

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental**



**TESIS**

**Para Optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**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**

**PRESENTADO POR:**

**Bachiller:** Manuel David Martínez Bardales

**Asesor:** Ing. Jorge Silvestre Lezama Bueno

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2016**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haber permitido culminar con éxito el presente estudio, por darme la sabiduría para enfrentar y superar las dificultades que se presentan constantemente en los escalones de mi vida.

A Faustino Bardales y Rosa Calla, (mi Papá Tino y mi Mamá Rosa), aunque ya ausentes en este mundo, muy presentes en mi corazón, por brindarme su infinito amor, por ser el tronco más sólido de la unión, ejemplo de bondad, humildad, respeto, y amor.

A Yoli Bardales Calla, mi mamá Yoli, por el gran cariño de hijo que le guardo, quien con su insistencia y perseverancia fue el empuje principal para la realización del presente estudio; y es en la actualidad el motor principal de la motivación, con el único fin de hacer lograr nuestras metas.

A mis Padres, Dalila y Lucas, por ser gestores en el proceso de mi formación personal, inculcándome valores que me permitirían avanzar como persona; resaltando a mi madre, mi primera educadora y quien no me dejó pese al momento difícil que nos tocó pasar.

## AGRADECIMIENTOS

A Claudia Becerra, por apoyarme en todo sentido desde el momento en que nos conocimos, transmitiéndome seguridad, fuerza, amor y confianza en mí mismo. A ella, mi agradecimiento especial por el apoyo demostrado en el desarrollo del estudio.

Al Ing. Lenin Jiménez, mi tío, por ser ejemplo de motivación y dedicación a seguir en mi desarrollo profesional, por brindarme su apoyo desde el inicio de mi carrera, abriéndome los brazos de su hogar y considerándome siempre.

Al Ing. Jesús Ángeles, mi tío, por el apoyo brindado para la culminación del presente trabajo, así mismo por la confianza puesta, el optimismo contagiado, y el ejemplo brindado para mi desarrollo profesional y personal.

Al Ing. Jorge Lezama Bueno, mi asesor, por guiarme en el desarrollo del presente estudio, estando presente en las actividades relacionadas al mismo, mostrando interés y dedicación, al mismo tiempo que su amistad.

A mis Tíos(as) María, Elvia, Kati, Cristina, Andrés, Elena y Juana, por estar presente conmigo, ofreciéndome su cariño, ayuda, amistad, consideración.

A mi Hermano Rafael, por su consideración y respeto, aun siendo mi menor por enseñarme virtudes que engrandecen como persona. Así mismo a mis hermanas, Lucero y Milagros, por su respeto y cariño brindado.

A la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNC por brindarme los conocimientos necesarios para surgir como profesional en el trayecto de mi carrera.

## ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>4</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>10</b>
1.1. Problema de investigación.....	11
1.2. Formulación del problema.....	12
1.3. Objetivos de la investigación.....	12
1.3.1. Objetivo general .....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Hipótesis de la investigación .....	12
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1. Antecedentes.....	13
2.2. Aguas Residuales.....	14
2.3. Tratamiento de las aguas residuales .....	17
2.4. Características de las PTAR .....	18
2.4.1. Descripción de la PTAR de la ciudad de Celendín .....	20
2.4.1.1. Desarrollo de las bases del Proyecto .....	20
2.4.1.2. Criterios de calidad de aguas residuales aplicados.....	22
2.4.1.3. Procesos de tratamiento en el sistema de Celendín.....	22
2.4.1.4. Características de los procesos de tratamiento.....	23
2.5. Parámetros analizados en el estudio .....	25
2.5.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) .....	25
2.5.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO).....	26
2.5.3. Sólidos Suspendedos Totales (SST) .....	28
2.5.4. pH.....	29
2.5.5. Temperatura (T°).....	29
2.5.6. Eficiencia de remoción en cuanto a DBO, DQO Y SST.....	30

<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación .....	31
3.2. Materiales .....	32
3.2.1. Materiales y equipos de laboratorios .....	32
3.2.2. Materiales de campo.....	32
3.3. Metodología .....	33
3.3.1. Trabajo de campo .....	34
3.3.2. Trabajo de laboratorio .....	35
3.3.3. Trabajo de gabinete .....	36
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
4.1. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO).....	37
4.2. Demanda Química de Oxígeno (DQO) .....	39
4.3. Sólidos Suspendedos Totales (SST).....	42
4.4. pH .....	44
4.5. Temperatura (T°) .....	46
4.6. Eficiencia de la PTAR de Celendín .....	49
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>51</b>
5.1. Conclusiones.....	51
5.2. Recomendaciones .....	52
<b>6. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>53</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>56</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>77</b>

### **Índice de tablas**

Tabla 01: Parámetros para medir la concentración de las aguas residuales.....	15
Tabla02: Valores máximos y mínimos permitidos en parámetros convencionales de las aguas residuales domesticas.....	16
Tabla 03: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR .....	17

Tabla 04: Caudales a ser drenados a la PTAR.....	20
Tabla 05: Carga Orgánica.....	21
Tabla 06: Resumen de bases de diseño .....	21
Tabla 07: Datos Básicos de diseño .....	23
Tabla 08: Características físicas de la PTAR Celendín.....	23
Tabla 09: Cociente DBO/DQO.....	27
Tabla 10: DBO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca).....	37
Tabla 11: Promedio de la concentración de la DBO .....	38
Tabla 12: DBO en otros laboratorios.....	39
Tabla 13: DQO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca).....	39
Tabla 14: Promedio de la concentración de la DQO.....	40
Tabla 15: DQO en otros laboratorios.....	41
Tabla 16: SST (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca) .....	42
Tabla 17: Comparación de la concentración de SST adicionales.....	43
Tabla 18: Promedio de la concentración de los SST.....	43
Tabla 19: Resultados del pH.....	44
Tabla 20: Promedio de los resultados del pH.....	44
Tabla 21: pH en otras fechas .....	45
Tabla 22: Resultados de la T° .....	46
Tabla 23: Promedio de los resultados de la T° .....	47
Tabla 24: Resultados de T° en otras fechas.....	47
Tabla 25: Resumen de la concentración de los parámetros en estudio .....	48
Tabla 26: Eficiencia de remoción en cuanto a DBO, DQO y SST.....	50

## **Índice de figuras**

Figura 01: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA) .....	19
Figura 02: Esquema de una Laguna Facultativa.....	20
Figura 03: Método de determ. de MO biodegradable - prueba de DBO. ....	26
Figura 04: Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.....	28
Figura 05: Ubicación de la PTAR de Celendín .....	31

## **Índice de gráficos**

Gráfico 01: DBO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca).....	37
Gráfico 02: Promedio de los resultados de la DBO.....	38
Gráfico 03: DBO en otros laboratorios .....	39
Gráfico 04: DQO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca).....	40
Gráfico 05: Promedio de los resultados de la DQO .....	40
Gráfico 06: DQO en otros laboratorios .....	41
Gráfico 07: SST (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca) .....	42
Gráfico 08: Promedio de la concentración de los SST.....	43
Gráfico 09: Resultados del pH.....	44
Gráfico 10: Promedio de los resultados del pH.....	45
Gráfico 11: pH en otras fechas .....	46
Gráfico 12: Resultados de la T°.....	46
Gráfico 13: Promedio de los resultados de la T° .....	47
Gráfico 14: Resultados de T° en otras fechas.....	48

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó con el propósito de conocer, evaluar y contrastar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín (PTAR) en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales, así como determinar la concentración del pH y temperatura en el tratamiento de las aguas residuales cuando entre en funcionamiento la PTAR; de tal manera que se cumpla con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua, para el cual se utilizó el método analítico, que determinaron las variables que se consideran de importancia para el análisis del agua residual del sistema de tratamiento, dando a conocer las condiciones fisicoquímicas del agua que se trataría en la planta.

El procedimiento del presente trabajo se realizó en el Laboratorio de Aguas del Gobierno Regional de Cajamarca, obteniendo los resultados de la concentración de DBO, DQO, SST, pH y T°. Adicionalmente se comprobaron con resultados obtenidos en los siguientes laboratorios: Laboratorio Acreditado Servicios Analíticos Generales (SAG); Laboratorio Nkap; y el Laboratorio de Química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Nacional de Cajamarca.

En cada punto de muestreo (P1 y P2) se midieron los parámetros ya descritos, tomando en total 2 muestras para cada parámetro. (P1 – Influyente y P2 – Efluente)

Obteniendo los siguientes resultados en promedio para cada parámetro analizado: para la DBO se obtuvo una concentración de 572.00 mg/L en el P1, y 48.58 mg/L en el P2; para la DQO, 1207.25 mg/L en el P1, y 107.50 mg/L en el P2; para los SST 253.81 mg/L en el P1, y 42.64 mg/L en el P2; para el pH un valor de 8.08 en el P1, y 6.80 en el P2; y para la Temperatura un valor de 16.25 °C en el P1 y 17 °C en el P2.

Verificando los resultados del P2 (efluente) de la PTAR, se pudo comprobar que se encuentran dentro de los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua (D.S.N° 003-2010-MINAM), lo que indicaría una alta eficiencia a futuro por parte del funcionamiento de la planta, obteniendo un 91.5 % de eficiencia en remoción de DBO, un 91 % de eficiencia en remoción de DQO y un 83.2 % de eficiencia en remoción de SST.



## ABSTRACT

The present work was realized by the intention of knowing, of evaluating and confirming the efficiency of the Plant of Treatment of Waste water of Celendín's city (PTAR) in the removal of the biochemical demand of oxygen, the chemical demand of oxygen and the suspended total solid ones, as well as to determine the concentration of the pH and temperature in the treatment of the waste water when between in functioning the PTAR; in such a way that it is fulfilled by the Maximum Permissible Limits (LMP) of effluent of PTAR for spillages to water bodies, for which was in use the analytical method, which there determined the variables that are considered of importance for the analysis of the residual water of the system of treatment, announcing the physicochemical conditions of the water that would treat itself in the plant.

The procedure of the present work was realized in the Water laboratory of the Regional Government of Cajamarca, obtaining the results of the concentration of DBO, DQO, SST, pH and T °. Additional they were verified by results obtained in the following laboratories: Accredited Laboratory Analytical General Services (SAG); Laboratory Nkap; and the Academic Laboratory of Chemistry of the Professional School of Environmental Engineering of Cajamarca's National University.

In every point of sampling (P1 and P2) the already described parameters measured up, taking in total 2 samples for every parameter. (P1 - Unfluent and P2 - Effluent)

Obtaining the following results in average for every analyzed parameter: for the DBO a concentration of 572.00 was obtained mg/L in the P1, and 48.58 mg/L in the P2; for the DQO, 1207.25 mg/L in the P1, and 107.50 mg/L in the P2; for the SST 253.81 mg/L in the P1, and 42.64 mg/L in the P2; for the pH a value of 8.08 in the P1, and 6.80 in the P2; and for the Temperature a value of 16.25 °C in P1 and 17 °C in the P2.

Checking the results of the (effluent) P2 of the PTAR, it was possible to verify that they find inside the Maximum Permissible Limits (LMP) of effluent of PTAR for spillages to water bodies (D.S.N ° 003-2010-MINAM), which would indicate a high efficiency to future on the part of the functioning of the plant, obtaining 91.5 % of efficiency in removal of DBO, 91 % of efficiency in removal of DQO and 83.2 % of efficiency in SST's removal.

## 1. INTRODUCCION

Toda la población mundial genera residuos, tanto líquidos como sólidos. La fracción líquida (agua residual), está constituida, esencialmente, por el agua de abastecimiento, después de haber sido contaminada por los diversos usos a que ha sido sometida. Desde el punto de vista de su origen, las aguas residuales pueden definirse como una combinación de los desechos líquidos procedentes de viviendas, instituciones y establecimientos comerciales e industriales, junto con las aguas subterráneas, superficiales y de lluvia que puedan agregarse a las anteriores. (*SUNASS. 2008*)

El estudio del Tratamiento de las aguas residuales es la rama de la ingeniería ambiental que aplica los principios básicos de la ciencia y de la ingeniería al control de la contaminación del agua. El fin último del control de las aguas residuales es la protección del medio ambiente con arreglo a las posibilidades económicas e intereses sociales y políticos. Los ingenieros se ocupan de la concepción, planificación, proyecto, evaluación, construcción, operación y mantenimiento de los sistemas de tratamiento de las aguas residuales. (*Metcalf y Eddy. 2003*).

Cabe anotar que los análisis de aguas residuales para plantas de tratamiento, servidas con caudales significativamente mayores se basan en fundamentos teóricos y procesos descritos en la diversa bibliografía. Los objetivos de sistemas pequeños y sistemas descentralizados del manejo de aguas residuales son, proteger la salud pública, proteger de la degradación o de la contaminación al ambiente receptor, y reducir los costos de tratamiento mediante la retención de aguas y sólidos cerca de su punto reutilizándolos.

El presente estudio tuvo por finalidad demostrar la concentración de parámetros fisicoquímicos, como son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Sólidos Suspendidos Totales (SST), pH y Temperatura (T°) presentes en las Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, tratadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de mencionada ciudad; y así, de esta manera determinar el grado de contaminación que producen estas aguas residuales si no fuesen tratadas y por ende incrustadas en el medio biótico de la ciudad de Celendín. Esta contaminación no solo afectaría al ecosistema, sino

también a la salud pública de los pobladores de dicha ciudad, ya que a pocos metros de la planta de tratamiento de estas aguas, se encuentran ubicadas parcelas de sembríos que abastecen al mercado central de Celendín; así también estas aguas discurren por el Río Grande hacia la parte baja de la ciudad, denominada Lllanguat, en su recorrido existe población que se abastece de estas aguas para la agricultura.

Asimismo, el presente trabajo también tendría por finalidad demostrar la eficiencia del funcionamiento de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín, disminuyendo el grado de contaminación generado por dichas aguas residuales provenientes de diversas actividades de la población. El estudio se realizó en dos puntos de la planta, uno en el influente y otro en el efluente, para comprobar su eficiencia.

Cabe mencionar que la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, tiene poco tiempo de haber sido construida, en la actualidad se encuentra en mantenimiento; los análisis del presente trabajo se realizaron en pruebas a la planta cuando se dejaba pasar el agua residual para evaluar su funcionamiento. La entidad encargada de la PTAR de la ciudad de Celendín es el Gobierno Regional de Cajamarca, mediante Pro Región; y cuando se cumplan los trabajos de mantenimiento y la planta esté operativa se hará entrega a la Municipalidad Provincial de Celendín.

### **1.1 Problema de la Investigación**

En La ciudad de Celendín, se culminó la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), y antes de su funcionamiento se realizan trabajos de mantenimiento para su operatividad, debido a que las aguas residuales no tenían ningún tipo de tratamiento, fisicoquímico ni bacteriológico, lo cual conlleva a realizar un estudio para determinar si los parámetros como la DBO, DQO, SST, pH y T° de los efluentes de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín, cumplen con la normativa ambiental. Las aguas residuales generalmente son vertidas a cursos o masas de aguas continentales. Dichas aguas contienen en su composición sólidos disueltos en suspensión en concentraciones elevadas y que normalmente no pasan los límites admisibles.

Por tal motivo se planteó determinar la concentración del influente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín. Para lo cual se determinó los parámetros como: SST, pH, DQO, DBO y T°, y así contribuyendo de esta manera a identificar presencia de contaminación.

## **1.2 Formulación del Problema**

¿Cuál es la eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los sólidos suspendidos totales, en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín?

## **1.3 Objetivos de la Investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

- Determinar la eficiencia en la remoción de la DBO, DQO y SST en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Evaluar la concentración de la DBO, DQO, SST, pH y T° en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.
- Comparar los resultados de cada parámetro con los Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010-MINAM.

## **1.4 Hipótesis de la Investigación**

La 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, es alta.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Antecedentes**

El marco institucional del sector de agua potable y saneamiento ha sufrido muchos cambios sucesivos durante las últimas décadas, con ciclos de centralización y de descentralización, sin lograr una mejora en la calidad de los servicios. Dentro de los nuevos modelos de gestión, en el 2004, se inicia la ejecución del PRONASAR (Proyecto Nacional de Agua y Saneamiento Rural), ejecutado por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento con el apoyo del Banco Mundial. Este proyecto comprende, en el ámbito rural, la mejora o ampliación de sistemas existentes y la construcción de sistemas nuevos, la capacitación y formación de Juntas de Agua y Saneamiento (JASS) para la administración de los sistemas, el fortalecimiento de capacidades municipales así como educación en salud e higiene a los usuarios. En cuanto a las pequeñas ciudades, comprende la implementación de nuevos modelos de gestión de la prestación de los servicios de agua y saneamiento a través de operadores especializados, el fortalecimiento de capacidades municipales, la educación en salud e higiene a los usuarios y el mejoramiento, rehabilitación o ampliación de los sistemas existentes. (Espinoza, 2010)

Las municipalidades provinciales son responsables de la prestación de los servicios de saneamiento, en el ámbito de su jurisdicción, a excepción de los servicios en Lima metropolitana que está a cargo de la empresa Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima (SEDAPAL).

En el ámbito rural, la explotación de los servicios es realizada por acción comunal, mediante la organización de Juntas Administradoras de Servicios de Saneamiento (JASS). El funcionamiento de las JASS está regulado por la SUNASS. (Espinoza, 2010)

En la ciudad de Celendín, hace unos años atrás, se vertía las aguas residuales al Río Grande de esta ciudad, aguas que se trasladan por todo el margen del río hasta llegar a la zona de Llanguat, en donde se fusiona con el Río La Llanga. En el trayecto del río existen cultivos que son regados con estas aguas, y animales que beben de la misma; la población aledaña está en contacto directo con estas aguas, que son vertidas al río sin tratamiento previo; en la actualidad, esta realidad no ha cambiado del todo. La instalación de la Planta de Tratamiento de Aguas

Residuales, pretende darle transformación a estas aguas mediante un tratamiento que disminuiría la concentración de los parámetros que definen la calidad del agua residual. (SEMACEL, 2015)

Con el incremento de la cobertura de tratamiento no solo mejoraría la calidad de los cuerpos de agua receptores, además se podrá aprovechar en condiciones sanitarias el agua residual tratada, liberando volúmenes de aguas superficiales a favor del uso urbano y reduciendo la práctica actual de riego con aguas residuales sin tratamiento previo. (SEMACEL, 2015)

## **2.2 Aguas Residuales.**

Aguas residuales son aquellas cuyas propiedades se encuentran alteradas por el uso doméstico, industrial, agrícola u otros, así como las aguas que se evacúan junto a éstas en tiempo seco (aguas sucias) y las aguas pluviales que fluyen y se recogen de áreas edificadas y superficies urbanizadas (aguas pluviales). Como aguas sucias se consideran también aquellos líquidos que fluyen y son recogidos de plantas para el tratamiento, almacenamiento y deposición de residuos. El manejo de aguas residuales urbanas, como parte del manejo de aguas residuales en general, comprende la suma de todas las medidas específicas y ecológicas para el aprovisionamiento de las comunas, del artesanado y la industria con agua potable y/o útil en perfectas condiciones, así como la disposición de aguas residuales domésticas e industriales de estas áreas. La disposición de aguas residuales, como parte del manejo de aguas residuales urbanas, comprende esencialmente la recolección, evacuación, tratamiento y eliminación de aguas residuales. (Metcalf y Eddy. 2003)

**A) Aguas residuales domésticas:** son aquellas provenientes de las actividades domésticas cotidianas como lavado de ropa, baño, preparación de alimentos y limpieza, por lo cual son principalmente una combinación de heces humanas, heces de animales, orina y agua gris (Mara, 2000).

Según Romero (2008), lo define como los líquidos provenientes de las viviendas o residencias, edificios comerciales e institucionales. También es usual la denominación de aguas negras, las cuales provienen de los inodoros, por lo tanto, transportan excrementos humanos y orinas ricas en sólidos suspendidos, nitrógeno

y coliformes fecales. Así mismo las aguas grises son aquellas que provienen de las tinajas, duchas, lavados de mano y lavadoras, aportando DBO, sólidos suspendidos, fósforo, grasas y coliformes fecales; siendo así, aguas residuales domésticas, sin incluir las de los inodoros. Estas, presentan un alto contenido de materia orgánica, compuestos químicos domésticos, como detergentes y compuestos clorados y microorganismos patógenos y no patógenos. Las aguas residuales domésticas se clasifican de acuerdo a su composición, la cual varía según los hábitos de la población que las genera a diario según sus actividades. (Tablas 01 y 02)

Tabla 01: Parámetros para medir la concentración de las aguas residuales

Parámetro	Concentración (mg/L)		
	Baja	Moderada	Alta
Sólidos Totales (ST)	350	720	1200
Sólidos Disueltos Totales (SD)	250	500	850
Sólidos Disueltos Fijos	145	300	525
Sólidos Disueltos Volátiles	105	200	325
Sólidos Suspendidos Totales (SS)	100	220	350
Sólidos Suspendidos Fijos	20	55	75
Sólidos Suspendidos Volátiles	80	165	275
Sólidos Sedimentables	5	10	20
Demanda Biológica de Oxígeno (DBO)	110	160	400
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	250	320	1000
Carbono Orgánico Total (COT)	50	500	290
Nitrógeno (Total como nitrógeno)	20	40	85
N – Orgánico	8	15	35
N – Amonio Libre	12	25	50
N – Nitratos	0	0	0
N – Nitritos	0	0	0
Fósforo (Total como fósforo)	4	8	15
P – Orgánico	1	3	5
P – Inorgánico	3	5	15
Cloruros*	30	50	100
Sulfato*	20	30	50
Alcalinidad (como CaCO <sub>3</sub> )	50	100	200
Grasa	50	100	150
Coliformes Total	10 <sup>6</sup> - 10 <sup>7</sup> UFC/100ml	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>8</sup> UFC/100ml	10 <sup>7</sup> - 10 <sup>9</sup> UFC/100ml

<b>Compuestos Orgánicos Volátiles (COV)</b>	<100µg/l	100 – 400 µg/l	>400 µg/l
---	----------	----------------	-----------

(Fuente: Metcalf y Eddy, 2003)

Los valores se deben aumentar en la cantidad en que estos compuestos se hallen presentes en las aguas de suministro.

*Nota:* Valores en mg/L a menos que se especifique lo contrario.

*UFC.* Unidades formadoras de colonia por milímetro de muestra.

Tabla 02: Valores máximos y mínimos permitidos en parámetros convencionales de las aguas residuales domésticas

Parámetro	Concentración (mg/l)	
	Mínima	Máxima
<b>Sólidos Totales (ST)</b>	1132	130475
<b>Sólidos Volátiles Totales</b>	353	71402
<b>Sólidos Suspendedos Totales</b>	310	93378
<b>Sólidos Suspendedos Volátiles</b>	95	21500
<b>Demanda Biológica de Oxígeno</b>	440	78600
<b>Demanda Química de Oxígeno</b>	1500	703000
<b>Nitrógeno Total</b>	66	1060
<b>Nitrógeno Amoniacal</b>	3	116
<b>Fósforo Total</b>	20	760
<b>Alcalinidad</b>	522	4190
<b>Grasas</b>	208	23368
<b>Ph</b>	1.5	12.6
<b>Coliformes totales</b>	10 <sup>7</sup> /100ml	10 <sup>9</sup> /100ml
<b>Coliformes fecales</b>	10 <sup>8</sup> /100ml	10 <sup>9</sup> /100ml

(Fuente: Melcalf y Eddy, 2003.)

*Nota:* Valores mg/L a menos que se especifique lo contrario.

En lo que se refiere a la composición de compuestos químicos, las aguas residuales domésticas pueden contener varios tipos de proteínas (albúminas, globulinas y enzimas industriales como los detergentes) producto de la actividad microbiana en las propias aguas residuales domésticas; carbohidratos como glucosa, sacarosa, almidón y celulosa; y grasas animales y aceites, provenientes de los alimentos, junto con los respectivos productos de la degradación de los compuestos mencionados, así como sales inorgánicas y otros compuestos inertes (Metcalf y Eddy, 2003).



**B) Aguas Residuales Industriales:** Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. (Norma. O.S.090).

**C) Aguas Residuales Municipales:** Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado. (Norma. O.S.090).

### 2.3 Tratamiento de Aguas Residuales

El objetivo de cualquier tratamiento es eliminar los componentes definidos como contaminantes, molestos o con efectos nocivos para el medio ambiente, ajustar la calidad del agua vertida a las especificaciones legales, proteger la salud y promover el bienestar de una sociedad en general.

Un sistema de tratamiento de aguas residuales es seleccionado de acuerdo a los objetivos que se fijan al buscar la remoción de los contaminantes. Existen diferentes sistemas de tratamiento que implican procesos biológicos, procesos fisicoquímicos y en ocasiones se presentan ambos. Los sistemas de tratamiento son nombrados de acuerdo al principio de operación, ejemplo, lodos, lodos activados, zanjas de oxidación, lagunas anaerobias, película fija, entre otros.

Cuando se tiene involucrado un sistema de tratamiento de aguas de tipo anaerobio o aerobio se pueden distinguir hasta cuatro etapas, que comprenden los mencionados procesos químicos, físicos y biológicos. (Ramalho, R. 2003)

Tabla 03: Límites Máximos Permisibles para los Efluentes de PTAR.

Parámetro	Unidad	LMP de Efluentes para Vertidos a Cuerpos de Agua
Aceites y grasas	mg/L	20
Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	10 000
DBO	mg/L	100
DQO	mg/L	200
pH	Unidad	6.5 – 8.5
T°	°C	< 35
SST	ml/L	150

(Fuente: Decreto Supremo N° 003-2010-MINAM.)

Existe una normativa nacional que respalda y da seguimiento al tratamiento de aguas residuales:

- Ley N° 28611, Ley General del Ambiente.
- Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos.
- Ley N° 26338, Ley General de los Servicios de Saneamiento.
- Ley N° 26842, Ley General de Salud.

## **2.4 Características de las PTAR**

El sistema de la instalación de una planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) está conformada por varios procesos. La PTAR de la ciudad de Celendín cuenta con un desarenador, un medidor de caudal, distribuidores de aguas crudas, dos RAFA, una laguna facultativa, entre otros, procesos que son descritos en el ítem 2.5, pero que a continuación se definen dos de ellos, por su vital importancia.

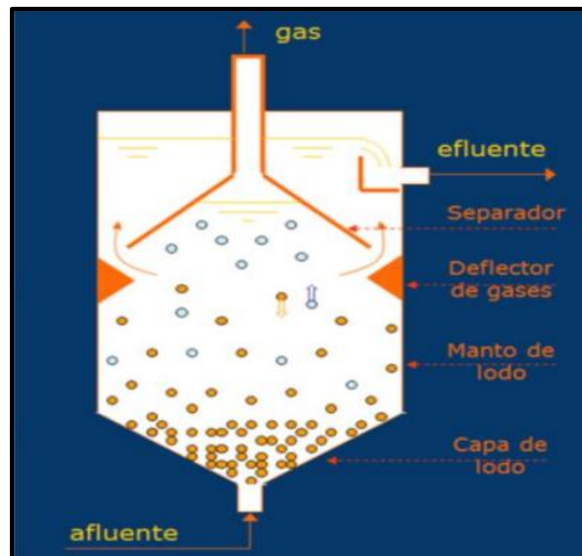
### **A) Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA)**

Los reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFA), constituyen una tecnología de tratamiento en la que el agua pasa a través de un manto de lodos a baja velocidad ascensional. Se caracterizan por realizar en una sola unidad las operaciones de decantación primaria, reactor biológico y digestión anaerobia del lodo. Son reactores constituidos básicamente de un lecho con material de empaque adecuado, el cual queda completamente sumergido en el líquido a tratar que se introduce por la parte inferior del tanque y sale, ya tratado por la parte superior.

El agua residual se introduce en el reactor de forma continua en el fondo del mismo a través de tuberías de PVC distribuidas uniformemente, y permanecen en su interior durante periodos de tiempo determinados, con una velocidad ascensional mínima. El agua residual que se extrae en la parte superior del reactor tiene un bajo contenido en materia orgánica y patógenos. Las principales ventajas de este sistema son que no requiere de energía, y el costo de mantenimiento es bajo. (Comisión Estatal del Agua - México, 2011)

La eficiencia de los reactores RAFA se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. (Caicedo, 2006). Según Romero (2008), en una prueba realizada en Cali (Colombia), se obtuvo un intervalo de 75 y 93% de remoción de DBO, con base en DBO total del influente y DBO filtrada del efluente.

Figura 01: Reactor Anaerobio de Flujo Ascendente (RAFA).



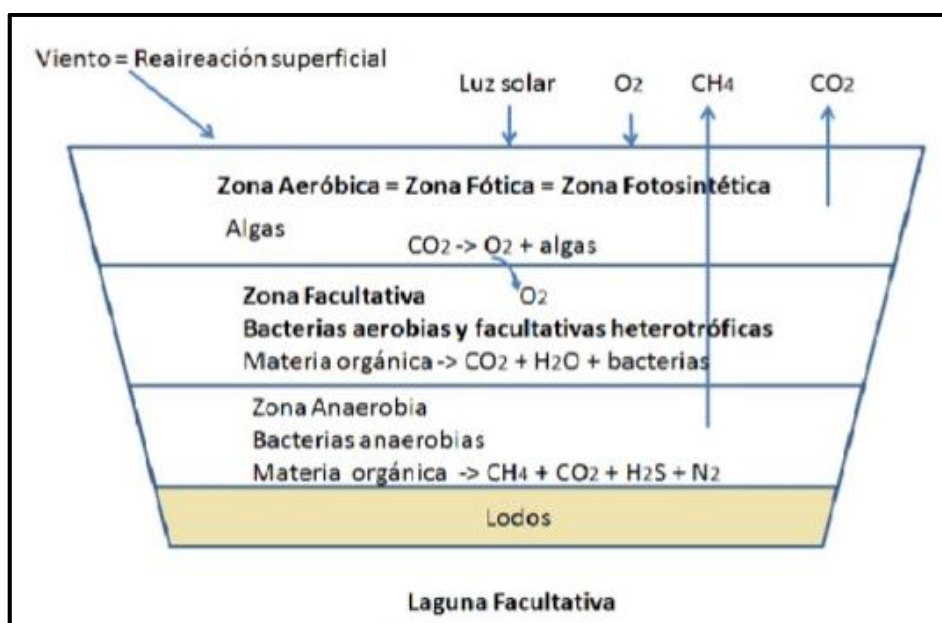
## B) Lagunas Facultativas

Son aquellas que poseen una zona aerobia y una zona anaerobia, situadas respectivamente en superficie y fondo. Por tanto, en estas lagunas podemos encontrar cualquier tipo de microorganismo, desde anaerobios estrictos en el fango del fondo hasta aerobios estrictos en la zona inmediatamente adyacente a la superficie. Sin embargo, los seres vivos más adaptados al medio serán los microorganismos facultativos, que pueden sobrevivir en las condiciones cambiantes de oxígeno disuelto típicas de estas lagunas a lo largo del día y del año. Además de las bacterias y protozoos, en las lagunas facultativas es esencial la presencia de algas, que son las principales suministradoras de oxígeno disuelto. Las lagunas facultativas son las más usadas y versátiles entre las diferentes clases de lagunas. En general, su profundidad oscila entre 1.5 y 2 m y se conocen también como lagunas de estabilización; pueden funcionar como lagunas con descarga controlada, lagunas de retención total, o como unidades de almacenamiento para un tratamiento posterior sobre el suelo.

El objetivo perseguido en las lagunas facultativas es obtener un efluente de la mayor calidad posible, en el que se haya alcanzado una elevada estabilización de la materia orgánica, y una reducción en el contenido en nutrientes y bacterias coliformes. La degradación de la materia orgánica es el grado de eficiencia de las lagunas facultativas, por la actividad metabólica de bacterias heterótrofas facultativas, que pueden desarrollarse tanto en presencia como en ausencia de

oxígeno disuelto, si bien su velocidad de crecimiento, y por tanto la velocidad de depuración, es mayor en condiciones aerobias. Su eficiencia está en un rango de 70 y 95%. (Metcalf-Eddy, 1979). Según la bibliografía de Romero (2008), establece una eficiencia de 90 a 95% en remoción de DBO, 75 a 85% en remoción de DQO, y 85 a 95% en remoción de SST.

Figura 02: Esquema de una Laguna Facultativa.



## 2.4.1 Descripción de la PTAR de la ciudad de Celendín

### 2.4.1.1 Desarrollo de las bases del Proyecto

Las bases de diseño del sistema de tratamiento de aguas residuales para la ciudad de Celendín fueron definidas hasta el año 2027.

#### A) Caudal de diseño del sistema de tratamiento

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 ambiental, de las condiciones climáticas y del tipo de alcantarillado.

Tabla 04: Caudales a ser drenados a la PTAR

Año		Población	Población	Caudal Promedio		Caudal Máximo	
		Total	Servida	m <sup>3</sup> /d	L/s	m <sup>3</sup> /d	L/s
		Hab.	Hab.				
0	2007	16 721	12 564	1 188	13.8	2 711	31.4
1	2008	17 024	15 322	1 303	15.1	2 998	34.7
5	2012	18 264	16 515	1 403	16.2	3 181	36.8
10	2017	19 876	18 077	1 535	17.8	3 424	39.6

<b>15</b>	2022	21 549	19 712	1 674	19.4	3 678	42.6
<b>20</b>	2027	23 279	21 417	1 820	21.1	3 943	45.6

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

## B) Cargas orgánicas

El estudio de caracterización ha servido de base para proyectar la carga orgánica (DBO) que trataría la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y en el proyecto se ha definido que la DBO per cápita al año horizonte del proyecto será de 50.0 gramos por persona y por día.

Tabla 05: Carga Orgánica

Año	Población Servida	Caudal Promedio		Carga Orgánica (DBO)			
		Hab.	m <sup>3</sup> /d	L/s	g/hab-d	kg/d	mg/L
0	2007	12 564	1 188	13.8	45.0	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	50.0	1 071	588

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

## C) Resumen de las bases de diseño

Considerando las condiciones climáticas, el área de terreno existente, los factores técnicos y operacionales, el estudio definitivo a determinado que la alternativa más viable es la de tratamiento mediante lagunas facultativas y RAFA's. 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.

Tabla 06: Resumen de bases de diseño

	2008	2017	2027
<b>Poblac. Total (hab)</b>	17 024	19 876	23 279
<b>Poblac. Servida (hab)</b>	15 322	18 077	21 417
<b>Caudal Promedio</b>			
• m <sup>3</sup> /día	1 303	1 535	1 820
• L/s	15.1	17.8	21.1
<b>Caudal Máximo</b>			

• m <sup>3</sup> /día	2 998	3 424	3 943
• L/s	34.7	39.6	45.6
<b>Caudales de Diseño (L/s)</b>			
• Estructuras Hidráulicas	45.6	45.6	45.6
• Procesos de tratamiento	15.1	17.8	21.1
<b>Cargas Orgánicas (kg/día)</b>	693	858	1 071

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

#### 2.4.1.2 Criterios de calidad de aguas residuales aplicados

El curso receptor de las aguas residuales tratadas en Celendín es el Río Grande, el cual a su vez es principal tributario del Río Las Yangas que descarga en el Río Marañón. Según la Resolución Directoral N° 1152/2005/DIGESA/SA, la Dirección General de Saneamiento Ambiental del Ministerio de Salud ha calificado a determinados ríos del país y entre ellos se tiene al Río Grande, Yangas y Marañón, para los cuales ha establecido la clase III.

De acuerdo con las autoridades del lugar, el Río Grande en época de estiaje conduce un caudal mínimo de 20 L/s aproximadamente. Considerando las posibles condiciones que se presentarían al horizonte del proyecto, así como las condiciones establecidas para el curso receptor, se tiene que la planta de tratamiento de aguas residuales debiera estar en condiciones de remover el 76.0% de la carga orgánica y el 99.997% de la carga microbiana además de los parásitos presente en las aguas residuales crudas. Sin embargo, es posible que en determinadas épocas del año, la planta no esté en capacidad de alcanzar este valor y pueda elevar la concentración de coliformes y carga orgánica por encima del valor reglamentado, pero a pocos kilómetros de distancia, el Río Grande confluye con el Río Yangas, el cual es uno de los principales tributarios del Río Marañón en la zona alta, por lo que el impacto es mínimo a estas alturas. (SEMACEL, 2007)

#### 2.4.1.3 Procesos de tratamiento en el sistema de Celendín

El sistema de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Celendín está compuesto de los siguientes procesos: (SEMACEL, 2007)

- Reja fina
- Desarenador
- Medidor de caudal
- Distribuidores de aguas crudas

- Reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA)
- Distribuidores de aguas pre-tratadas
- Estructura de ingreso a laguna de maduración
- Estructura de salida de laguna de maduración
- Canal de recolección y disposición final
- Lechos de secado de lodos

#### 2.4.1.4 Características de los procesos de tratamiento

En los siguientes cuadros se detallan las características físicas de la PTAR de la ciudad de Celendín.

Tabla 07: Datos Básicos de diseño

<b>Caudal promedio</b>	21.1 L/s
<b>Caudal máximo promedio</b>	45.6 L/s
<b>DBO influente</b>	588 mg/L
<b>T° del agua (mín. mensual)</b>	15.0 °C (prom. Mensual)
<b>Coliformes crudo</b>	2.4E+08 Gérmenes/100 ml
<b>Tasa de mortalidad de coliformes</b>	1.0 día <sup>-1</sup>

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

Tabla 08: Características físicas de la PTAR Celendín

<b>Raja fina</b>	
<b>Tubería alimentación</b>	300 mm
<b>Canal de ingreso</b>	0.30 m
<b>Ancho de canal desarenador</b>	0.35 m
<b>Número de canales</b>	2
<b>Nivel de rebose</b>	0.30 m
<b>Borde libre</b>	0.35
<b>Profundidad total</b>	0.65 m
<b>Inclinación de raja</b>	45°
<b>Canal de salida</b>	0.30 m
<b>Tirante de agua normal después de raja</b>	0.165 m
<b>Desarenador</b>	
<b>Canal de ingreso</b>	0.30 m
<b>Número de canales</b>	2
<b>Ancho de canal desarenador</b>	1.00 m
<b>Profundidad promedio</b>	0.30 m
<b>Borde libre</b>	0.70

<b>Profundidad total</b>	1.00 m
<b>Canal de salida</b>	0.47 m
<b>Tirante de agua normal después de reja</b>	0.17 m
<b>Medidor de Caudal</b>	
<b>Tipo</b>	Parshall
<b>Canal de ingreso</b>	0.47 m
<b>Garganta</b>	0.15 m
<b>Profundidad promedio</b>	1.00 m
<b>Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA)</b>	
<b>Número</b>	2
<b>Largo espejo de agua</b>	17.0 m
<b>Ancho espejo de agua</b>	8.0 m
<b>Profundidad</b>	5.20 m
<b>Borde libre</b>	0.65 m
<b>Período de retención (Q prom.)</b>	18.70 h
<b>Período de retención (Q máx.)</b>	8.54 h
<b>Sedimentadores por unidad</b>	2
<b>Ancho de sedimentadores</b>	1.20 m
<b>Profundidad</b>	1.10 m
<b>Talud de paredes</b>	1:1.28
<b>Digestor</b>	
<b>Carga orgánica</b>	0.45 kg DQO/m <sup>3</sup> -d
<b>Carga hidráulica</b>	1.28 m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> -d
<b>Laguna de maduración</b>	
<b>Largo</b>	307 m
<b>Ancho</b>	75 m
<b>Profundidad efectiva</b>	1.50 m
<b>Borde libre</b>	0.50 m
<b>Número de unidades</b>	1
<b>Alimentación</b>	Escalonada
<b>Diámetro del tubo de alimentación</b>	200 mm
<b>Lechos de secado de lodos</b>	
<b>Profundidad</b>	1.00 m
<b>Largo</b>	20.0 m
<b>Ancho</b>	10.0 m
<b>Bombas</b>	Sumergibles
<b>Unidades futuras</b>	5 unidades
<b>Unidades existentes</b>	1 unidad
<b>Cámara de bombeo de lodos</b>	



<b>Profundidad útil</b>	2.50 m
<b>Profundidad total</b>	3.00 m
<b>Diámetro</b>	1.75 m
<b>Bombas</b>	Sumergibles
<b>Cantidad bombas</b>	2
<b>Caudal</b>	15 L/s

Fuente: Estudio de Factibilidad – Gobierno Regional de Cajamarca

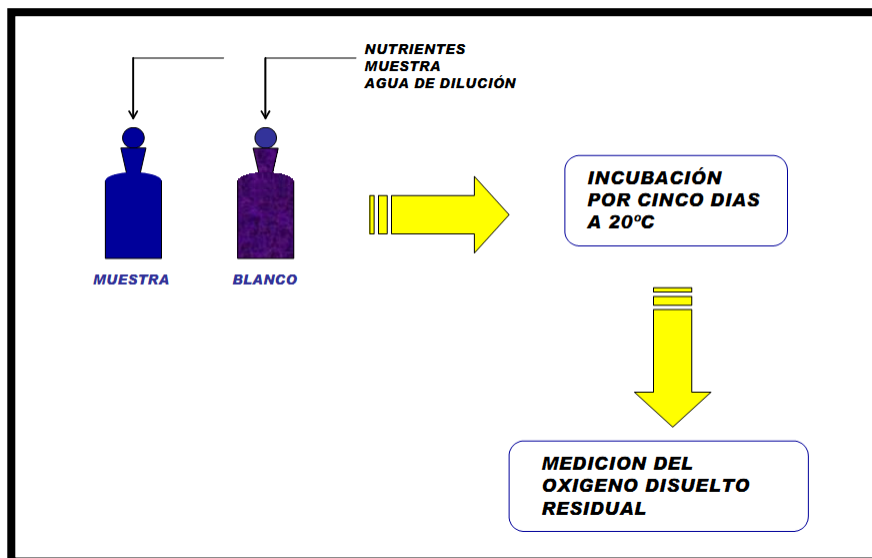
## 2.5 Parámetros analizados en el estudio

### 2.5.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es una prueba usada para la determinación de los requerimientos de oxígeno para la degradación bioquímica de la materia orgánica en las aguas municipales, industriales y en general aguas residuales; su aplicación permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos e industriales sobre la calidad de las aguas de los cuerpos receptores. Los datos de la prueba de la DBO se utilizan en ingeniería para diseñar las plantas de tratamiento de aguas residuales. En aguas residuales domésticas, el valor de la DBO representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable. La DBO como todo ensayo biológico, requiere cuidado especial en su realización, así como conocimiento de las características esenciales que deben cumplirse, con el fin de obtener valores representativos confiables. ([quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012](http://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012))

Las muestras de agua residual o una dilución conveniente de las mismas, se incuban por cinco días a 20°C en la oscuridad. La disminución de la concentración de Oxígeno Disuelto (OD), medida por el “método Winkler” o una modificación del mismo, durante el periodo de incubación, produce una medida de la DBO<sub>5</sub>. La secuencia del análisis es la siguiente: se recibe la muestra y de inmediato se procesa o se guarda en refrigeración por no más de 24 horas. Se prepara con los nutrientes necesarios el agua de dilución y continuamente, mientras se emplea esta agua, se le hace burbujear aire para saturarla en oxígeno. En un frasco de tapón esmerilado de 300 ml se coloca el volumen de muestra que se considere adecuado y se le agrega el agua de dilución necesaria para completar los 300 ml. Se tapa la botella y se coloca en la incubadora a 20°C por un periodo de 5 días de acuerdo al procedimiento. (EPA, 2010)

Figura 03: Método de determinación de materia orgánica biodegradable por medio de la prueba de DBO.



(Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1990).

### 2.5.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno, DQO, corresponde a la cantidad de oxígeno requerida para oxidar completamente por medios químicos los compuestos orgánicos a  $\text{CO}_2$  y  $\text{H}_2\text{O}$ . En la práctica, la materia orgánica en agua es oxidada por  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  bajo condiciones estrictas (en medio de ácido sulfúrico concentrado, y a una temperatura de  $160\text{ }^\circ\text{C}$ ). La cantidad de oxígeno del dicromato usado, es determinada y expresada como DQO. Se debe destacar que la DQO no incluye el oxígeno que convierte el nitrógeno reducido a nitrato. En cuanto al sulfuro reducido ( $\text{R-SH}$   $\text{S}_2$ ), sin embargo, es oxidado a sulfuro por los agentes químicos y por consiguiente se incluye en el valor de DQO.

La DQO se basa en la oxidación química de la materia orgánica e inorgánica, presente en las muestras de agua, con dicromato de potasio y ácido sulfúrico a ebullición (digestión). La cantidad de materia oxidable se mide como oxígeno equivalente y es proporcional al oxígeno consumido. Volúmenes pequeños de muestras de aguas son pipeteados dentro de frascos que contienen reactivos pre medidos, incluyendo catalizadores y compensadores de la interferencia de los cloruros. Los frascos son incubados hasta que la digestión es completa y entonces enfriados. La medición de DQO es realizado con un espectrofotómetro, instrumento usado en la física óptica que sirve para medir, en función de la

longitud de onda, la relación entre valores de una misma magnitud fotométrica relativos a dos haces de radiaciones. Se expresa en mg/L de oxígeno y proporciona una medida de la cantidad de sustancias, bajo las condiciones en las que se efectúa esta prueba. ([www.utp.ac.pa/sites/files/](http://www.utp.ac.pa/sites/files/). PCUTP-CIHH-2006)

**Relación DQO/DBO.-** La DBO y la DQO son los parámetros más importantes en la caracterización de las aguas residuales. Es posible para un agua superficial o residual correlacionar su valor de DBO y DQO, para estimar la DBO con un valor conocido de DQO. Desde luego, la muestra de agua deberá provenir siempre del mismo origen, y tener dentro de un estrecho margen de variación, las mismas cualidades entre cada muestreo y análisis efectuado. La relación DQO/DBO es un indicador de que tan biodegradable es el agua residual. El agua residual doméstica, presenta relaciones cercanas a 2:1; en la medida que la relación vaya creciendo es indicativo que la materia oxidable presente es menos apta para ser consumida por los microorganismos. ([www.bvsde.paho.org/2013](http://www.bvsde.paho.org/2013))

Las ventajas que se puede observar del método de la DQO frente a la DBO son:

- Es más rápido que la DBO (dura unas 3 horas).
- Es aplicable cuando las aguas contaminadas contienen agentes tóxicos para los microorganismos, ya que en este caso la DBO daría valores de materia orgánica mucho más bajo de lo que realmente hay, pues los microorganismos murieran y consecuentemente se consume menos oxígeno.

Dado que el compuesto químico oxidante es mucho menos selectivo que los microorganismos, toda la materia oxidable presente se oxidará (incluso aquella que no sería descompuesta por microorganismos). Por lo tanto, los valores obtenidos de DQO serán superiores (o como mínimo iguales) a los valores de DBO. Normalmente se acepta que si el valor de la relación DBO/DQO es de aproximadamente 0.5 o más el agua es biodegradable, mientras que si es menor de 0.5 se considerará difícilmente biodegradable.

Tabla 09: Cociente DBO/DQO.

<i>AGUA BIODEGRADABLE</i>	<i>AGUA DIFÍCILMENTE BIODEGRADABLE</i>
DBO/DQO mayor o igual 0.25	DBO/DQO menor 0.25

(Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1990)

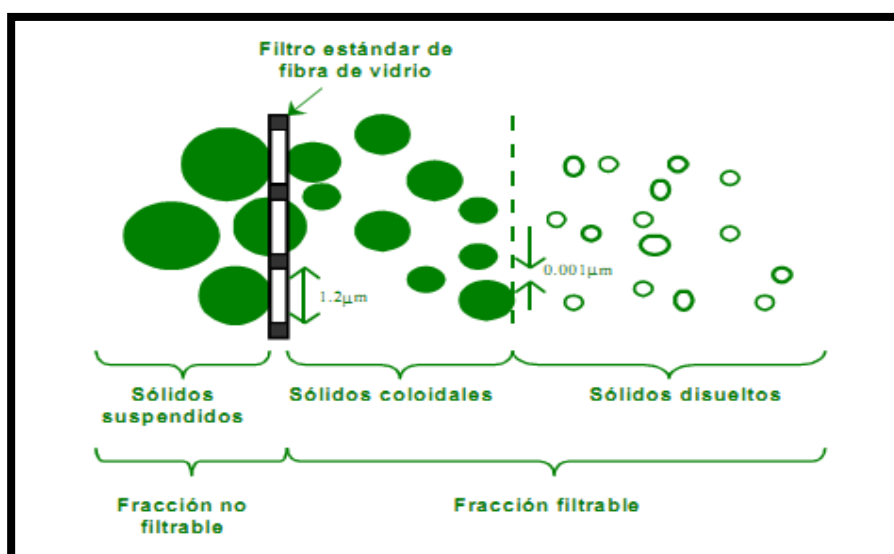
### 2.5.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Es uno de los factores más importantes cuando se trata de averiguar la naturaleza de un agua residual y sus cambios una vez ha sido sometida a un proceso de tratamiento, los análisis de sólidos suspendidos totales se realizan con aras a evaluar y controlar las unidades de tratamiento diseñadas a mejorar la calidad del efluente. (Londoño y Marín, 2009)

Los sólidos en suspensión son aquellos que se encuentran en el agua sin estar disueltos en ellas, pueden ser sedimentables o no y, para determinar su cantidad en forma directa es complicado, para ello se calcula matemáticamente conociendo la cantidad de sólidos no sedimentables y de sólidos en suspensión y realizando una diferencia de estas dos medidas. (CONAGUA, 2001)

Por definición, un sólido suspendido es aquel que puede retenerse en un filtro estándar de fibra de vidrio cuyo diámetro nominal sea  $1.2\ \mu\text{m}$ . Los sólidos que pasen a través de dicho filtro representan la fracción filtrable que está compuesta por los sólidos coloidales y los sólidos disueltos (Figura 04). El origen de los sólidos suspendidos es muy amplio y diverso, casi todos los usos del agua aportan sólidos suspendidos al agua residual, es decir, las fuentes de sólidos suspendidos pueden ser domésticas, pecuarias, agrícolas e industriales, además de ocurrir en forma natural. (CONAGUA, 2001)

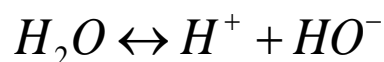
Figura 04: Dimensiones de los sólidos suspendidos, coloidales y disueltos.



(Fuente: adaptado de Metcalf & Eddy, 1990).

#### 2.5.4 pH

La concentración de ion hidrógeno es un parámetro de calidad de gran importancia tanto para el caso de aguas naturales como residuales. El agua residual con concentraciones de ion hidrógeno inadecuadas presenta dificultades de tratamiento con procesos biológicos, y el efluente puede modificar la concentración de ion hidrógeno en las aguas naturales si ésta no se modifica antes de la evacuación de las aguas. La concentración de ion hidrógeno presente en el agua está muy estrechamente relacionada con la cuantía en que se disocian las moléculas de agua. El agua se disocia en iones hidroxilo e hidrógeno del siguiente modo:



La presencia de vida sólo se da en un estrecho margen de pH (6-8). Así mismo el pH afecta a los tratamientos de depuración de aguas y tiene una gran importancia en la corrosión de los materiales que se encuentran en contacto con el agua. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro. Aparte del efecto directo, el pH tiene un efecto indirecto, influenciando la toxicidad de algunas sustancias, especialmente de aquellas en las que, la toxicidad depende del grado de disociación. (Russell, D. 2012)

#### 2.5.5 Temperatura (T°)

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales. Dado que el calor específico del agua es mucho mayor que el del aire, las temperaturas registradas de las aguas residuales son más altas que la temperatura del aire durante la mayor parte del año, y sólo son menores que ella durante los meses más calurosos del verano. En función de la situación geográfica, la temperatura media anual del agua residual varía entre 10 y 21°C, pudiéndose tomar 15,6°C como valor representativo. Esta mayor temperatura ejerce una acción perjudicial sobre las aguas receptoras, pudiendo modificar la flora y fauna de éstas, y dando lugar al crecimiento indeseable de algas, hongos, etc. También, el aumento de temperatura puede contribuir al agotamiento del oxígeno disuelto, ya que la solubilidad del

oxígeno disminuye con la temperatura. Es un parámetro muy importante dada su influencia, tanto sobre el desarrollo de la vida acuática como sobre las reacciones químicas y velocidades de reacción, así como sobre la aptitud del agua para ciertos usos útiles. (Russell, D. 2012)

## 2.6 Eficiencia de remoción en cuanto a DBO, DQO Y SST.

La eficiencia de remoción de carga contaminante en un sistema de tratamiento de aguas residuales viene dada por:

$$E = \left( \frac{S_o - S_f}{S_o} \right) \times 100$$

Donde:

- **E:** Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]
- **S<sub>f</sub>:** Concentración en el Efluente en mg/L (DQO, DBO o SST)
- **S<sub>o</sub>:** Concentración en el Influyente en mg/L (DQO, DBO o SST)

Muchos son los factores que afectan las eficiencias de remoción de carga contaminante en este tipo de tratamiento, ya que la anaerobiosis es un proceso complejo sobre cuya naturaleza constantemente se hacen nuevos descubrimientos y se reevalúan teorías. Entre estos factores podemos contar con: el medio de soporte (área superficial, porosidad, altura del lecho), el tiempo de residencia hidráulico (TRH), la configuración de los reactores, la temperatura, pH, nutrientes. (Young, 1991)

### 3 MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación se llevó a cabo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín, ubicada al margen derecho (en una posición con dirección al norte) del Río Grande, Distrito de Celendín, Provincia de Celendín, Región Cajamarca, a una altitud de 2625 msnm.

Los límites del área en estudio son los siguientes:

- Por el Norte: Distritos de Chumuch, Miguel Iglesias, Pallan
- Por el Sur: Distritos de José Gálvez, Sucre y Oxamarca
- Por el Este: Distrito de Utcó
- Por el Oeste: Distritos de Huasmín y Sorochuco

Figura 05: Ubicación de la PTAR de Celendín



Fuente: Google Earth. 2014

## **3.2 Materiales**

### **3.2.1 Materiales y equipos de Laboratorio para análisis fisicoquímico**

- Equipo multiparámetro Delta OHM HD 98569
- Espectrofotómetro MERCK SQ 118
- Bureta Graduada de 50 mL
- Pipeta de 10 mL
- Gotero
- Solución buffer de fosfato
- Solución de sulfato de magnesio
- Solución del sulfato de manganeso
- Solución de cloruro de calcio
- Solución de cloruro férrico
- Ácido Sulfúrico concentrado
- Solución Yoduro alcalina
- Agua destilada
- Almidón al 10%
- Tiosulfato de sodio 0,01 N
- Soporte universal con pinzas para buretas
- Estufa Marca MEMMERT rango Max °T = 250 °C
- Balanza marca “Sartorius” de 0,0001 g de sensibilidad
- Matraz Erlenmeyer de 50 y 100 mL
- Beaker de 100 mL
- Recipiente para preparar la solución digestora
- Motor para bombear aire
- Incubadora Solfarma
- Frascos Winkler
- Campana desecadora, marca pobel modelo 929220
- Rejillas para tubos de ensayos.

### **3.2.2 Materiales de campo**

- Pulmón indeleble.
- Cita de embalaje.



- Preservantes químicos a emplearse en el campo para la preservación de las muestras (ácido sulfúrico).
- GPS Garmin Oregon 515
- Alcohol puro de 96°
- Libreta de campo
- Lapicero
- Linterna de mano
- Cámara fotográfica
- pH-metro
- Caja de tecnopor
- Recipientes para muestras
- Guantes quirúrgicos de látex descartables
- Papel toalla
- Termómetro.
- Mascarilla descartable.
- Reloj
- Botas de jebe

### **3.3 Metodología**

La presente investigación aplicada se inició con la toma de muestra que se realizó en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín y los análisis a éstas se realizaron en las Instalaciones del Laboratorio de Aguas del Gobierno Regional de Cajamarca. Cabe mencionar que adicional se realizaron los mismos análisis en otros laboratorios como: el laboratorio de Servicios Analíticos generales SAG (Lima), el Laboratorio NKAP (Cajamarca) y el Laboratorio de Química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental de la UNC.

La toma de muestra se realizó en dos puntos P1 y P2, el punto P1, en el influente de la PTAR, y el punto P2, en el efluente de la PTAR.

Para realizar los análisis de cada uno de los parámetros (DBO, DQO, SST, pH y T°) se realizaron dos muestreos. Por cada muestreo se tomaron 1000 mL de muestra, siguiendo el procedimiento al protocolo de monitoreo.

**Transporte de la muestra:** Se realizarón según los protocolos del laboratorio, cumpliendo con la cadena de custodia, hasta llegar al laboratorio para sus análisis respectivos.

Previo a los análisis, la muestra debe ser conservada en nevera a una temperatura de refrigeración de 4°C.

**Tratamiento previo de la muestra:** Para los análisis la muestra se deja aclimatar, es decir, lograr que la muestra se adapte a las nuevas condiciones que son pasar de una temperatura de refrigeración a la temperatura ambiente, después de haber salido de la nevera, aproximadamente 30 minutos antes de ser sometida a cada uno de los análisis que se realizarán.

**Factores a tener en cuenta:** Para evitar cualquier tipo de alteración en el procedimiento o en los resultados finales, se identificaron factores influyentes que fueron controlados, tales como:

- Refrigeración de la muestra. (4°C)
- Cantidad de muestra para la evaluación de cada uno de los parámetros.
- Cantidad de reactivos para cada valoración.
- Temperatura y tiempo (dependiendo del análisis).
- Incidencia de la luz.

### **3.3.1 Trabajo de campo**

El trabajo de campo para la presente investigación ha tenido en cuenta el “Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales” (Anexo-RM-273-2013), dicho protocolo ha sido elaborado por el Ministerio de Construcción, Vivienda y Saneamiento, el cual contempla las pautas fundamentales desde el lugar o punto de toma de muestras, el proceso de toma de muestras, el uso de preservantes y tipo de frasco de acuerdo al parámetro, el etiquetado, cadena de custodia, con la finalidad de obtener resultados confiables; sin embargo también se tomó en cuenta metodología proporcionada por la bibliografía.

Para el análisis de pruebas in situ como el pH, se utilizó un multiparámetro, adicionalmente para la medición de la temperatura se utilizó un termómetro,

además se registraron las características físicas de la planta de tratamiento cada fecha de muestreo.

### **3.3.2 Trabajo de laboratorio**

El trabajo de laboratorio se llevó a cabo en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, en donde se analizaron las muestras de ambos puntos de la PTAR en los siguientes parámetros, descritos con su metodología a continuación:

- **Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) corresponde a la cantidad de oxígeno consumido para la degradación bioquímica de la materia orgánica contenida en la muestra, durante un intervalo de tiempo específico y a una temperatura determinada. La muestra o dilución adecuada de la misma es incubada por 5 días a 20°C en la oscuridad. Se mide la concentración de oxígeno disuelto antes y después de la incubación, y el consumo de oxígeno corresponde a la demanda bioquímica de oxígeno. (Aguinaga. 1996)

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

- **Demanda Química de Oxígeno (DQO)**

La demanda química de oxígeno (DQO) es la medida de oxígeno equivalente a la materia orgánica que es susceptible a ser oxidada por un oxidante químico fuerte, en condiciones específicas de temperatura y tiempo. La muestra se oxida con una cantidad conocida de dicromato de potasio en exceso, en medio ácido y con catalizadores. El dicromato de potasio remanente es determinado espectrofotométricamente a 600 nm. (Aguinaga. 1996)

*Método de Ensayo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 C, 22 nd Ed. 2012: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Titrimetric Method*

- **Sólidos Suspendidos Totales**

Este indicador se refiere a la carga de SST en cuerpos de agua y no a vertimientos. En lenguaje técnico se usa la expresión Carga para señalar el volumen de sólidos suspendidos que corre o alberga un cuerpo de agua durante un periodo determinado. Permite evaluar si un cuerpo de agua cumple con las condiciones exigidas y está disponible para satisfacer necesidades básicas, recreativas o industriales. (Aguinaga, 1996)

*Método de Ensayo: SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 22 nd Ed. 2012: Solids. Total Suspended Solids Dried at 103 – 105 Oc*

- **Temperatura.**

La temperatura se determina in situ, en el lugar de muestreo, mediante el uso de un termómetro ambiental, realizando diferentes medidas durante la duración del muestreo.

- **pH**

El pH se determina mediante la utilización de un electródo específico de pH, in situ, en el lugar de muestreo. Al igual que la medición de temperatura, la medición del pH se realizó en los dos puntos de la PTAR de Celendín.

### **3.3.3 Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete consistió en el procesamiento de datos, análisis y redacción de los mismos, teniendo siempre presente la codificación, tabulación y revisión bibliográfica. Los resultados tuvieron que ser contrastados y comparados con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes de PTAR vertidos a cuerpos de agua.

#### 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se compararon los resultados de los parámetros en estudio (DBO, DQO, SST, pH y T°) con los Límites Máximos Permisibles (LMP) para efluentes vertidos a cuerpos de agua, según D.S. N° 003-2010-MINAM; de esta manera comprobando si dichos resultados se encuentran dentro de los rangos establecidos por los LMP (especialmente en el efluente). Cabe mencionar que las pruebas se realizaron cuando la PTAR estaba a prueba, con un ingreso de 50% de las aguas residuales de la ciudad de Celendín, lo que conducía un caudal de 12.2 L/s, según fuente de Pro Región.

Cada uno de los parámetros fue analizado en el Laboratorio del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, en donde se obtuvieron dos resultados por cada parámetro, uno en el influente y el otro en el efluente de la PTAR Celendín

Así mismo, con estos dos resultados, de la DBO, DQO y SST, se pudo determinar la eficiencia de cada componente, y comprobar de manera general el porcentaje de eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, en miras de funcionamiento.

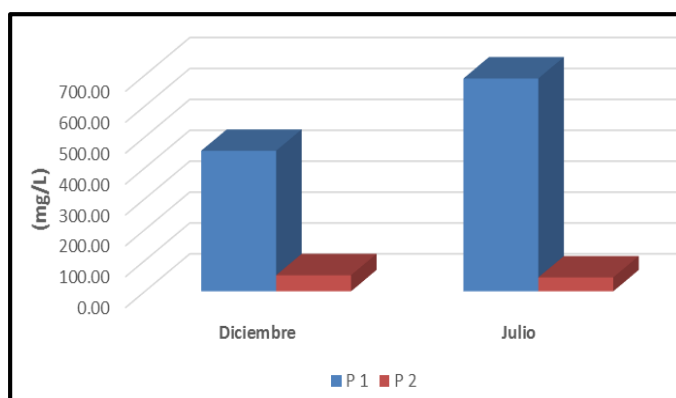
##### 4.1 Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)

Luego del análisis realizado, se obtuvo los resultados de la concentración de la DBO en el influente (P 1) y en el efluente (P 2) de la PTAR de Celendín.

Tabla 10: DBO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)

Parámetro	MES		Diciembre	Julio
	Puntos de Muestreo	P 1	455.00	689.00
DBO		P 2	52.16	45.00

Gráfico 01: DBO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)



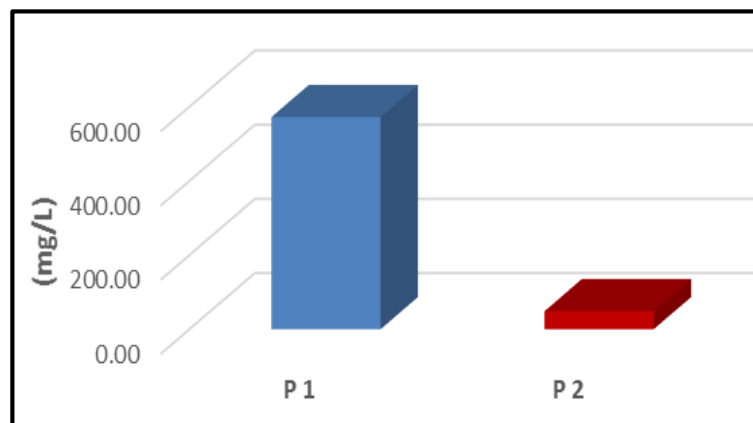
Así mismo se pudo calcular el Promedio de la DBO en ambos puntos de la PTAR de Celendín.

Tabla 11: Promedio de la concentración de la DBO

<b>DBO</b>	<b>P 1</b>	<b>P 2</b>
	572.00	48.58

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 02: Promedio de los valores de la DBO



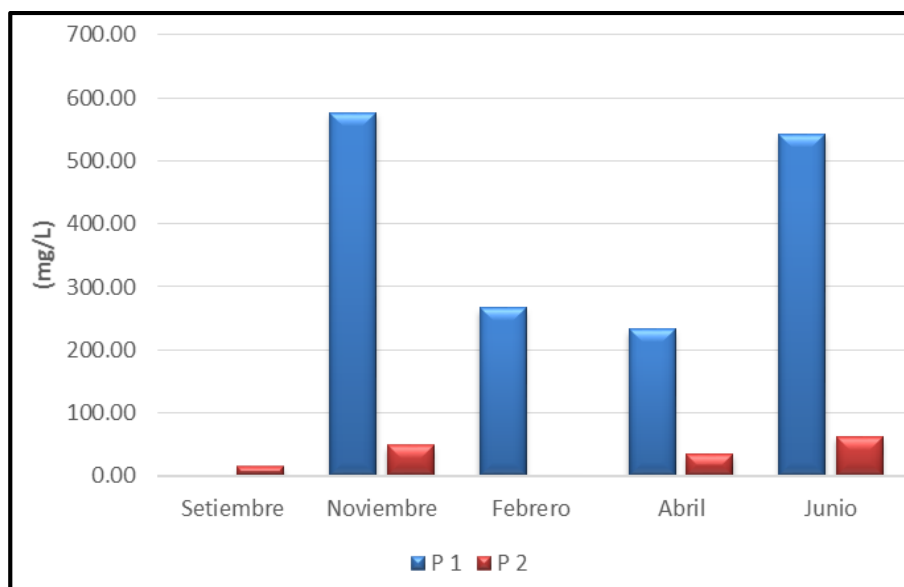
Según la tabla y gráfico descritos, se puede observar que la mayor concentración de DBO está en el influente (P 1). Según la tabla N° 01, es una concentración alta, con un resultado de 572.00 mg/L. Y en el efluente (P 2), se obtuvo como resultado promedio 48.58 mg/L de DBO, haciendo una diferencia considerable con el resultado del P 1, considerándose como un resultado que se encuentra dentro de los LMP (Tabla 03), cumpliendo la normativa vigente. La aplicación del cálculo de la DBO en la PTAR permite calcular los efectos de las descargas de los efluentes domésticos sobre la calidad de las aguas del cuerpo receptor, como es el Río Grande.

Los datos descritos señalan la eficiencia en la remoción de la DBO que posee la planta de tratamiento de aguas residuales, lo que indica un aporte ambiental significativo por parte del funcionamiento de la misma y el vertido de las aguas tratadas al Río Grande de la ciudad de Celendín. Adicional a ello se analizaron los mismos parámetros en otros laboratorios, como son NKAP S.R.L., SAG y el Laboratorio de Química de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental (EAPIAC), como un soporte y respaldo a los resultados obtenidos en el Laboratorio de aguas del Gobierno Regional de Cajamarca, como se muestran en la tabla y gráfico adjuntos.

Tabla 12: DBO en otros laboratorios

Parámetro	MES		Setiembre	Noviembre	Febrero	Abril	Junio
DBO	Puntos de Muestreo	P 1	--	576.00	266.53	232.36	543.00
		P 2	14.50	48.60	--	34.61	62.40
	Laboratorio		NKAP	EAPIAC	SAG	SAG	EAPIAC

Gráfico 03: DBO en otros laboratorios



En el ítem 2.4.1.4., se tiene los Datos básicos de diseño de la PTAR, en donde se calculó una DBO en el influente de 588 mg/L, mientras que en los resultados de los análisis se tiene una DBO de 572 mg/L, no resultando mucha diferencia, haciendo que los resultados se respalden.

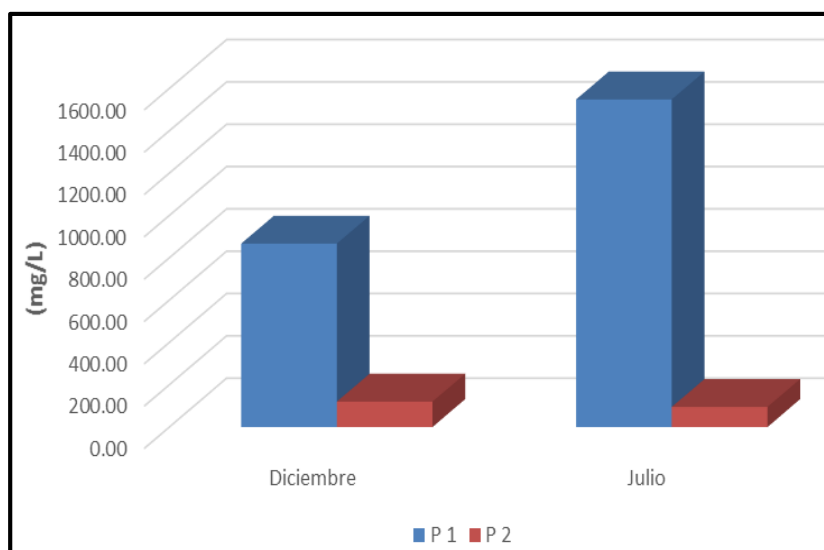
#### 4.2 Demanda Química de Oxígeno (DQO)

A continuación se detallan los resultados de la concentración de la DQO, determinados en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca, analizados en el influente (P 1) y en el efluente (P 2) de la PTAR.

Tabla 13: DQO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)

Parámetro	MES		Diciembre	Julio
DQO	Puntos de Muestreo	P 1	866.50	1548.00
		P 2	120.00	95.00

Gráfico 04: DQO (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)

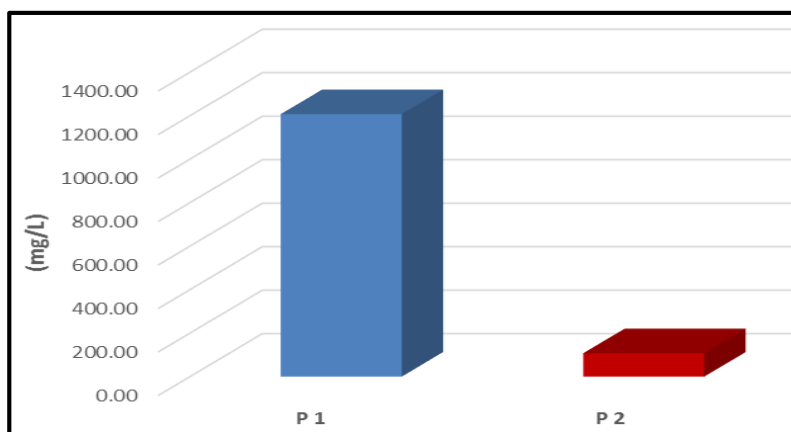


De igual manera se obtuvo un promedio de los datos obtenidos, que se muestran a continuación.

Tabla 14: Promedio de la concentración de la DQO

DQO	P 1	P 2
	1207.25	107.50

Gráfico 05: Promedio de los valores de la DQO



Según la tabla y gráfico, se puede observar que los resultados tienen bastante diferencia. En el influente (P 1), se obtuvo una concentración de 1207.25 mg/L, que según la Tabla 01, sostiene una concentración relativamente alta en ese punto. En el efluente (P 2), se obtuvo 107.50 mg/L, este resultado se encuentra dentro de los LMP (Tabla 03), cumpliendo con la normativa vigente.

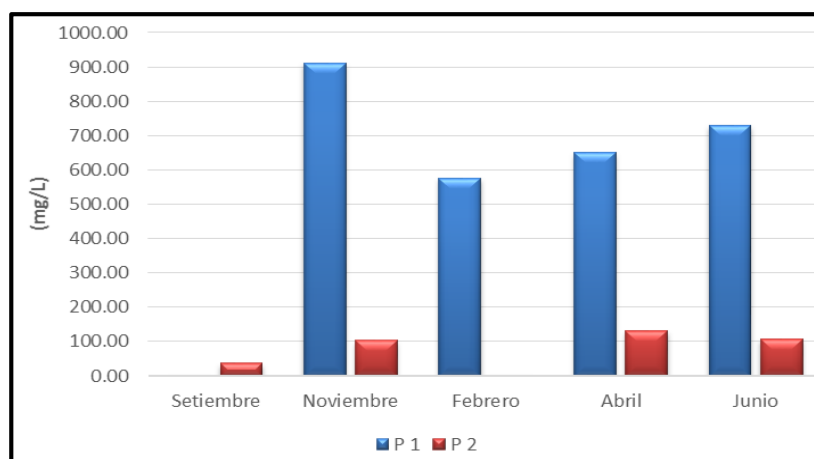


Con los datos descritos, se puede comprobar que la planta de tratamiento de aguas residuales es eficiente en la remoción de DQO, cumpliendo con los rangos de los LMP, considerando un aporte ambiental significativo en las aguas vertidas al curso de agua principal de la ciudad de Celendín. Al igual que en la DBO, para corroborar los resultados obtenidos se analizaron varias muestras, detalladas en la tabla y gráfico adjunto.

Tabla 15: DQO en otros laboratorios

Parámetro	MES		Setiembre	Noviembre	Febrero	Abril	Junio
DQO	Puntos de Muestreo	P 1	--	912.00	576.30	649.70	729.80
		P 2	37.70	104.00	--	133.00	108.00
	Laboratorio		NKAP	EAPIAC	SAG	SAG	EAPIAC

Gráfico 06: DQO en otros laboratorios



Según el ítem 2.5.2., en la relación DQO/DBO, los resultados en el influente de la PTAR, con respecto a DQO nos da 1207.25 mg/L y en la DBO resulta 572 mg/L; en el efluente de la PTAR, se tiene una DQO de 107.5 mg/L y una DBO de 48.58 mg/L. Con estos resultados se puede observar claramente la relación entre ambos parámetros, teniendo en el influente un resultado de 0.47 de relación DBO/DQO y, en el efluente una relación de 0.45, lo que demuestra que el agua de la PTAR es biodegradable. Coincidiendo con la bibliografía de Romero (2008).

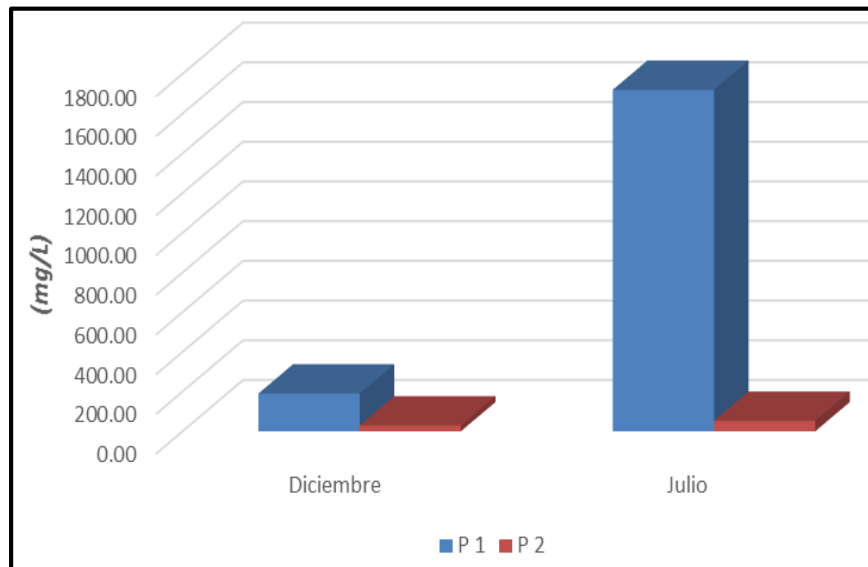
### 4.3 Sólidos Suspendidos Totales (SST)

Los resultados de la concentración de los SST, se detallan en la tabla y gráfico siguientes.

Tabla 16: SST (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)

Parámetro	MES	Diciembre		Julio
		P 1	P 2	
SST	Puntos de Muestreo	P 1	190.34	1720.00
		P 2	29.76	53.00

Gráfico 07: SST (Laboratorio Regional del Agua – Cajamarca)



De acuerdo a lo obtenido, se pudo observar que el resultado del influente (P 1) en el mes de julio es muy elevado, por lo que se procedió a descartar, ya que se podría alterar la eficiencia de la PTAR.

Al igual que en los parámetros anteriores también se obtuvo resultados de la concentración de SST en los laboratorios ya descritos anteriormente que fueron comparados con los resultados oficiales del Laboratorio Regional del Agua, tal como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 17: Comparación de la concentración de SST adicionales

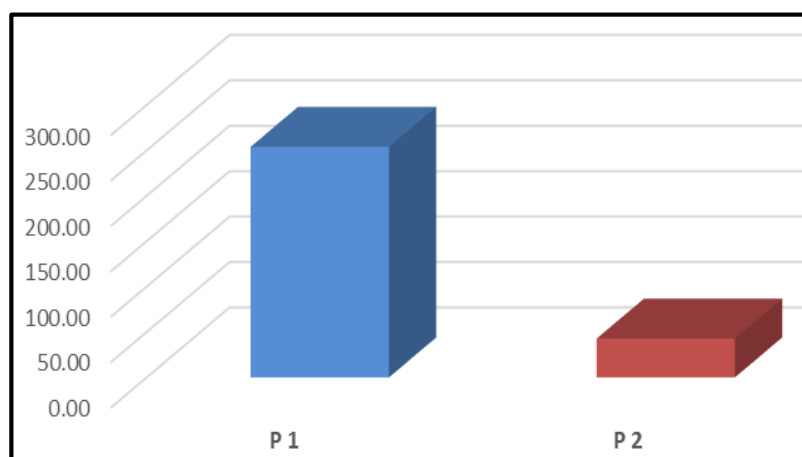
Parámetro	MES	Set.	Nov.	Dic.	Feb.	Abril	Junio	Julio (Descartado)
SST	P 1	--	189.90	190.34	175.90	459.40	253.50	1720.00
	P 2	20.80	32.70	29.76	--	71.75	58.18	53.00
	Laboratorio	NKAP	EAPIAC	LRA	SAG	SAG	EAPIAC	LRA

Habiéndose descartado el dato elevado del Laboratorio Regional del Agua, se obtuvo un promedio de la concentración de SST, de los datos adicionales, como se muestra a continuación en la siguiente tabla.

Tabla 18: Promedio de la concentración de los SST

SST	P 1	P 2
	253.81	42.64

Gráfico 08: Promedio de la concentración de los SST



La determinación de los sólidos suspendidos totales muestra la cantidad de materia soluble que está presente en el agua residual y es la que se va a arrojar al río; como se pudo ver en las tablas y gráficos detallados, los valores registrados más altos corresponden al influente (P 1) haciendo un promedio de 253.81 mg/L. Luego del tratamiento, en el efluente (P 2), se obtiene un resultado de 42.64 mg/L, dato que se encuentra dentro de los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua (Tabla 03).

La eficiencia en la remoción de SST en la PTAR de Celendín, debería ser alta debido a la variación de resultados y se lo demuestra en el resultado obtenido en el efluente

(P 2). Según los LMP, la concentración de SST debe ser hasta no mayor de 150 mg/L, cumpliendo el resultado de la PTAR. Según definición, los análisis de sólidos suspendidos totales se realizan con aras a evaluar y controlar las unidades de tratamiento diseñadas a mejorar la calidad del efluente, de acuerdo con los resultados obtenidos, el tratamiento de la PTAR sería óptima tras obtener un resultado que estaría por debajo de los LMP.

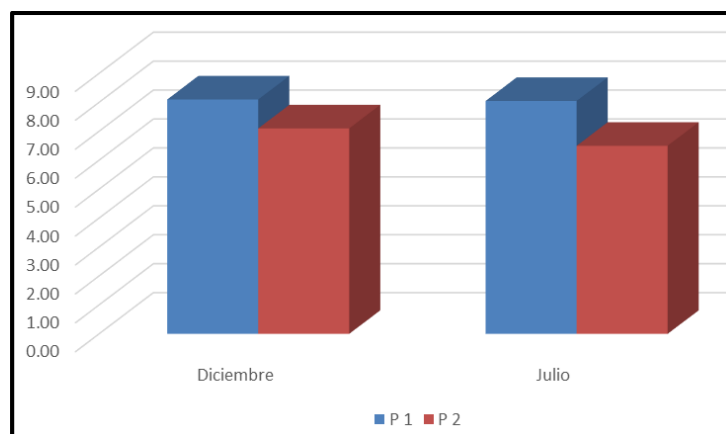
#### 4.4 pH

Los valores del pH se calcularon in situ en la misma fecha en la que se tomaron las muestras para determinar los parámetros en estudio en el Laboratorio Regional de Agua de Cajamarca. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 19: Resultados del pH

Parámetro	MES	Diciembre	Julio	
p H	Puntos de Muestreo	P 1	8.10	8.05
		P 2	7.10	6.50

Gráfico 09: Resultados del pH

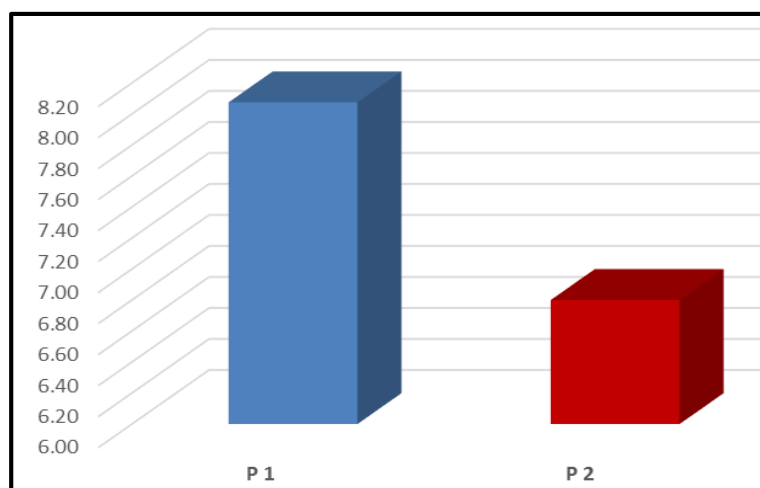


En la siguiente tabla y gráfico se muestra el promedio calculado de cada punto.

Tabla 20: Promedio de los valores del pH

pH	P 1	P 2
	8.08	6.80

Gráfico 10: Promedio de los valores del pH



Según los datos estipulados, se pudo tener como resultado un pH de 8.08 en el influente (P 1) y un pH de 6.80 en el efluente (P 2). Dichos resultados están dentro de los LMP para efluentes de PTAR (Tabla 03). Esta leve disminución en los valores del pH, del influente al efluente, se debe a la degradación de la materia orgánica, acercándose a tener un pH neutro. (Russell, D. 2012)

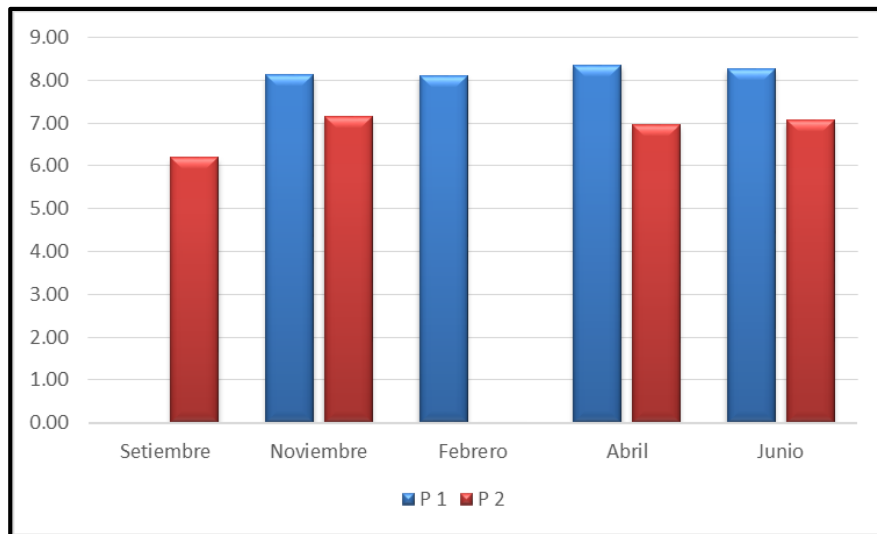
Según la definición con los resultados obtenidos, la presencia de vida sólo se da en un estrecho margen de pH (6-8), así mismo el pH afecta a los tratamientos de depuración de aguas y tiene una gran importancia en la corrosión de los materiales que se encuentran en contacto con el agua. Las aguas residuales urbanas suelen tener un pH próximo al neutro tal y como se muestra en la PTAR.

A continuación se presenta la siguiente tabla donde se muestra los resultados obtenidos en otros laboratorios, en donde se puede observar que los resultados no varían.

Tabla 21: pH en otras fechas

Parámetro	MES	Setiembre	Noviembre	Febrero	Abril	Junio
p H	P 1	--	8.12	8.11	8.35	8.27
	P 2	6.19	7.15	--	6.95	7.07

Gráfico 11: pH en otras fechas



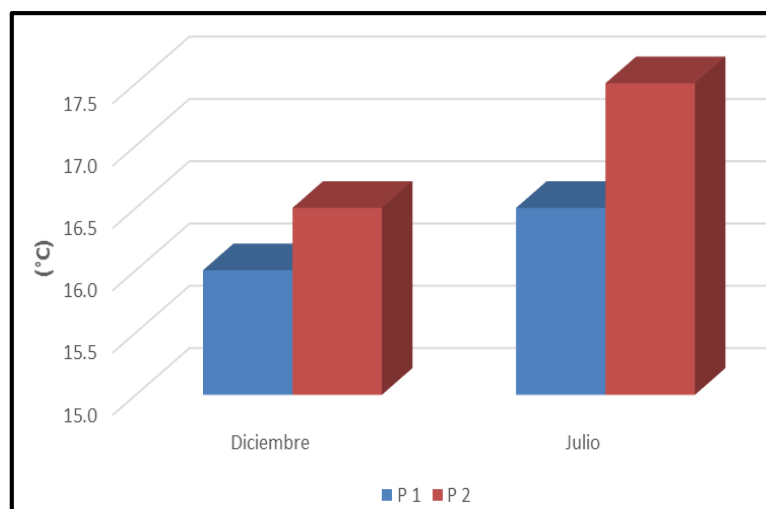
#### 4.5 Temperatura (T°)

Los resultados de los niveles de la temperatura se muestran a continuación en la siguiente tabla y también fueron calculados in situ:

Tabla 22: Resultados de la T°

Parámetro	MES	Diciembre	Julio
T°	P 1	16.0	16.5
	P 2	16.5	17.5

Gráfico 12: Resultados de la T°

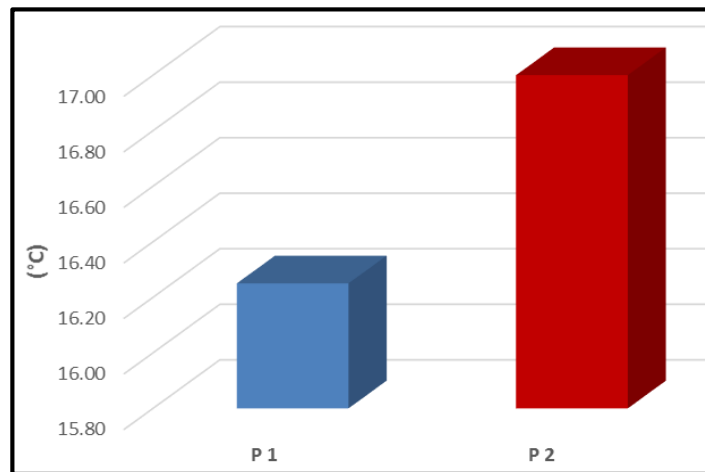


Así mismo, con los datos obtenidos se obtiene el promedio de cada punto de muestreo, detallados en la siguiente tabla.

Tabla 23: Promedio de los resultados de la T°

T°	P 1	P 2
	16.25	17.00

Gráfico 13: Promedio de los resultados de la T°



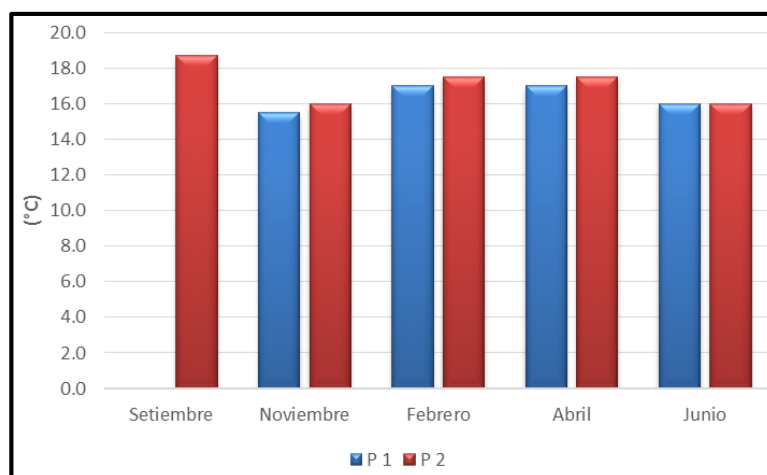
La determinación de la temperatura es el principal factor a tomar en cuenta en realizar las mediciones in situ al tomar las muestras, puesto que puede determinar la composición de la misma en cuanto a la materia disuelta, no disuelta y su naturaleza química, debido a que define las reacciones que pueden ocurrir. Según lo obtenido, tenemos una T° de 16.25 °C en el influente (P 1) y 17.00 °C en el efluente (P 2) de la PTAR, haciendo una mínima diferencia de valores en ambos puntos, con tendencia de aumento en el efluente.

En la siguiente tabla se muestran otros resultados determinados en los laboratorios ya mencionados.

Tabla 24: Resultados de T° en otras fechas

Parámetro	MES	Setiembre	Noviembre	Febrero	Abril	Junio
T°	P 1	--	15.5	17.0	17.0	16.0
	P 2	18.7	16.0	17.5	17.5	16.0

Gráfico 14: Resultados de T° en otras fechas



Según Romero (2008), establece una comparación en los resultados de un agua residual cruda en comparación con los resultados en un efluente, dando los siguientes valores: para DBO, 466 mg/L en el influente y con 27 mg/L en el efluente; para DQO, 1230 mg/L en el influente y con 164 mg/L en el efluente; y en SST, 704 mg/L en el influente y con 44 mg/L en el efluente. Los datos del presente estudio están en similitud con la bibliografía citada.

Tabla 25: Resumen de la concentración de los parámetros en estudio

PARAMETRO	PUNTO DE MUESTREO	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO
DBO (mg/L)	P1	455.00	689.00	<b>572.00</b>
	P2	45.00	52.16	<b>48.58</b>
DQO (mg/L)	P1	866.50	1548.00	<b>1207.25</b>
	P2	95.00	120.00	<b>107.50</b>
SST (mg/L)	P1	175,90	459.40	<b>253.81</b>
	P2	20,80	58,18	<b>42.64</b>
pH	P1	8.05	8.10	<b>8.08</b>
	P2	6.50	7.10	<b>6.80</b>
°T (°C)	P1	16.00	16.50	<b>16.25</b>
	P2	16.50	17.50	<b>17.00</b>



#### 4.6 Eficiencia de la PTAR de Celendín

Luego de haber calculado la concentración de los parámetros analizados, y comparados con los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua, con los resultados obtenidos, se pudo calcular, de forma cuantitativa, la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín

$$E = \left( \frac{S_o - S_f}{S_o} \right) \times 100$$

Donde:

- **E:** Eficiencia de remoción del sistema, o de uno de sus componentes [%]
- **S<sub>f</sub>:** Concentración en el Efluente en mg/L (DQO, DBO o SST)
- **S<sub>o</sub>:** Concentración en el Influyente en mg/L (DQO, DBO o SST)

A continuación se calculó la eficiencia en la remoción de la DBO, DQO y SST, utilizando la concentración de cada uno de ellos.

➤ **Eficiencia en la remoción de DBO:**

- Concentración en el influente (P 1) = 572.00 mg/L
- Concentración en el efluente (P 2) = 48.58 mg/L

$$E_{(DBO)} = \left( \frac{572.00 - 48.58}{572.00} \right) \times 100$$

$$E_{(DBO)} = 91.507\%$$

➤ **Eficiencia en la remoción de DQO:**

- Concentración en el influente (P 1) = 1207.25 mg/L
- Concentración en el efluente (P 2) = 107.50 mg/L

$$E_{(DQO)} = \left( \frac{1207.25 - 107.50}{1207.25} \right) \times 100$$

$$E_{(DQO)} = 91.095\%$$

➤ **Eficiencia en la remoción de SST:**

- Concentración en el influente (P 1) = 253.81 mg/L
- Concentración en el efluente (P 2) = 42.64 mg/L

$$E_{(SST)} = \left( \frac{253.81 - 42.64}{253.81} \right) \times 100$$

$$E_{(SST)} = 83.20\%$$

Según Romero (2008), la eficiencia en el Reactor Anaeróbico de Flujo Ascendente (RAFA) varía en un 60 - 70% de eficiencia en remoción de DBO; y la Laguna Facultativa, según Metcalf-Eddy (1979), su eficiencia está en un rango de 70 y 95%, y según la bibliografía de Romero (2008), establece una eficiencia de 85 a 95% en remoción de DBO, 75 a 85% en remoción de DQO, y 85 a 95% en remoción de SST. Así mismo, los datos de eficiencia del estudio, en remoción de DBO, DQO y SST, coinciden con la bibliografía citada.

Siguiendo los cálculos, tenemos una DBO de 572 mg/L, según los resultados. Esta agua residual ingresa al RAFA, en donde se actúa una eficiencia del 60%, y sale el agua con una DBO de 228.8 mg/L; luego con esa cantidad pasa a la laguna facultativa, donde actúa una eficiencia del 85%, teniendo como resultado en el efluente una DBO de 34.32 mg/L aproximadamente, lo que coincidiría y se comprobaría con la bibliografía consultada.

En general se tiene la eficiencia en cuanto a la remoción de la DBO, DQO y SST, presente en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín, tal y como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 26: Eficiencia de remoción en cuanto a DBO, DQO y SST

Parámetro	% de Eficiencia
DBO	91.507
DQO	91.095
SST	83.20

## 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1 Conclusiones

- De acuerdo a los valores presentados, la eficiencia de la remoción en cuanto a DBO, DQO y SST, nos da como resultado 91.507% de eficiencia para DBO, 91.095% para DQO, y 83.20% para SST, lo que determina que la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín es alta.
- La concentración de la DBO en el influente (P1) da como resultado 572.00 mg/L, mientras que en el efluente (P2) nos da 48.58 mg/L; para la DQO en el influente se tiene 1207.25 mg/L, mientras que en el efluente 107.50 mg/L; en los SST, en el influente se abarca un dato de 253.81 mg/L y en el efluente 42.64 mg/L. Como se aprecia, los resultados en el efluente respaldan la eficiencia de la operatividad de la PTAR.
- Evaluando las concentraciones del efluente (P2) de la DBO, DQO, SST, se puede ver claramente que estos datos se encuentran dentro de los LMP de efluentes de PTAR para vertidos a cuerpos de agua (Tabla 03), donde se indica que los LMP para DBO, DQO y SST, son de 100, 200 y 150 mg/L respectivamente.
- Los valores de pH en el influente es de 8.08, mientras que en el efluente es de 6.80, esta variabilidad de datos del influente versus el efluente se debe al procedimiento de la descomposición de la materia orgánica. Del mismo modo los valores de la temperatura en el influente es de 16.25 °C y en el efluente 17 °C.
- Contrastando de manera general, se pudo determinar, mediante cálculos y análisis, que las concentraciones en el efluente de la PTAR de Celendín de los parámetros medidos se encuentran dentro de los LMP de efluentes para vertidos a cuerpos de agua, logrando aparte de una alta eficiencia de la planta, un aporte ambiental significativo al curso de agua receptor como es el Río Grande de la ciudad de Celendín y a su medio biótico que lo rodea.

## 5.2 Recomendaciones

- Se debe utilizar equipos de limpieza como: escobas, trapeadores, trapos y similares, en óptimas condiciones, y cambiar periódicamente aquellas que estén defectuosas.
- El equipo de limpieza siempre deberá contar con su EPP, e incluir equipo de protección extra, para no retrasar el proceso, en caso algún equipo de protección personal se deteriore, se rompa o se averíe.
- A las autoridades de turno, instituciones públicas y privadas y personas naturales, promover la difusión y mostrar más interés a mejorar y recuperar la condición en la que se encuentra la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.
- Que, la PTAR, mediante la entidad a la que pertenece, pueda tener su propio laboratorio acreditado para los muestreos y análisis correspondientes.
- En síntesis, se incentiva a que los estudios continúen y se pueda profundizar en la calidad de tratamiento que se le da a las aguas residuales. Muy fundamental sería determinar la calidad del agua del Río Grande, luego de vertidas las aguas tratadas en la PTAR y contrastarlas con los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs), para aguas categoría III del Perú..

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Blundi, C.E. 2008. Aplicación de métodos alternativos para la determinación de materia orgánica en aguas residuales. Trabajo de grado en Doctorado en Hidráulica y Saneamiento. Universidad de San Carlos. Brasil. 329 pp.
- Costanza R. et al. (2008). Sección especial: Foro sobre la valoración de los servicios de los ecosistemas. El valor de los servicios de los ecosistemas. Economía Ecológica. Vol. 25, 1-2.
- Environmental Protection Agency. *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. EPA 821-R-98-016. Washington, D.C.: USEPA, 2011.
- Ferrer, J; Seco, A. 2008. Tratamientos Biológicos de Aguas Residuales. Primera Edición. Grupo Editor Alfaomega
- Fondo Nacional del Ambiente (FONAMA). 2010. Oportunidades de mejoras ambientales por el tratamiento de aguas residuales en el Perú. Lima.
- García, M. 2012. “Comparación y Evaluación de tres Plantas Acuáticas para Determinar la Eficiencia de Remoción de Nutrientes en el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas”. Tesis para Optar el Título Profesional. Lima, Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ingeniería Ambiental. Pág. 216
- Impacto Ambiental de los Proyectos de Uso de Aguas Residuales, Ing. Guillermo León Suematsu – CEPIS/OPS
- Jevons, C. 2005. Sistemas de Tratamiento de Agua con Radiación. Diario de Efluentes y Tratamiento de Aguas; J22: 161-162.
- Leyva, P. 2008. El medio ambiente en el Perú. Primera Edición. IDEAM. Lima. 112 pp.
- Lindenauer, K.G. y Darby, J.L. 2004. Desinfección de Aguas Residuales con Ultravioleta: *Water Research*, 2004; vol. 28(4):805-817.
- Liu, D., y Lipták, B. 2009. Tratamiento de aguas residuales. Primera Edición. Editorial Lewis. USA. 1269 pp.
- Mara, D., y Cairncross, S. 2000. Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura: medidas de protección de la salud pública. OMS. Ginebra. 212 pp.
- Marco, A., Esplugas, S. y Saum, G. 2007. Cómo y por qué se combinan los procesos químicos, biológicos para el tratamiento de aguas residuales. *Wat. Sci.Tech.*, 35,321-327.

- Martínez, S; Rodríguez, M. 2005. Tratamiento de Aguas Residuales con MATLAB. Determinación de los Parámetros Biocinéticas. Editorial Reverte, S.A. Impreso en México. Pág. 235.
- Menéndez, G. y Pérez, J. 2007. Procesos para el tratamiento biológico de aguas residuales industriales. Editorial Félix. La Habana. Cuba.
- Metcalf y Eddy. 2003. Ingeniería para Aguas Residuales. Tratamiento y reuso. Cuarta Edición. Editorial Mc Graw Hill. Boston, Massashuttes. 1819 pp.
- Orozco, A. 2005. Bioingeniería de aguas residuales. Teoría y diseño. Editorial Asociación Colombiana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Páginas 412.
- Qasim, S.R. 2009. Planificación, Diseño y Operación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales, Segunda Edición. Lancaster, Pennsylvania: Technomic, 2009.
- Ramalho, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales. Niveles de Tratamiento de Aguas Residuales y Calidad de las Aguas. Editorial Reverté, S.A. Segunda Edición. España. Pág. 697.
- Romero, J. 2008. Tratamiento de aguas residuales. Teoría y principios de diseño. Editor Escuela Colombiana de Ingeniería. Tercera Edición. Pág. 1248.
- Russell, D. 2012. Tratamiento de Aguas Residuales. Un Enfoque Práctico. Editorial Reverté .S.A. Impreso en España.
- Sánchez, J. 2003. Evaluación y monitoreo microbiológico y fisicoquímico de una planta de tratamiento de aguas residuales por rizofiltración, en una empresa productora de discos compactos. Bogotá D.C.

### **Bibliografía en línea**

- Resolución Ministerial N°273-VIVIENDA. 2013. Aprueban Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales – PTAR  
<http://www.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/anexo-rm-273-2013-vivienda.pdf>
- Decreto Supremo. D.S N° 002-2008-MINAM. Aprueban los estándares nacionales de calidad ambiental para agua. Disponible en [http://www.ana.gob.pe/media/664662/ds\\_002\\_2008\\_minam.pdf](http://www.ana.gob.pe/media/664662/ds_002_2008_minam.pdf)

- Decreto Supremo. D.S N° 003-2010-MINAM. Aprueban Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales. Disponible en [http://www.vivienda.gob.pe/ambiente/AnexosPDF/Normativa/lmp-ds\\_003-2010-minam.pdf](http://www.vivienda.gob.pe/ambiente/AnexosPDF/Normativa/lmp-ds_003-2010-minam.pdf)
- Norma OS.090. Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. [http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03\\_OS/RNE2006\\_OS\\_090.pdf](http://www.construccion.org.pe/normas/rne2009/rne2006/files/titulo2/03_OS/RNE2006_OS_090.pdf)
- Fiscalización Ambiental en Aguas Residuales - OEFA – Disponible en: [www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827)
- Oportunidades de Mejoras Ambientales por el Tratamiento de Aguas Residuales en el Perú – FONAM 2010. Disponible en: [http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades\\_Mejoras\\_Ambientales.pdf](http://www.fonamperu.org/general/agua/documentos/Oportunidades_Mejoras_Ambientales.pdf).
- Determinación de la relación DQO/DBO<sub>5</sub> en aguas residuales. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/chile13/trab-12.pdf>.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno. Disponible en: <https://quimiambientalutp.files.wordpress.com/2012/05/demanda-bioquimica-de-oxigeno.pdf>.
- Caracterización de Aguas Residuales por DBO y DQO. Disponible en: <http://filtrosyequipos.com/GUEST/residuales/dboydqo2.pdf>.
- Prueba de Demanda Química de Oxígeno. Disponible en: <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/.PCUTP-CIHH-LSA-201-2006.pdf>.
- Determinación de Sólidos Suspendidos Totales. Disponible en: [http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos\\_Tecnicos.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/Fundamentos_Tecnicos.pdf).

## **ANEXOS**



Imagen 01: Presentación de Cadena de Custodia del análisis de los parámetros.



Imagen 02: Muestreo en el Punto 1 (influyente) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.



Imagen 03: Aplicación del reactivo necesario para el análisis de DQO.



Imagen 04: Tomando muestras en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

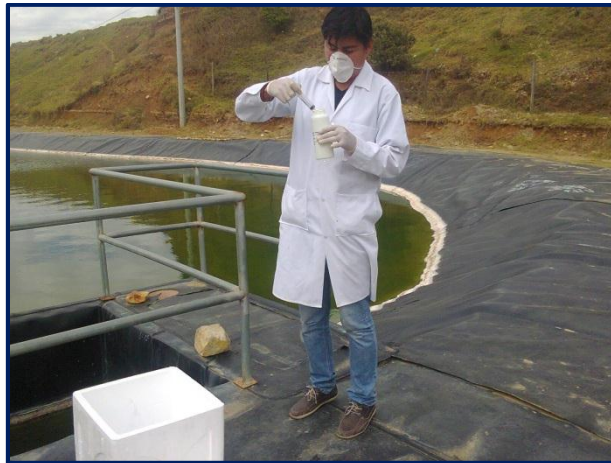


Imagen 05: Muestreo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.

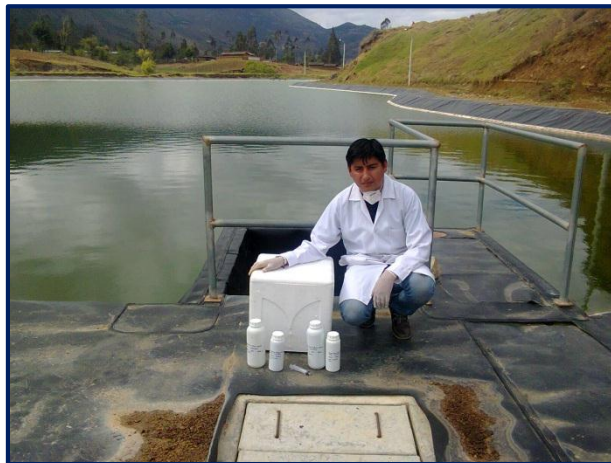


Imagen 06: Aplicación de Encuesta de Tesis realizada al personal encargado de la vigilancia de la Planta.



Imagen 07: Aplicación de Encuesta de Tesis realizada a poblador aledaño a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.



Imagen 08: Observación del Punto 1 (influyente) de muestreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.



Imagen 09: Observación del Punto 2 (efluente) de muestreo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.



Imagen 10: Vista panorámica de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Celendín.



Imagen 11: Abastecimiento de materiales y reactivos para el muestreo y análisis de los parámetros a determinar.



Imagen 12: Medición de pH y Temperatura en los puntos de muestreo.



Imagen 13: Determinación de DQO utilizando el espectrofotómetro SQ\_118



(a)



(b)

Imagen 14: Determinación de Sólidos Suspendedos Totales.



## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Aguas residuales:** También llamadas “aguas negras”. Son las contaminadas por la dispersión de desechos humanos, procedentes de los usos domésticos, comerciales o industriales. Llevan disueltas materias coloidales y sólidas en suspensión. Su tratamiento y depuración constituyen el gran reto ecológico de los últimos años por la contaminación de los ecosistemas.

**Aguas residuales domésticas:** Las aguas residuales procedentes de zonas de vivienda y de servicios, generadas principalmente por el metabolismo humano y las actividades domésticas.

**Aguas residuales industriales:** Todas las aguas residuales vertidas desde locales utilizados para cualquier actividad comercial o industrial, que no sean aguas residuales domésticas ni aguas de escorrentía pluvial.

**Aglomeración urbana:** Zona geográfica formada por uno o varios municipios, o por parte de uno o varios de ellos, que por su población o actividad económica constituya un foco de generación de aguas residuales que justifique su recogida y conducción a una instalación de tratamiento o a un punto de vertido final.

**Agente Contaminante:** toda aquella sustancia cuya incorporación a un cuerpo de agua conlleve el deterioro de la calidad física, química o biológica de este.

**Aguas residuales urbanas:** Las aguas residuales domésticas o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial.

**Aguas Negras:** son las aguas provenientes del servicio sanitario.

**Aguas servidas:** Aguas de desecho provenientes de lavamanos, tinas de baño, duchas, lavaplatos, y otros artefactos que no descargan materias fecales.

**Alcantarilla:** Es una tuberilla o conducto, en general cerrado, que normalmente fluye a medio llenar, transportando aguas residuales.

**Ambiente:** Es el conjunto de fenómenos o elementos naturales y sociales que rodean a un organismo, a los cuales este responde de una manera determinada. Estas condiciones naturales pueden ser otros organismos (ambiente biótico) o elementos no vivos (clima,

suelo, agua). Todo en su conjunto condiciona la vida, el crecimiento y la actividad de los organismos vivos.

**Análisis:** Examen del agua, agua residual o lodos, efectuado por un laboratorio.

**Caudal:** volumen de agua por unidad de tiempo.

**Cloración:** Aplicación de cloro, o compuestos de cloro, al agua residual para desinfección; en algunos casos se emplea para oxidación química o control de olores.

**Coliformes:** Bacterias gram negativas de forma alargada capaces de fermentar lactosa con producción de gas a la temperatura de 35 o 37°C (coliformes totales). Aquellas que tienen las mismas propiedades a la temperatura de 44 o 44.5°C se denominan coliformes fecales. Se utilizan como indicadores de contaminación biológica.

**Contaminación hídrica:** Cuando la cantidad de agua servida pasa de cierto nivel, el aporte de oxígeno es insuficiente y los microorganismos ya no pueden degradar los desechos contenidos en ella, lo cual hace que las corrientes de agua se asfixien, causando un deterioro de la calidad de las mismas, produciendo olores nauseabundos e imposibilitando su utilización para el consumo.

**Cuerpo Receptor:** es todo aquel manantial, zonas de recarga, río, quebrada, arroyo permanente o no, lago, laguna, marisma, embalse natural o artificial, estuario, manglar, tubería, pantano, agua dulce, salobre o salada, donde se vierten aguas residuales.

**Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):** Cantidad de oxígeno usado en la estabilización de la materia orgánica carbonácea y nitrogenada por acción de los microorganismos en condiciones de tiempo y temperatura especificados (generalmente cinco días y 20 °C). Mide indirectamente el contenido de materia orgánica biodegradable.

**Demanda Química de Oxígeno (DQO):** Medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación química de la materia orgánica del agua residual, usando como oxidantes sales inorgánicas de permanganato o dicromato en un ambiente ácido y a altas temperaturas.

**Desarenadores:** Cámara diseñada para permitir la separación gravitacional de sólidos minerales (arena).



**Descarga:** Acción de verter, infiltrar, depositar o inyectar aguas residuales a un cuerpo receptor en forma continua, intermitente o fortuita, cuando éste es un bien del dominio público de la Nación.

**Disposición Final:** es el punto de descarga final del agua que ha sido tratada anteriormente.

**Efluente del Sistema de Tratamiento:** En el manejo de aguas residuales, es el caudal que sale de la última unidad de tratamiento.

**Fangos:** Los lodos residuales tratados o no, procedentes de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales urbanas.

**Flujo de Entrada:** Es el agua que entra a las alcantarillas desde la superficie, durante eventos de precipitación, a través de fisuras en el sistema, o a través de conexiones de tejados o drenajes de sótanos.

**Flujo Permanente:** se produce cuando la descarga o caudal en cualquier sección transversal permanece constante.

**Influente del Sistema de Tratamiento:** Se refiere al caudal que ingresa a la primera unidad de tratamiento.

**Laguna aerobia:** Término a veces utilizado para significar “laguna de alta producción de biomasa”. Lagunas de poca profundidad, que mantienen oxígeno disuelto (molecular) en todo el tirante de agua.

**Laguna aireada:** Estanque natural o artificial de tratamiento de aguas residuales en el cual se suple el abastecimiento de oxígeno por aireación mecánica o difusión de aire comprimido. Es una simplificación del proceso de lodos activados y según sus características se distinguen cuatro tipos de lagunas aireadas: 1. laguna aireada de mezcla completa, 2. laguna aireada facultativa, 3. laguna facultativa con agitación mecánica y 4. laguna de oxidación aireada.

**Laguna anaerobia:** Laguna con alta carga orgánica en la cual se efectúa el tratamiento en ausencia de oxígeno disuelto (molecular), con la producción de gas metano y otros gases como el sulfuro de hidrógeno (H<sub>2</sub>S).

**Laguna de alta producción de biomasa:** Estanque de forma alargada, con un corto período de retención, profundidad reducida y con facilidades de mezcla, que tiene la finalidad de maximizar las condiciones de producción de algas.

**Laguna de estabilización:** Se entiende por lagunas de estabilización los estanques construidos en tierra, de poca profundidad (1-4 m) y períodos de retención considerable (1-40 días). En ellas se realizan de forma espontánea procesos físicos, químicos, bioquímicos y biológicos, conocidos con el nombre de autodepuración o estabilización natural. La finalidad de este proceso es entregar un efluente de características múltiples establecidas (DBO, DQO, OD, SS, algas, nutrientes, parásitos, enterobacterias, coliformes, etc).

**Laguna de maduración:** Laguna de estabilización diseñada para tratar efluente secundario o agua residual previamente tratada por un sistema de lagunas (anaerobia - facultativa, aireada - facultativa o primaria - secundaria). Originalmente concebida para reducir la población bacteriana.

**Laguna facultativa:** Laguna de coloración verdosa cuyo contenido de oxígeno varía de acuerdo con la profundidad y hora del día. En el estrato superior de una laguna facultativa primaria existe una simbiosis entre algas y bacterias, en presencia de oxígeno; en los estratos inferiores se produce una biodegradación anaerobia de los sólidos sedimentables.

**Medición:** Conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de una magnitud.

**Muestra Simple:** es aquella muestra tomada en forma única y aislada para determinar la calidad del agua en un momento dado.

**Parámetro:** Variable que se utiliza como referencia para determinar la calidad del agua.

**pH:** Logaritmo, con signo negativo, de la concentración de iones hidrógeno, en moles por litro.

**Planta de tratamiento de aguas residuales:** Conjunto de obras, instalaciones y procesos para tratar las aguas residuales.

**Planta piloto:** Planta de tratamiento a escala de laboratorio o técnica, que sirve para el estudio de la tratabilidad de un desecho líquido o la determinación de las constantes cinéticas y los parámetros de diseño del proceso.

**Pretratamiento:** Procesos de tratamiento localizados antes del tratamiento primario.

**Proceso biológico:** Proceso en el cual las bacterias y otros microorganismos asimilan la materia orgánica del desecho, para estabilizar el desecho e incrementar la población de microorganismos (lodos activados, filtros percoladores, digestión, etc.).

**Sedimentación:** es el proceso en donde los floculo se trasladan a un tanque, donde por su propio peso se precipitan.

**Sistema colector:** Todo sistema de conductos que recoja y conduzca las aguas residuales urbanas, desde las redes de alcantarillado de titularidad municipal, a las estaciones de tratamiento.

**Sistema de Tratamiento:** conjunto de operaciones y procesos físicos, químicos y/o biológicos, cuya finalidad es depurar la calidad del agua residual a la que se aplican.

**Sólidos:** De forma genérica se puede denominar sólidos a todos aquellos elementos o compuestos presentes en el agua que no son agua ni gases. Atendiendo a esta definición se pueden clasificar en dos grupos: disueltos y en suspensión. En cada uno de ellos, a su vez, se pueden diferenciar los sólidos volátiles y los no volátiles.

**Sólidos Suspendidos Totales:** son aquellos que son visibles y por lo regular flotan en las aguas residuales entre la superficie y en fondo, estos pueden ser removidos por diferentes medios, que pueden ser físicos o mecánicos a través de algún proceso de sedimentación o filtración.

**Temperatura:** La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

**Tratamiento anaerobio:** Estabilización de un desecho por acción de microorganismos en ausencia de oxígeno.

**Tratamiento avanzado:** Proceso de tratamiento fisicoquímico o biológico usado para alcanzar un grado de tratamiento superior al de tratamiento secundario. Puede implicar la

remoción de varios parámetros, como remoción de sólidos en suspensión, complejos orgánicos disueltos, compuestos inorgánicos disueltos o nutrientes.

**Tratamiento biológico:** Procesos de tratamiento en los cuales se intensifican la acción natural de los microorganismos para estabilizar la materia orgánica presente. Usualmente se utilizan para la remoción de material orgánico disuelto.

**Tratamiento convencional:** Procesos de tratamiento bien conocidos y utilizados en la práctica. Generalmente se refiere a procesos de tratamiento primario o secundario. Se excluyen los procesos de tratamiento terciario o avanzado.

**Tratamiento primario:** El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso físico o físico-químico que incluya la sedimentación de sólidos en suspensión, u otros procesos en los que la DBO<sub>5</sub> de las aguas residuales que entren, se reduzca, por lo menos en un 50%.

**Tratamiento secundario:** El tratamiento de aguas residuales urbanas mediante un proceso que incluya un tratamiento biológico con sedimentación secundaria u otro proceso, en el que se respeten los requisitos que se establecerán reglamentariamente.

**Tratamiento adecuado:** El tratamiento de las aguas residuales urbanas mediante cualquier proceso o sistema de eliminación, en virtud del cual las aguas receptoras cumplan después del vertido, los objetivos de calidad previstos en el ordenamiento jurídico aplicable.

**Vida Útil:** es el periodo de tiempo que las estructuras realizan su función en un 100%.