que para el efluente un valor máximo de 174.9 mgO₂/l, un valor mínimo de 131.2 mgO₂/l con un valor promedio de 149.63 mgO₂/l.

Tabla 14. Concentración del afluente (E1) y efluente (E2) de la DQO en la PTAR.

Parámetro	Fechas de monitoreo							
	04-12-2018		26-12-2018		17/01/2018		08/02/2018	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
DQO	423.1	174.9	555.7	144.3	563.3	131.2	438.4	148.1

Fuente: elaboración propia

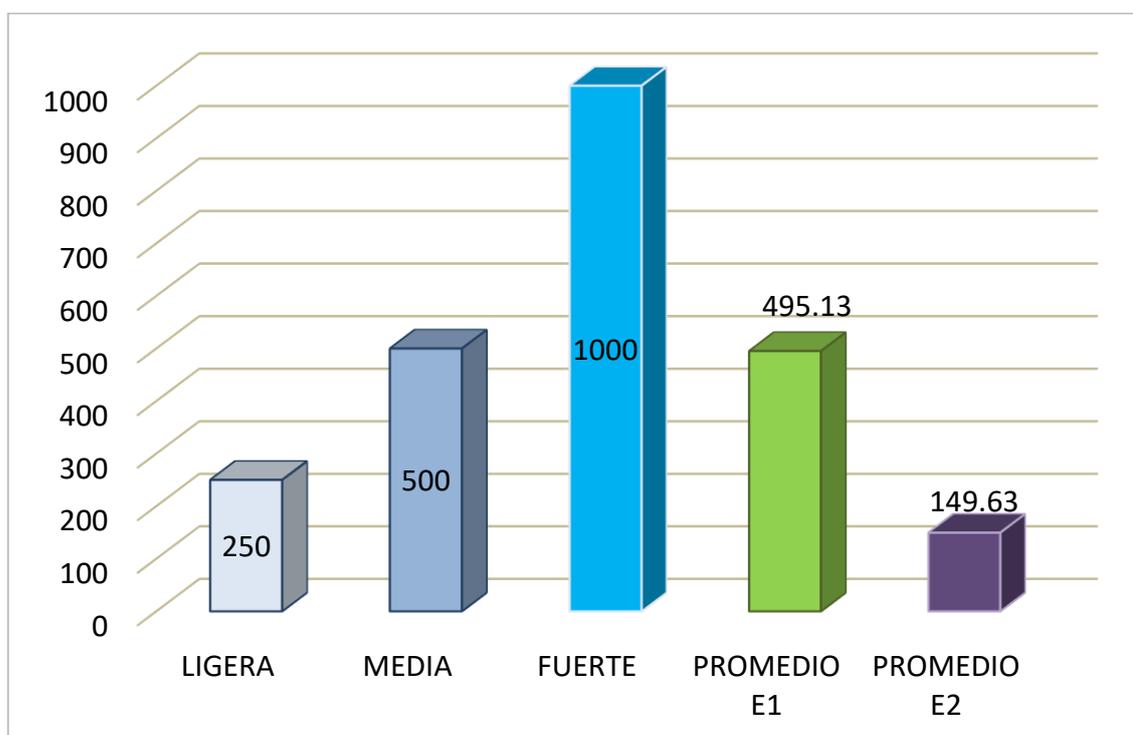


Figura 5. Concentración en el afluente y efluente de la DQO en la PTAR

Según Metcalf & Eddy (2000) los valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbano 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 495.13 mgO₂/l encontrándose dentro de un rango de contaminación media y una reducción de la carga orgánica del 69.78 %.

4.2. Comparación de resultados de la DQO del efluente con los LMP

En la tabla 15, se muestra el valor máximo establecido en los LMP para efluentes de plantas de tratamiento versus las diferentes concentraciones de la DQO obtenidos en los cuatro muestreos; teniendo un valor máximo de 174.9 mgO₂/l y un valor mínimo de 131.2 mgO₂/l; con un valor promedio de 149.63 mgO₂/l en el efluente de la PTAR. Los resultados obtenidos para DQO nos muestran valores por debajo de los LMP que es 200 mgO₂/l establecidos en el D.S. N° 003-2010-MINAM, lo que nos permite determinar que la PTAR si cumple con lo establecido en la normativa vigente.

Tabla 15. Comparación de resultados de la DQO del efluente con los LMP

Fecha de muestreo	DQO del Efluente (mgO ₂ /l)	LMP (mgO ₂ /l)	Condición
04-12-2018	174.9	200	Si cumple
26-12-2018	144.3	200	Si cumple
17-01-2019	131.2	200	Si cumple
08-02-2019	148.1	200	Si cumple

Fuente: elaboración propia

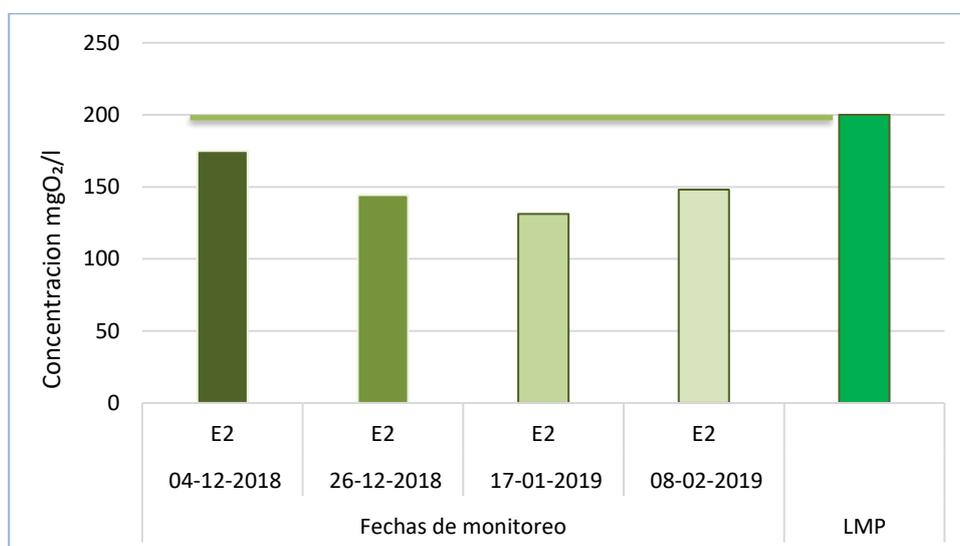


Figura 6. Comparación de resultados de la DQO del efluente con los LMP

En la fig. 6, se presenta los resultados del efluente de la PTAR de los cuatro muestreos realizados frente a los LMP para efluentes de plantas de tratamiento, determinando que estos valores están por debajo de los LMP establecidos en DS. N° 003-2010–MINAM.

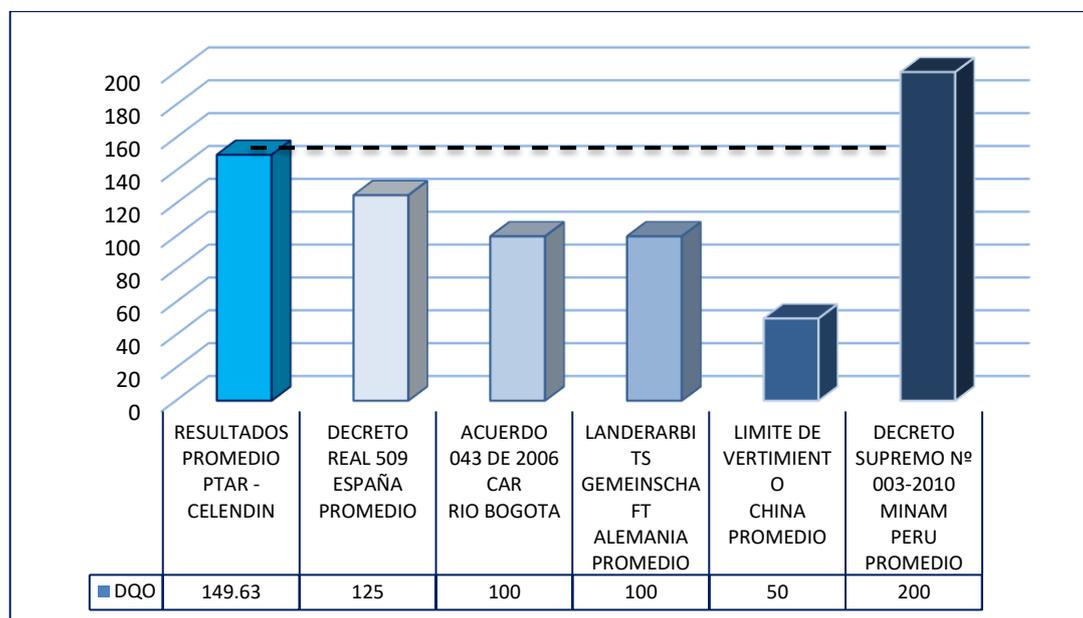


Figura 7. Criterios de calidad para el vertido del AR en la DQO de varios países.

En la fig. 7, se puede visualizar que los criterios de calidad para el vertido de las aguas residuales tratadas en otros países se encuentran por debajo del rango establecido en el D.S. N° 003-2010 – MINAM de la normativa peruana.

4.3. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la demanda química de oxígeno

En la tabla 16 se muestra la concentración de la DQO con la que el agua residual cruda ingresa y sale de la PTAR, teniendo una variación para el afluente (E1) entre 423.1 y 563.3 mgO₂/l al igual que para el efluente (E2) con rangos entre 131.2 y 174.9 mgO₂/l, con porcentajes de eficiencia de reducción que van desde los 58.66 % al 76.71 % y un valor promedio de 69.78 % de eficiencia.

Tabla 16. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la demanda química oxígeno

Fecha de muestreo	Afluente (E1) mg O ₂ /L	Efluente (E2) mg O ₂ /L	% de Eficiencia
04/12/2018	423.1	174.9	58.66
26/12/2018	555.7	144.3	74.03
17/01/2019	563.3	131.2	76.71
08/02/2019	438.4	148.1	66.22

Fuente: Elaboración propia

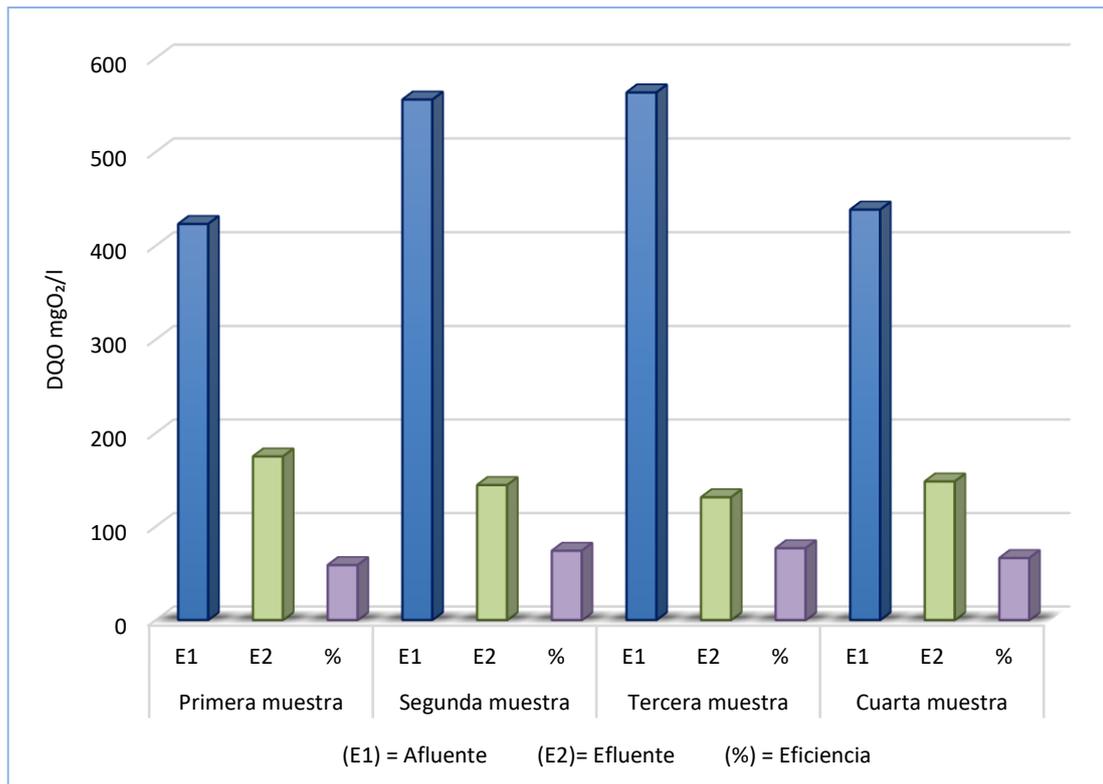


Figura 8. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la demanda química de oxígeno.

En relación con los cálculos de diseño de la PTAR, los dos reactores de flujo ascendente (RAFA) deberían tener una eficiencia de reducción total de la DQO del 78.3 % y la laguna facultativa una reducción del 70 % respectivamente; sin embargo, en base a la sistematización de los resultados obtenidos podemos determinar que la PTAR Celendín tiene una eficiencia del 69.78 % para DQO no cumpliendo con los parámetros establecidos de diseño.

Según otros estudios realizados la particularidad de las PTAR con reactores anaerobios de tipo UASB alimentado con aguas residuales domésticas logran eficiencias de reducción en DQO de 60 a 70 % (Noyola *et al.* 2013); y su implementación a escala tan grande demuestra que es una tecnología consolidada con eficiencias de reducción del 65 y 80 % de la DQO y tiempos de retención hidráulica (TRH) entre 6 y 10 horas (Torres 2012); al igual que, las lagunas facultativas logran eficiencias de remoción entre 55 y 75 % (ITC 2006). Por lo que, en comparación con los resultados obtenidos la PTAR Celendín tiene una eficiencia en promedio del 69.78 % para DQO encontrándose dentro del rango de este tipo de plantas en los procesos de depuración de las aguas residuales.

4.4. Concentración en el afluente y efluente de la demanda bioquímica oxígeno.

En la tabla 17, se puede observar la concentración de la carga contaminante del agua residual cruda que ingresa y agua residual tratada que sale de la PTAR, son muy variables debido a en los meses de diciembre y enero la población aumenta por celebrarse la fiestas navideñas; teniendo para el afluente un valor máximo de 342.5 mgO₂/l, un valor mínimo de 201.8 mgO₂/l, y un valor promedio de 245.95 mgO₂/l; al igual que para el efluente con un valor máximo de 45.0 mgO₂/l, un valor mínimo de 37.5 mgO₂/l y un valor promedio de 41.03 mgO₂/l.

Tabla 17. Concentración en el afluente y efluente de la DBO₅ en la PTAR

Parámetro	Fechas de monitoreo							
	04-12-2018		26-12-2018		17/01/2018		08/02/2018	
	E1	E2	E1	E2	E1	E2	E1	E2
DBO ₅	201.8	45.0	342.5	42.2	231.0	39.4	208.5	37.5

Fuente: elaboración propia.

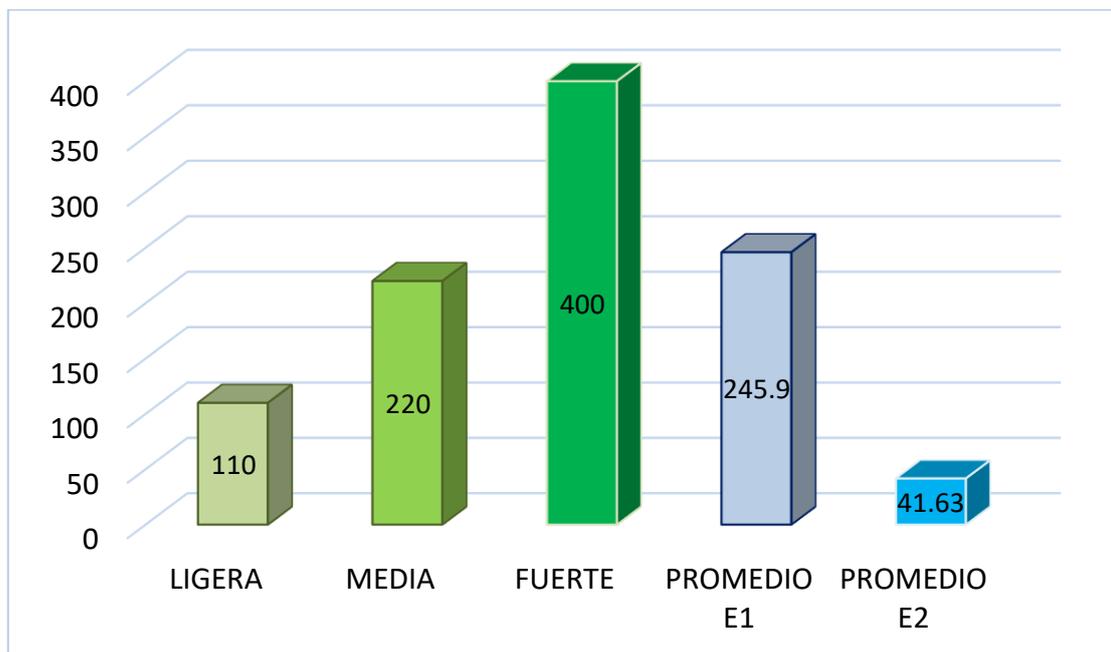


Figura 9. Concentración en el afluente y efluente de la DBO₅ en la PTAR.

Según Metcalf & Eddy (2000) los valores típicos de los principales contaminantes del agua residual urbano 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 DBO₅ 245.95 mgO₂/l encontrándose dentro de un rango de contaminación media y una reducción de la carga orgánica del 83.32 %.

4.5. Comparación de resultados de la DBO₅ del efluente con los LMP.

En la tabla 18; Se puede observar que los resultados obtenidos para DBO₅ nos muestran valores por debajo de los LMP que es 100 mgO₂/l establecidos en el D.S. N° 003-2010–MINAM, lo que nos permite determinar que la PTAR si cumple con lo establecido en la normativa vigente.

Tabla 18. Comparación de resultados de la DBO₅ del efluente con los LMP.

Fecha de muestreo	DBO ₅ del Efluente mgO ₂ /L	LMP mgO ₂ /L	Condición
04-12-2018	45.0	100	Si cumple
26-12-2018	42.2	100	Si cumple
17-01-2019	39.4	100	Si cumple
08-02-2019	37.5	100	Si cumple

Fuente. Elaboración propia

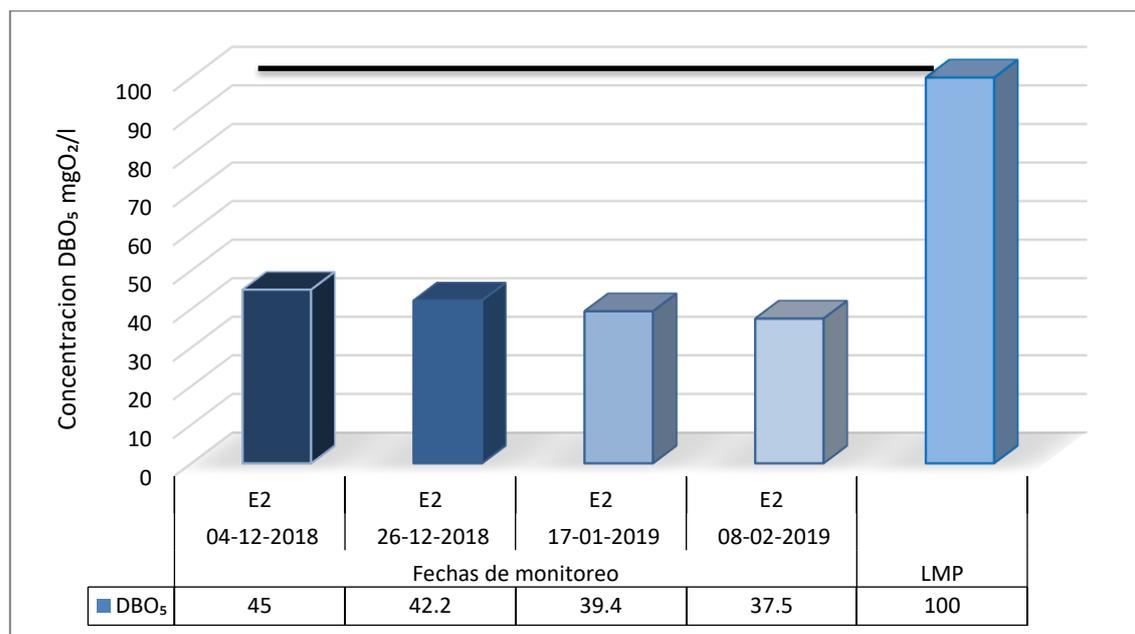


Figura 10. Comparación de resultados de la DBO₅ del efluente con los LMP.

En la fig. 10, se muestra el valor máximo establecido en los LMP para efluentes de plantas de tratamiento versus las diferentes concentraciones de la DQO obtenidos en los cuatro muestreos; teniendo un valor máximo de 45.0 mgO₂/l y un valor mínimo de 37.5 mgO₂/l; con un valor promedio de 41.03 mgO₂/l en el efluente de la PTAR. De esta manera poder determinar que el efluente de la PTAR si cumple con los LMP establecidos en la normativa vigente del D.S. N° 003-2010 – MINAM.

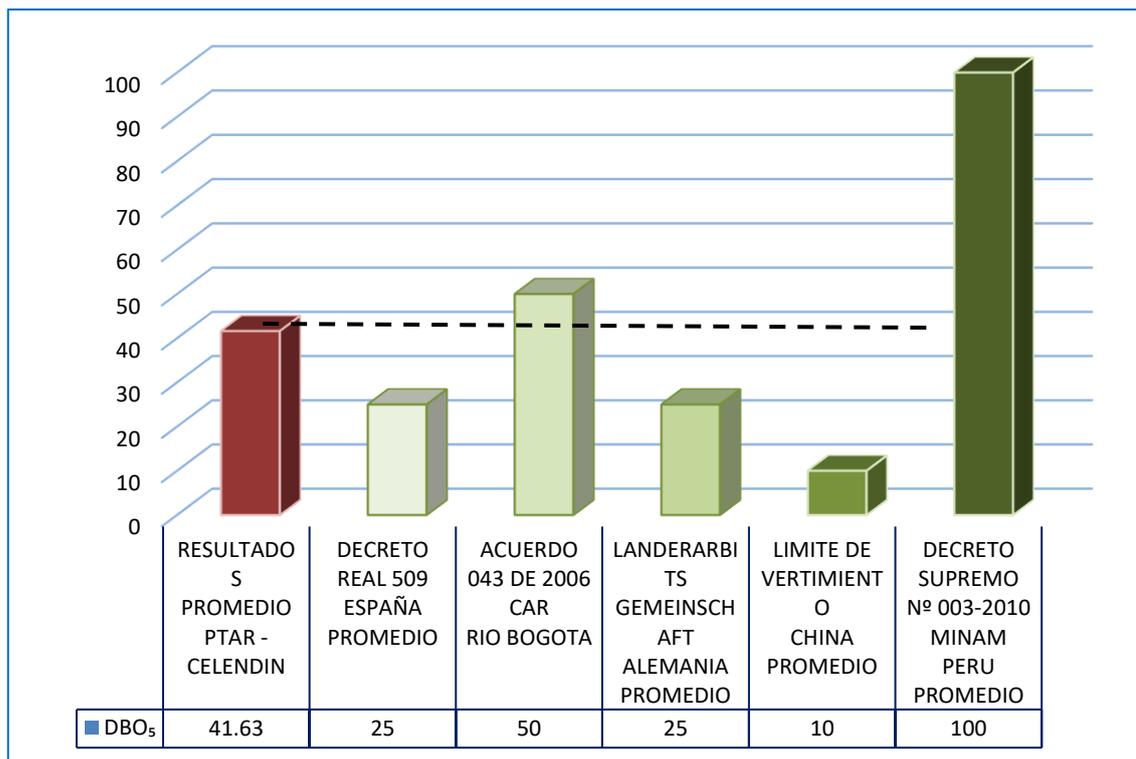


Figura 11. Criterios de calidad para en vertido del AR en la DBO₅ de varios países

En la fig. 11, se puede visualizar que los criterios de calidad para el vertido de las aguas residuales tratadas en otros países se encuentran por debajo del rango establecido en el D.S. N° 003-2010 – MINAM de la normativa peruana.

4.6. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la demanda bioquímica de oxígeno.

En la tabla 19 se indica la concentración de la DBO₅ con la que ingresa el agua residual cruda y sale el agua residual tratada de la PTAR, teniendo una variación para el afluente entre 342.5 y 201.8 mgO₂/l al igual que para el efluente con rangos entre 45.0 y 37.5 mgO₂/l, con porcentajes de eficiencia de reducción que van desde los 77.70 % al 87.68 % y un valor promedio de 83.32 % de eficiencia.

Tabla 19. Eficiencia de la PTAR en la reducción de la DBO₅.

Fecha de muestreo	Afluente (E1) mg O ₂ /L	Efluente (E2) mg O ₂ /L	% de Eficiencia
04/12/2018	201.8	45.0	77.70
26/12/2018	342.5	42.2	87.68
17/01/2019	231.0	39.4	82.94
08/02/2019	208.5	37.5	82.01

Fuente: elaboración propia.

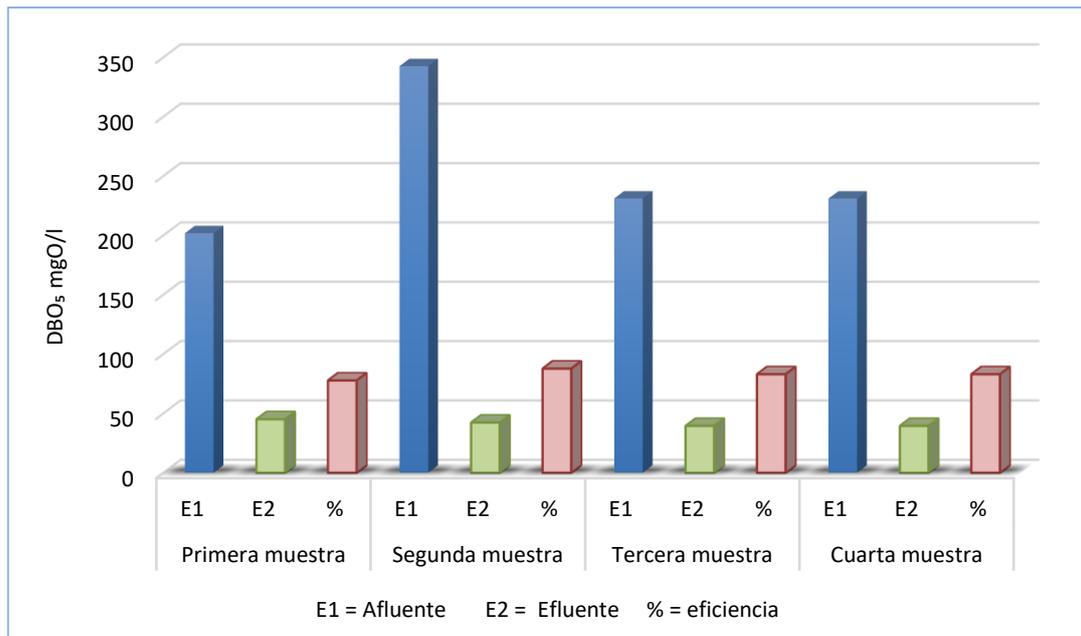


Figura 12. Eficiencia de PTAR en la reducción de la demanda bioquímica oxígeno

En relación con los cálculos de diseño de la PTAR, los dos reactores de flujo ascendente (RAFA) deberían tener una eficiencia de reducción total de la DBO₅ del 78.3 % y la laguna facultativa una reducción del 73 % respectivamente; en tal sentido, realizando la sistematización de los resultados obtenidos podemos determinar que la PTAR Celendín tiene una eficiencia del 83.32 % para DBO₅ cumpliendo con los parámetros establecidos en las bases de diseño.

Según estudios realizados la particularidad de las PTAR con reactores anaerobios de tipo UASB alimentado con aguas residuales domésticas logran eficiencias de remoción en DBO₅ de 70 a 80 % (Noyola *et al.* 2013); al igual que, las lagunas facultativas logran eficiencias de remoción entre 60 y 80 % (ITC 2006). Por lo que, en comparación con los resultados obtenidos la PTAR Celendín tiene una eficiencia en promedio del 83.32 % para DBO₅ encontrándose dentro del rango de este tipo de plantas en los procesos de depuración de las aguas residuales.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

- De acuerdo a los resultados obtenidos del afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín se pudo determinar que los procesos de tratamiento son eficientes en la reducción de la DBO₅ con una eficiencia del 83.32 %, e ineficiente en la reducción de la DQO con 69.78 % no cumpliendo con las bases de diseño.
- Así mismo, contrastando los resultados obtenidos estos se encuentran por debajo de los Límites Máximos Permisibles teniendo en promedio concentraciones para DQO de 149.63 mgO₂/l, al igual que, para DBO₅ una concentración de 41.03 mgO₂/l, cumpliendo con los estándares establecidos en el D.S N° 003-2010-MINAM; a diferencia de otros países donde los LMP están por debajo del rango establecido en la normativa peruana.

5.2. Recomendación

Se 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; de tal forma que permita evaluar la eficiencia por cada componente del sistema de tratamiento.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aspajo Quino, LE. 2017. Evaluación de la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales respecto a los límites máximos permisibles de aguas residuales de los distritos de Elías Soplín Vargas y Soritor. Tesis Bach. Moyobamba, Perú, Universidad Cesar Vallejo. 58 p.
- 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. Tesis Bach. Huancavelica, Perú, Universidad Nacional de Huancavelica. 136 p.
- Canales Grande, GA. 1998. Evaluación del proceso de tratamiento de aguas residuales en la planta UNI-TRAR, Tesis Bach. Lima, Perú, Universidad Nacional de Ingeniería. 176 p.
- Caldera, Y; Madueño, P; Griborio, A; Fernandez, N; Gutierrez, E; Effect of the organic load in the performance the UASB reactor treating slaughterhouse effluent. Rev Téc Fac Ing Univ Zulia. agosto de 2005;12.
- Conil, P. La tecnología anaerobia U.A.S.B. en el tratamiento de aguas residuales domésticas: 10 años de desarrollo y maduración en América Latina. BIOTEC 25 p.
- Deloya Martínez, A. 2010. Métodos de análisis físicos y espectrofométricos para el análisis de aguas residuales. Tecnología en marcha. 19(2):31-40.
- FONAM (Fondo Nacional del ambiente - Perú). 2010. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Rossi, MG. Perú, 37 p.
- IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales); Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. 2007. Demanda bioquímica de oxígeno – 5 días. Incubación y Electrometría. Colombia, 13 p.
- ITC (Instituto Tecnológico de canarias). 2006. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población: mejora de la calidad de los afluentes. Primera edición. Betancort, JR. 128 p.

- Martínez Bardales, MD. 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. Tesis Bach. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. 68 p.
- Montenegro Juárez, JC. 2013. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas del distrito el Parco, Bagua, Amazonas. Tesis Bach. Lambayeque, Perú, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo. 60 p.
- Muñoz Paredes, JF; Ramos Ramos, M. 2014. Reactores discontinuos secuenciales: Una tecnología versátil en el tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. 24(1): p 49-66.
- Metcalf & Eddy. 1995. INGENIERÍA DE AGUAS RESIDUALES: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3 ed. Trillo, JD (trad.). Madrid, España, McGRAW-HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A. v.1, 504 p.
- Noyola, A; Morgan, JM; Patricia, L. 2013. SELECCIÓN DE TECNOLOGIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES: Guía de apoyo para ciudades pequeñas y medianas. Primera edición. Pérez, RE (dis.). México, 140 p.
- NJS sucursal del Perú. 2009. Proyecto mejoramiento y ampliación de los sistemas de agua potable y alcantarillado de la ciudad de Celendín.
- Ochoa León, HR. 2016. Comparación de la eficiencia de remoción de materia orgánica entre un reactor de lodos activados y un reactor anaerobio de flujo ascendente. Tesis Ing. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú Escuela de Posgrado. 157 p.
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental). 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Gómez, HR. Lima, Perú, 38 p.
- Racchumi Linares, KCG. 2014. Determinación del grado de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas en la localidad de Segunda Jerusalén. Tesis Bach. Rioja, Perú, Universidad Nacional de San Martín. 56 p.

- Romero Rojas, JA. 2004. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES: Teoría y principios de diseño. Tercera edición. Cañas, J (coord.). Bogotá, Colombia, Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.
- Sánchez, IA; Matsumoto, T. 2012. Evaluación del desempeño de la planta de tratamiento de aguas residuales urbanas de ILHA Solteira (SP) por lagunas facultativas primarias. Ingeniería y desarrollo, Volumen 30 (n° 2):199-222.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento), GIZ (cooperación alemana). 2015. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. 1 ed. Lima, Perú, Imprenta Nacional. 150 p.
- Torres Lozada, P. 2012. Perspectivas del tratamiento anaerobio de aguas residuales domésticas en países en desarrollo. Revista EIA. 9(18):115-129.
- Valdez, EC; Vásquez, AB. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. México, Fundación ICA, A.C. 341 p.

ANEXOS

Anexo 1. Resultados de parámetros de campo del afluente y efluente de la PTAR.

Tabla 7. Resultados de parámetros de campo del afluente y efluente de la PTAR.

Fecha muestreo	parámetro	unidad	Afluente	Efluente
04-12-2018	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ / L	201.8	45.0
	Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	423.1	174.9
	Temperatura	° C	13	14
	pH	Unidad	6.7	6.8
26-12-2018	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ / L	342.5	42.2
	Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	555.7	144.3
	Temperatura	° C	14	17
	pH	Unidad	6.6	6.8
17-01-2019	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ / L	231.0	39.4
	Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	563.3	131.2
	Temperatura	° C	13	15
	pH	Unidad	6.7	6.8
08-02-2019	Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg O ₂ / L	208.5	37.5
	Demanda Química de Oxígeno	mg O ₂ / L	438.4	148.1
	Temperatura	° C	14	16
	pH	Unidad	6.6	6.7

Fuente: Elaboración propia.

ANEXOS

Anexo 2. Registro fotográfico del desarrollo de la tesis

Imagen 1. Georreferenciación de los puntos de monitoreo con el instrumento (GPS).



Imagen 2. Etiquetado y rotulado de los frascos para la recolección de las muestras.



Imagen 3. Toma de muestras en el afluente de la PTAR – Celendín.



Imagen 4. Toma de muestra en el efluente e incorporación del reactivo de preservación.



Imagen 5. Medición de parámetros en campo Temperatura y pH.



Imagen 6. Guardado de frascos para ser trasladados al Laboratorio Regional del Agua.



Imagen 7. Trabajos realizados en el Laboratorio Regional del Agua.



Imagen 8. Visita y seguimiento del asesor a la ejecución del proyecto tesis en la PTAR.



Imagen 9. Planta de tratamiento de aguas residuales Celendín.



ANEXOS

Anexo 3. Resultados de análisis de Laboratorio Regional del Agua



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218712

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

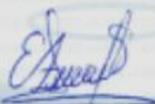
Razon Social/Usuario **QUISPE COTRINA FRANKLIN**
 Dirección **Jr. Dos de Mayo N° 1814 Celendín**
 Persona de contacto - Correo electrónico **fquispe.co@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **04.12.18** Hora: **10:05 a 10:35**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**
 Procedencia de la Muestra: **PTAR - CELENDIN - CAJAMARCA**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 829** Cadena de Custodia **CC - 712 - 18**
 N° Orden de Trabajo **1218712**
 Fecha y Hora de Recepción **04.12.18** **15:25** Inicio de Ensayo **04.12.18** **16:10**
 Reporte Resultado **11.12.18** **11:00**



Bigo. Enver Zulueta Santa Cruz
Responsable Técnico (e)
CBP: 9778

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 12 de Diciembre de 2018.

LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218712

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS				
Código Cliente	E1 - DBO - F	E2 - DBO - F	E1 - DQO - F	E2 - DQO - F	-	-	-
Código Laboratorio	1218712-01	1218712-02	1218712-03	1218712-04	-	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendin	PTAR Celendin	PTAR Celendin	PTAR Celendin	-	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	mg O ₂ /L	2.6	201.8	45.0	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	-	-	423.1	174.9	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.

Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.

(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado

(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

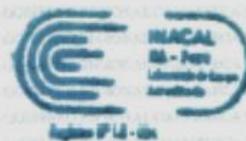
Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°05 Fecha: 06/08/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2005.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

por: 
Ing. Mariano de la Cruz Samiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA
Cajamarca, 12 de Diciembre de 2018.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218768

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **QUISPE COTRINA FRANKLIN**
 Dirección **Jr. Dos de Mayo N° 1814 Celendín**
 Persona de contacto **-** Correo electrónico **fquispe.co@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha y Hora del Muestreo **26.12.18** Hora: **09:50 a 10:50**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestra **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario.**
 Procedencia de la Muestra: **PTAR - CELENDIN - CAJAMARCA**

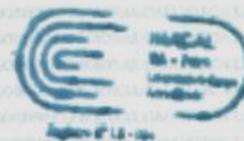
DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 876** Cadena de Custodia **CC - 768 - 18**
 N° Orden de Trabajo **1218768**
 Fecha y Hora de Recepción **26.12.18 15:04** Inicio de Ensayo **26.12.18 16:30**
 Reporte Resultado **02.01.19 11:00**

Blgo. Enver Zulueta Santa Cruz
Responsable Técnico (e)
CBP: 9778

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

Cajamarca, 02 de Enero de 2019.



LABORATORIO DE ENSAYO ACREDITADO POR EL
ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL- DA
CON REGISTRO N° LE-084

INFORME DE ENSAYO N° IE 1218768

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS				
Código Cliente	E1 - DBO - F		E2- DBO - F	E1 - DQO - F	E2- DQO - F	-	-
Código Laboratorio	1218768-01		1218768-02	1218768-03	1218768-04	-	-
Matriz de Agua	RESIDUAL		RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendin		PTAR Celendin	PTAR Celendin	PTAR Celendin	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	342.5	42.2	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	-	-	555.7	144.3	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

OBSERVACIONES

LCM: Límite de cuantificación del métodos, los Resultados Químicos <LCM, significa que la concentración del analito es menor al LCM del Laboratorio establecido.
Los Resultados Microbiológicos <1.8, 1.0; significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecia crecimiento bacteriano en la muestra.
(*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica ND: No determinado
(*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev.N°05 Fecha : 06/06/2017

NOTAS FINALES

- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original.
- ✓ Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ El Sistema de Gestión de Calidad del Laboratorio Regional del Agua, está ACREDITADO en base a la norma NTP ISO/IEC 17025:2008.
- ✓ La incertidumbre de medición se expresa cuando los resultados están dentro del alcance del método.
- ✓ El tipo de preservante utilizado corresponde al requerido por la normativa vigente para los diferentes parámetros.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Los materiales o muestras sobre los que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua, durante el tiempo indicado de preservaciones posteriores a la emisión del informe, por lo que toda comprobación o reclamación que, en su caso, deseara efectuar el solicitante, se deberá ejercer en el plazo indicado.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

Ing. Mariana de la Cruz Sarmiento
Analista Responsable de Química
CIP: 119544

Cajamarca, 02 de Enero de 2019.



INFORME DE ENSAYO N° IE 0119026

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **QUISPE COTRINA FRANKLIN**
 Dirección **Jr. Dos de Mayo N° 1814 Celendin**
 Persona de contacto - Correo electrónico **fquispe.co@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **17.01.19** Hora de Muestreo **09:39 a 10:05**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestras **04 Muestra** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario**
 Procedencia de la Muestra: **PTAR- CELENDIN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 045** Cadena de Custodia **CC - 026-19**
 Fecha y Hora de Recepción **17.01.19 15:25** Inicio de Ensayo **17.01.19 16:00**
 Reporte Final de Resultados **24.01.19 10:30**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA

 Blgo. Enver Zulueta Santa Cruz
 Responsable Técnico (e)
 CBP. 9778

Cajamarca, 25 de Enero de 2019.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0119026

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS				
Código Cliente	E1 - DBO - F		E2- DBO - F	E1 - DQO - F	E2- DQO - F	-	-
Código Laboratorio	0119026-01		0119026-02	0119026-03	0119026-04	-	-
Matriz	RESIDUAL		RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Doméstica		Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín		PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados				
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	231.0	39.4	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	-	-	563.3	131.2	-

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (**) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
 - ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
 - ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
 - ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.


 Ing. Qco Freddy H. López León
 Analista de Química
 CIP: 198264



INFORME DE ENSAYO N° IE 0219099

DATOS DEL CLIENTE/USUARIO

Razon Social/Usuario **QUISPE COTRINA FRANKLIN**
 Dirección **Jr. Dos de Mayo N° 1814 Celendín**
 Persona de contacto - Correo electrónico **fquispe.co@gmail.com**

DATOS DE LA MUESTRA

Fecha del Muestreo **08.02.19** Hora de Muestreo **08:12 a 09:14**
 Tipo de Muestreo **Puntual**
 Número de Muestras **04 Muestras** N° Frascos x muestra **01**
 Ensayos solicitados **Fisicoquímicos**
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen y preservación.**
 Responsable de la toma de muestra **Las muestras fueron tomadas por el personal usuario**
 Procedencia de la Muestra: **PTAR - CELENDÍN**

DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO

N° Contrato **SC - 45** Cadena de Custodia **CC - 099 - 18**
 Fecha y Hora de Recepción **08.02.19 12:50** Inicio de Ensayo **08.02.18 15:00**
 Reporte Resultado **17.02.19 12:00**

LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
 GOBIERNO REGIONAL DE CAJAMARCA
 LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA
 Bigo. Juan V. Díaz Saenz
 RESPONSABLE
 CBP 7385

Cajamarca, 18 de Febrero de 2019.

INFORME DE ENSAYO N° IE 0219099

ENSAYOS			QUÍMICOS y MICROBIOLÓGICOS			
Código Cliente	E1 - DBO - F	E2- DBO - F	E1 - DQO - F	E2- DQO - F	-	-
Código Laboratorio	0219099-01	0219099-02	0219099-03	0219099-04	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	REGIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	PTAR Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	2.6	208.5	37.5	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	8.3	-	-	438.4	148.1

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

Nota: Los Resultados <1.8: significa que el resultado es equivalente a cero, no se aprecian crecimiento en la muestra.

Ensayo	Unidad	Método de Ensayo Utilizados
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 22 nd Ed. 2012: Biochemical Oxygen Demand (BOD), 5-Day BOD Test
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O ₂ /L	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD), Closed Reflux, Colorimetric Method

NOTAS FINALES

- (*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA. NA: No aplica
- (*) Los Resultados son referenciales, fueron procesados fuera del tiempo estipulado por el método.
- ✓ Los resultados indicados en este informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo en este Laboratorio Regional del Agua.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Los resultados del informe no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que la produce.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.



"Fin del documento"

Código del Formato: RT1-5.10-01 Rev: N°06 Fecha : 02/01/2019

Cajamarca, 18 de Febrero de 2019.

LABORATORIO REGIONAL
DEL AGUA

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Afluente:** agua residual que ingresa a una planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Aguas residuales:** aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades antropogénicas.
- **Agua residual doméstica:** Agua de origen doméstico, comercial e institucional que contiene desechos fisiológicos y otros provenientes de la actividad humana.
- **Agua residual Municipal:** Son aguas residuales domésticas. Se puede incluir bajo esta definición a la mezcla de aguas residuales domésticas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial, siempre que estas cumplan con los requisitos para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.
- **Aguas servidas:** Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.
- **Biodegradación:** Degradación de la materia orgánica por acción de microorganismos sobre el suelo, aire, cuerpos de agua receptores o procesos de tratamiento de aguas residuales.
- **Cadena de custodia:** Documento de control y seguimiento de las condiciones de recolección de la muestra, preservación, codificación, transporte, esencial para asegurar la integridad de la muestra desde su recolección hasta la entrega de los resultados. Es la evidencia de la trazabilidad.
- **Desarenadores:** Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).
- **Digestión aerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en presencia de oxígeno.
- **Digestión anaerobia:** Descomposición biológica de la materia orgánica de un lodo en ausencia de oxígeno.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** La cantidad de oxígeno que es requerido para la descomposición de la materia orgánica por bacterias, bajo condiciones de una prueba estandarizada, en un tiempo de 5 días e incubada a 20°C. Se utiliza para medir la cantidad de contaminación orgánica en aguas residuales.
- **Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Cantidad de oxígeno que es consumido en la oxidación de materia orgánica, ya sea biodegradable o no, bajo condiciones

de una prueba estandarizada. Es usado para medir la cantidad total de contaminantes orgánicos presentes en aguas residuales.

- **Efluente:** agua residual que sale de una planta de tratamiento de aguas residuales.
- **Eficiencia del tratamiento:** Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico. Puede expresarse en decimales o porcentaje.
- **Frecuencia de monitoreo:** es la periodicidad del monitoreo de calidad del agua residual, el cual está determinado por el caudal de operación de la PTAR.
- **Muestra de agua:** parte representativa del material a estudiar (para este caso agua residual cruda y tratada) en la cual se analizan los parámetros de interés.
- **Límites Máximos Permisibles (LMP):** es la medida de la concentración o del grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a una emisión, que al ser excedida causa o puede causar daños a la salud, al bienestar humano y al ambiente. Su cumplimiento es exigible legalmente por el MINAM y los organismos que conforman el Sistema de Gestión Ambiental.
- **Lodos activados:** Procesos de tratamiento biológico de aguas residuales en ambiente químico aerobio, donde las aguas residuales son aireadas en un tanque que contiene una alta concentración de microorganismos degradadores. Esta alta concentración de microorganismos se logra con un sedimentador que retiene los flóculos biológicos y los retorna al tanque aireado.
- **pH:** Logaritmo con signo negativo de la concentración de iones hidrógeno, expresado en moles por litro.
- **Planta de tratamiento de aguas residuales:** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).
- **Preservante químico:** es una solución química que inhibe y/o estabiliza la muestra para conservar las características de la muestra de agua residual hasta el momento del análisis.
- **Punto de monitoreo o punto de control:** es la ubicación geográfica de un punto, donde se realiza la evaluación de la calidad y cantidad (en este caso del agua residual cruda y tratada) en forma periódica.

- **Reactor anaerobio de flujo ascendente (UASB).**- Proceso continuo de tratamiento anaerobio de aguas residuales en el cual el desecho circula de abajo hacia arriba a través de un manto de lodos o filtro, para estabilizar parcialmente de la materia orgánica. El desecho se retira del proceso en la parte superior; normalmente se obtiene gas como subproducto del proceso.
- **Sedimentación.**- Proceso físico de clarificación de las aguas residuales por efecto de la gravedad. Junto con los sólidos sedimentables precipita materia orgánica del tipo putrescible.
- **Tratamiento aerobio:** Un proceso de tratamiento de aguas residuales en el cual se utilizan bacterias y otros organismos que se alimentan de desechos, los cuales son descompuestos, tomando oxígeno disuelto de sus alrededores.
- **Tratamiento anaerobio:** Un proceso de tratamiento de aguas residuales que se apoya en los procesos de digestión anaeróbica en el cual se utilizan bacterias que se alimentan del sustrato sobre el cual crecen, en ausencia de oxígeno.
- **Tratamiento primario:** Tratamiento en el que se remueve una porción de los sólidos suspendidos y de la materia orgánica del agua residual. Esta remoción normalmente es realizada por operaciones físicas como la sedimentación. El efluente del tratamiento primario usualmente contiene alto contenido de materia orgánica y una relativamente alta DBO.
- **Tratamiento secundario:** Es aquel directamente encargado de la remoción de la materia orgánica y los sólidos suspendidos.
- **Tiempo de retención hidráulica:** Tiempo medio teórico 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.