

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



**EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE CONSTITUYENTES ORGÁNICOS EN  
LAGUNAS FACULTATIVAS A ESCALA EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE  
RETENCIÓN HIDRÁULICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN**

**T E S I S**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR EL BACHILLER  
**JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**

ASESOR:  
**Ing. M Sc. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA**

CAJAMARCA – PERÚ

2021



## UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Fundada por Ley N° 14015 del 13 de febrero de 1,962

*"Norte de la Universidad Peruana"*

### FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

-----000-----

#### ACTA DE SUSTENTACIÓN VIRTUAL DE TESIS

En la ciudad de Celendín, a los veintitrés días del mes de marzo del año dos mil veintiuno, se reunieron en la Plataforma Virtual de la Universidad Nacional de Cajamarca, a través del Google Meet, los miembros del Jurado, designados por el Consejo de Facultad de Ciencias Agrarias, según Resolución de Consejo de Facultad N° 281-2020-FCA-UNC, de fecha 15 de diciembre del 2020, con el objeto de evaluar la sustentación del trabajo de Tesis titulado: **"EFICIENCIA DE REMOCION DE CONSTITUYENTES ORGÁNICOS EN LAS LAGUNAS FACULTATIVAS A ESCALA EN FUNCION AL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN LA CIUDAD DE CELENDÍN"**, ejecutado(a) por el Bachiller en Ciencias Ambientales **Salazar Rodríguez Jeans Roy**, para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las ocho horas y cuarenta minutos, de acuerdo a lo estipulado en el Reglamento respectivo, el Presidente del Jurado dio por iniciado el evento, invitando al sustentante a exponer su trabajo de Tesis y, luego de concluida la exposición, el jurado procedió a la formulación de preguntas. Concluido el acto de sustentación, el Jurado procedió a deliberar, para asignarle la calificación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la **aprobación por unanimidad** con el calificativo de **quince (15)**; por tanto, el Bachiller queda expedito para que inicie los trámites y se le otorgue el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

A las nueve horas y cuarenta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el acto.

Ing. M.Cs. Adolfo López Aylas  
PRESIDENTE

Ing. M.Cs. Edgar Darwin. Díaz Mori  
SECRETARIO

Ing. M.Cs. Giovanna Ernestina Chávez Horna  
VOCAL

**A:**

Dios quien inspiro mi espíritu para la realización de este estudio, por darme salud y bendición para alcanzar mis metas como persona y como profesional, por darme la sabiduría para enfrentar y superar las dificultades que se presentan constantemente en los escalones de mi vida.

A mi madre (mamita) Benilde Rodríguez Izquierdo, mi padre (papito) Julián Salazar Atalaya, mis hermanos Noemi, Michel, Deysi, Jhonatan y Fany por brindarme su apoyo emocional y económico incondicional a lo largo de mi trayectoria porque han sido un sustento para poder culminar mi carrera profesional, sin ustedes nunca hubiera podido hacer este trabajo de investigación.

A mi sobrinita Ayelen Jhensel por sus sonrisas y ponerme feliz en los días difíciles, a mis abuelitos Julián y Claudelinda por su acogida y carisma, a mis primos, a mis amigos, a mis compañeros, a mis docentes a todos ustedes los agradezco desde el fondo de mi alma

¡Gracias por confiar en mí!

## **AGRADECIMIENTO:**

A Dios el agradecimiento por la familia que tengo y compartir gratos y malos momentos, por mantenernos siempre unidos y superar cada obstáculo que se presenta en el transcurso de nuestras vidas. Por permitir la culminación de este trabajo de investigación y hacer realidad el objetivo trazado.

A mi asesor ING. M. Cs. GIOVANA ERNESTINA CHÁVEZ HORNA, por su confianza, apoyo desinteresado que brinda a la investigación, por sus consejos acertados, su comprensión y tiempo valioso brindado en la realización de esta investigación.

A todos mis amigos, compañeros, primos y aquellos que en algún momento prestaron su ayuda para la realización de esta investigación, quienes recuerdo siempre con gratitud y aprecio me apoyaron

## ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página
A: .....	iii
AGRADECIMIENTO: .....	iv
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
CAPÍTULO I .....	1
INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. PROBLEMA .....	3
1.1.1. Formulación del problema .....	4
1.2. OBJETIVOS .....	4
1.2.1. Objetivo general .....	4
1.2.2. Objetivos específicos .....	4
1.2.3. Hipótesis y variables de estudio .....	4
CAPÍTULO II .....	5
REVISION BIBLIOGRAFICA.....	5
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
2.2. BASES TEÓRICAS .....	8
2.2.1. Lagunas de estabilización facultativas.....	8
2.2.2. Factores que modifican el funcionamiento de las lagunas de estabilización	11
2.2.3. Diseños de lagunas de estabilización facultativas .....	13
2.2.4. Constituyentes orgánicos en lagunas de estabilización facultativas.....	15
2.2.5. Tiempo de retención hidráulica.....	18
2.2.6. Rango de los Parámetros.....	19
2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS .....	20
2.3.1. Aguas residuales .....	20
2.3.2. Sistemas de lagunaje.....	20
2.3.3. Lagunas de estabilización .....	20
2.3.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	20
2.3.5. Desinfección.....	20
2.3.6. Eficiencia del tratamiento .....	20
2.3.7. Retención de lodos de las lagunas .....	20

2.3.8. Relación DBO <sub>5</sub> /DQO biodegradabilidad.....	21
CAPÍTULO III.....	22
MARCO METODOLÓGICO .....	22
3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	24
3.2.1. Material experimental.....	24
3.2.2. Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio .....	25
3.2.3. Diseño experimental y arreglo de los tratamientos .....	26
3.2.4. Plano del experimento .....	28
3.2.5. Evaluaciones realizadas (variables dependientes).....	29
3.2.6. Procedimiento.....	29
3.2.7. Tratamiento y análisis de datos .....	34
CAPÍTULO IV. ....	37
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	37
4.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA).....	37
4.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno .....	37
4.1.2. Demanda química de oxígeno .....	39
4.2. PARÁMETROS DE CAMPO .....	41
4.2.1. Oxígeno disuelto.....	41
4.2.2. Conductividad eléctrica .....	42
4.2.3. Temperatura .....	44
4.2.4. pH .....	45
4.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO <sub>5</sub> Y LA DQO. ....	47
4.3.1. Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno .....	47
4.3.2. Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno .....	48
4.4. RELACIÓN ENTRE DBO <sub>5</sub> /DQO .....	49
CAPÍTULO V.....	50
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	50
5.1. CONCLUSIONES .....	50
5.2. RECOMENDACIÓN .....	51

CAPÍTULO VI .....	52
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	52
CAPÍTULO VII.....	59
ANEXOS.....	59
ANEXO 1. Presentación de la información y matriz de consistencia.....	60
ANEXO 2. Cálculos de los resultados. ....	63
ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema.....	67
ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema.....	72
ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua.....	78

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
Tabla 1	Ventajas y desventajas de las lagunas facultativas .....9
Tabla 2	Las 3 zonas de las lagunas facultativas .....9
Tabla 3	Parámetros de diseño de las lagunas facultativas. .... 10
Tabla 4	Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO <sub>5</sub> /DQO ..... 18
Tabla 5	Valores de los principales contaminantes de las aguas ..... 19
Tabla 6	Factor y variable independiente ..... 25
Tabla 7	Niveles de tratamiento en estudio según el análisis de varianza de un factor con varias muestras por grupo aleatorizado ANOVA. .... 26
Tabla 8	VARIABLES dependientes ..... 29
Tabla 9	Dimensionamiento de las lagunas facultativas ..... 30
Tabla 10	Puntos de muestreo en el afluente y efluente del sistema. .... 32
Tabla 11	Frecuencia de muestreo ..... 32
Tabla 12	Volumen de muestra y reactivos de preservación. .... 33
Tabla 13	Método de ensayo de la DBO <sub>5</sub> y DQO ..... 33
Tabla 14	Esquema del DCA para igual número de muestras por tratamiento ..... 35
Tabla 15	Esquema del análisis de varianza DCA ..... 35
Tabla 16	Demanda bioquímica de oxígeno ..... 37
Tabla 17	Análisis de varianza (ANOVA) para la DBO <sub>5</sub> ..... 38
Tabla 18	Prueba de significación de Tukey al 5 % para DBO <sub>5</sub> obtenido según el tiempo de retención hidráulica ..... 38
Tabla 19	Resultados emitidos del laboratorio de los seis muestreos para DQO ..... 39
Tabla 20	Análisis de varianza (ANOVA) para el DQO ..... 40
Tabla 21	Prueba de significación de Tukey al 5 % para DQO obtenido según el tiempo de retención hidráulica ..... 40
Tabla 22	Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD) ..... 41
Tabla 23	Prueba de significación de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto obtenido según el tiempo de retención hidráulica ..... 41
Tabla 24	Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE) ..... 42
Tabla 25	Prueba de significación de Tukey al 5 % para la conductividad eléctrica obtenido según el tiempo de retención hidráulica ..... 43
Tabla 26	Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C) ..... 44

Tabla 27	Prueba de significación de Tukey al 5 % para la temperatura obtenido según el tiempo de retención hidráulica.....	44
Tabla 28	Análisis de varianza (ANOVA) para el pH.....	45
Tabla 29	Prueba de significación de Tukey al 5 % para el pH obtenidos según el tiempo de retención hidráulica .....	46
Tabla 30	Eficiencia de remoción de DBO <sub>5</sub> .....	47
Tabla 31	Eficiencia de remoción de DQO.....	48
Tabla 32	Relación entre DBO <sub>5</sub> /DQO .....	49

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
Figura 1 Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativas.	10
Figura 2 Diseños de lagunas de estabilización facultativas. ....	14
Figura 3 Ubicación satelital del trabajo de investigación. ....	23
Figura 4 Plano del experimento.....	28
Figura 5 Puntos de monitoreo.....	31
Figura 6 Demanda bioquímica de oxígeno en promedio .....	37
Figura 7 Demanda química de oxígeno en promedio .....	39
Figura 8 Oxígeno disuelto en promedio.....	42
Figura 9 Conductividad eléctrica en promedio .....	43
Figura 10 Temperaturas en promedio.....	45
Figura 11 pH en promedio .....	46
Figura 12 Eficiencia de la demanda bioquímica de oxígeno .....	47
Figura 13 Eficiencia de la demanda química de oxígeno .....	48

## RESUMEN

En la presente investigación se determinó la eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica; el experimento se llevó a cabo en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín. Donde se instalaron 3 reactores de vidrio de 0.224 m<sup>3</sup> cada uno para tiempos de retención hidráulica de 5 (LF<sub>1</sub>), 6 (LF<sub>2</sub>) y 7 (LF<sub>3</sub>) días, con caudales de 0.022, 0.018 y 0.013 L/min respectivamente alimentado con el efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA).

La concentración promedio de DBO<sub>5</sub> y DQO en el afluente (LF<sub>0</sub>) fueron de 141.22 y 334.80 mgO<sub>2</sub>/L respectivamente. La eficiencia en remoción de DBO<sub>5</sub> obtenida fue de 47.42, 63.07 y 63.45 % respectivamente, y para la DQO eficiencias de 39.95, 0 y 0 % respectivamente.

Los valores obtenidos para la DBO<sub>5</sub>, nos permiten afirmar que el sistema es eficiente en la remoción de materia orgánica rápidamente biodegradable, e ineficiente en la reducción de la DQO, debido a que, los efluentes de las lagunas presentan alta concentración de algas que son oxidadas por el proceso químico, en la marcha de la DQO, incrementando los valores de su concentración, tal como se determinó en la relación DBO<sub>5</sub>/ DQO de 0.4 en el afluente (LF<sub>0</sub>) y 0.37, 0.15 y 0.14 en cada uno de los efluentes LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> respectivamente, obteniendo que los efluentes de las lagunas facultativas no son biodegradables. Finalmente, la laguna facultativa con tiempo de retención hidráulica de 7 días fue más eficiente con una remoción de 63.45 % en DBO<sub>5</sub>.

**Palabras clave:** constituyentes orgánicos, laguna facultativa, tiempo de retención hidráulica, retención, eficiencia y biodegradabilidad.

## ABSTRACT

In the present investigation, the removal efficiency of biochemical oxygen demand and chemical oxygen demand in facultative ponds at scale was determined as a function of the hydraulic retention time; The experiment was carried out in the wastewater treatment plant of the city of Celendín. Where 3 glass reactors of 0.224 m<sup>3</sup> each were installed for hydraulic retention times of 5 (LF1), 6 (LF2) and 7 (LF3) days, with flow rates of 0.022, 0.018 and 0.013 L / min respectively fed with the effluent Upflow Anaerobic Reactor (RAFA).

The average concentration of BOD<sub>5</sub> and COD in the tributary (LF0) were 141.22 and 334.80 mgO<sub>2</sub> / L respectively. The BOD<sub>5</sub> removal efficiency obtained was 47.42, 63.07 and 63.45% respectively, and for the COD efficiencies of 39.95, 0 and 0 % respectively. The values obtained for BOD<sub>5</sub> allow us to affirm that the system is efficient in the removal of rapidly biodegradable organic matter, and inefficient in reducing COD, due to the fact that the effluents from the lagoons have a high concentration of algae that are oxidized. by the chemical process, in the course of the COD, increasing the values of its concentration, as determined in the BOD<sub>5</sub> / COD ratio of 0.4 in the tributary (LF0) and 0.37, 0.15 and 0.14 in each of the LF1 tributaries, LF2 and LF3 respectively, in which the effluents from the facultative lagoons under study would no longer be biodegradable. Finally, the facultative lagoon with a hydraulic retention time of 7 days was more efficient with a removal of 63.45% in BOD<sub>5</sub>.

**Keywords:** organic constituents, facultative lagoon, hydraulic retention time, retention, efficiency and biodegradability.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La insuficiente cobertura de tratamiento de las aguas residuales domésticas y la existencia de miles de hectáreas de cultivos regados con aguas contaminadas con desagües domésticos que se vierten a los ríos sin un tratamiento adecuado, implican un alto riesgo de diseminación de estas enfermedades entéricas, según el CEPIS (2002). La ciudad de Celendín cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales conformada por un sistema de reactores anaeróbicos de flujo ascendente (RAFA) y una laguna facultativa, que tiene como fin eliminar los contaminantes presentes en el sistema mediante procesos físicos, químicos y biológicos, para luego ser vertido en el cuerpo receptor que es el Río Grande de la ciudad de Celendín, la cual es utilizada por los agricultores para el riego de hortalizas, pastizales y/o para bebida de animales.

El sistema cuenta con 3 reactores de vidrio que son alimentados por un tanque de almacenamiento, a la misma vez este tanque es alimentado por el efluente proveniente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). La toma de muestras se realizó en cuatro puntos diferentes la cual consta del afluente del sistema como (LF<sub>0</sub>) y el efluente de cada uno de los 3 reactores (LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub>). Ergo se realizaron 6 repeticiones en cada uno de los cuatro puntos. Además, se realizó la medición de parámetros de campo en oxígeno disuelto, temperatura, pH y conductividad eléctrica. Abarca (2000) señala que, en su estudio realizado que lleva como título “Evaluación fisicoquímica y microbiológica del sistema de lagunas facultativas para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Liberia, Guanacaste”, en donde se evalúa la eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno en lagunas facultativas, dando un porcentaje de remoción en DBO<sub>5</sub> 74.85 % y en DQO 53.4 % en promedio, con un tiempo de retención hidráulica de 37.2 días, donde el sistema de lagunas cumple con la remoción de los parámetros teniendo en cuenta el tiempo de retención hidráulica para su funcionamiento.

Esta investigación tiene como principal propósito de estudio la remoción de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno mediante lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica, utilizando el efluente del reactor

anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín; esto con el fin de ver el porcentaje de remoción de estos constituyentes orgánicos, ya que con el crecimiento poblacional que hace a 19 809 habitantes en la ciudad de Celendín, según el INEI (2017), resulta reducido la laguna facultativa que tiene un área de 2.3 hectáreas aproximadamente (Martínez 2016); y consecuentemente implementar una laguna más para ampliar el tiempo de retención hidráulica bajo ciertos criterios de diseño para un correcto funcionamiento. 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 (CENTA 2008).

## 1.1. PROBLEMA

En nuestro país uno de los problemas fundamentales son las enfermedades infecciosas que continúan siendo una de las principales causas de mortalidad y morbilidad en la población, especialmente en los niños menores de cinco años. El vertimiento del agua residual a un cuerpo natural de agua continental o marítima tiene que cumplir con los ECAs y LMP según Reglamento de la Ley de Recursos Hídricos. Sabiendo que el agua, es uno de los recursos y componentes ambientales más importantes en nuestro planeta (Peña 2018). Donde la insuficiente cobertura de tratamiento de las aguas residuales domésticas y la existencia de miles de hectáreas de cultivos regados con aguas contaminadas que se vierten a los ríos sin un tratamiento adecuado, implican un alto riesgo de enfermedades, según la ANA (2016).

Las aguas descargadas a la red de alcantarillado son derivadas a las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para su tratamiento, empleando diversas tecnologías como: lagunas facultativas, lagunas aireadas, lodos activados o filtros percoladores, entre otros; pero la falta de interés para el uso de lagunas facultativas con un adecuado tiempo de retención hidráulica está generando problemas en el tratamiento de las aguas residuales, donde se tiene que evaluar diversos factores como la temperatura, la altitud, variabilidad del viento, entre otros que ayudan para un buen diseño de esta tecnología. Posteriormente, estas aguas tratadas son empleadas para el riego de cultivos, áreas verdes, piscicultura o vertidas a cuerpos de agua natural (OEFA 2014).

La planta de tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Celendín cuenta con una laguna facultativa de las siguientes características, largo 307 m, ancho 75 m, profundidad efectiva 1.50 m, borde libre 0.50 m, alimentación Escalonada para un caudal máximo promedio de 45.6 L/s, una DBO<sub>5</sub> del afluente de 588 mg/L y un reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA) con periodo de retención de hasta 8 horas, según el (Gobierno Regional de Cajamarca, citado por Martínez 2016). Este trabajo tiene como finalidad mejorar la calidad de agua tratada proveniente de las aguas servidas de la ciudad de Celendín, mediante lagunas facultativas. Según Satalaya las lagunas facultativas tienen problemas en el tiempo de retención hidráulica por deficiencias en el caudal, dimensionamiento, altitud, relación, largo – ancho donde la más adecuada es de 3 a 1 o de 4 a 1 para evitar acumulación de materias flotantes, aparición de malos olores,

anomalías de flujo, crecimiento excesivo de algas y desarrollo de mosquitos y otros insectos (Satalaya 2015).

### **1.1.1. Formulación del problema**

¿Cuál es la eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín?

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno de las lagunas facultativas en función al tiempo de retención hidráulica.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, pH y caudal influyentes en las lagunas facultativas.

### **1.2.3. Hipótesis y variables de estudio**

#### **1.2.3.1. Hipótesis**

La eficiencia de remoción de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es de 60 % a 80 %, demanda química de oxígeno (DQO) de 55 % a 75 %.

#### **1.2.3.2. Variables**

##### **Variable independiente**

- Tiempo de retención hidráulica en las lagunas facultativas.

##### **Variables dependientes**

- Eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos.

##### **Variables influyentes**

- Características fisicoquímicas del agua residual en el sistema de tratamiento.

## CAPÍTULO II

### REVISION BIBLIOGRAFICA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Correa et al. (2012), en su trabajo de investigación “Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, Colombia”. El sistema cuenta con un tren de tratamiento que incluye una laguna anaeróbica que funciona en serie con dos facultativas, que operan en paralelo, se analizó la eficiencia del sistema de tratamiento comprendidos entre noviembre de 2006 hasta diciembre de 2007 donde se procedió con los muestreos de campo y el trabajo de laboratorio, realizando 5 muestreos generales ubicados en 14 estaciones de muestreo. Los resultados en promedio de las lagunas facultativas son de 28°C, el OD de 21 mg/L, pH 7.5, TRH es de 8 días, DBO<sub>5</sub> 383.5 kg/Ha-d, caudal 13.5 L/s. La eficiencia del sistema obtuvo una remoción de carga en DBO<sub>5</sub> de 71%. De acuerdo con este trabajo de investigación, se aprecia claramente cómo el control de los parámetros fisicoquímicos y de caudales que entran al sistema lagunar es fundamental para una adecuada operación y funcionamiento de la planta.

Vanegas y Reyes (2017), realizaron un estudio sobre “carga superficial máxima en lagunas de estabilización facultativas de Nicaragua”. Para el desarrollo de esta investigación, se realizó 4 rondas de muestreos en las dos lagunas de estabilización “El Patriarca” y 3 rondas en “San Rafael del Sur”. En cada ronda de muestreo se recolectaron muestras compuestas de agua tanto en la entrada como en la salida. Las muestras recolectadas fueron transportadas al laboratorio para el análisis de DBO<sub>5</sub>; obteniéndose 312.13 mg/L, 146.50 mg/L y un TRH de 10 días en El Patriarca; y 214.67 mg/L, 95.00 mg/L y un TRH de 13 días en San Rafael del Sur en el afluente y efluente respectivamente teniendo una retención de 53 % y 56 % en las lagunas de la PTAR El Patriarca y San Rafael del Sur respectivamente. Se concluye que ambas lagunas presentan en lo general un proceso predominantemente facultativo, debido a la presencia de algas, la retención de más del 50% de la materia orgánica.

De acuerdo con Cuyotupa (2017), en su tesis titulada “Diseño y construcción de un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de San Agustín de cajas- Huancayo” para optar

el título de Ingeniero Químico Ambiental. Se construyó un Reactor Biológico Aerobio a Escala de Laboratorio para el Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas con un TRH de 1 día construido con dimensiones de 0.996 m de largo, ancho: 0.238 m de ancho y 0.405 m de altura y un periodo de la inoculación, aclimatación, arranque del sistema y pre experimentación de 27 días , donde los resultados promedio del afluente para la DBO<sub>5</sub> es de 196.2 mg/L y 76.6 mg/L en el efluente, y con eficiencia promedio de 59,6 %; mientras que para la DQO es de 364.46 mg/L en el afluente y 138.8 mg/L en el efluente, y con una eficiencia promedio de 60.8 %.

De acuerdo con Satalaya (2015), en su tesis titulada “Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza” para optar el título de Ingeniero en recursos naturales renovables mención conservación de suelos y agua. La toma de muestras se realizó en frascos de vidrio esterilizados, se tomaron una muestra por cada punto de muestreo, teniendo los resultados en temperatura 29.9 y 30 °C, OD es de 3.61 y 4.16 mg/L, caudal es de 1.34 y 2.01 L/s, DBO<sub>5</sub> es de 118.59 y 99.53 mg/L, DQO es de 190.86 y 188.26 mg/L en el afluente y efluente respectivamente con un tiempo de retención hidráulica de 36.5 días. Teniendo una eficiencia de retención 20.76% en la DBO<sub>5</sub>.

En el trabajo realizado por Vidaurre (2018), en su estudio denominado “Eficiencia de la remoción de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del distrito la florida, San Miguel, Cajamarca. noviembre – diciembre de 2013”, se realizó dos puntos en el afluente y efluente de la laguna, obteniéndose 9 muestreos. Los resultados fueron en temperatura un promedio de 24.7 °C y 26.4 °C en pH un promedio de 7.3 y 6.8, en DQO un promedio de 625.89 mg/L y 371.56 mg/L y en DBO<sub>5</sub> un promedio de 390.89 mg/L y 288.00 mg/L en el afluente y efluente respectivamente. La eficiencia de la remoción fue de 40,63% en la DQO; 26,32 % en la DBO<sub>5</sub>.

El trabajo realizado por Zabaleta (2016), para obtener el título de ingeniero ambiental realizó “evaluación del porcentaje de remoción de materia orgánica en función a las características fisicoquímicas del Río grande – distrito Celendín”. En su estudio tiene un punto de estación de monitoreo en el caserío Pallac; y se encuentra ubicada a una distancia de 100 m después de la mezcla con la descarga más significativa de aguas residuales de la planta de tratamiento. Obteniendo un valor promedio de 48.68 mg/L de DBO<sub>5</sub>, mientras

que antes de la mezcla de aguas del efluente de la laguna facultativa la DBO<sub>5</sub> es de 5.33 mg/L, habiendo un aumento de 43.35 mg/L en DBO<sub>5</sub> por combinación de las aguas naturales con las aguas residuales.

En el trabajo realizado por Martínez (2016), en su tesis titulada “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” para obtener el título de ingeniero ambiental, realizó los análisis de cada uno de los parámetros DBO<sub>5</sub>, DQO, pH y T° en el afluente y efluente del sistema. Por cada muestreo se tomaron 1000 mL de 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. Luego del análisis realizado, se obtuvo los resultados para la concentración de DBO<sub>5</sub> 572.00 mg/L en el afluente y 48.58 mg/L en el efluente, DQO 1207.25 mg/L en el afluente y 107.50 mg/L en el efluente, pH de 8.08 en el afluente, y 6.80 en el efluente y Temperatura de 16.25 °C en el afluente y 17 °C en el efluente. Verificando los resultados indica una eficiencia de retención de 91 % en DQO y 91.5 % en DBO<sub>5</sub>.

En su investigación realizada por García (2019), en su tesis titulada “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y retención de sólidos suspendidos totales, en Celendín – Cajamarca” para obtener el título de ingeniero ambiental, para ver la eficiencia de la PTAR realizó los análisis de sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y temperatura (T°) en el afluente del sistema y en el efluente de la laguna facultativa, obteniendo los siguientes resultados: 211.5 mg/L en el afluente y 59.475 mg/L en el efluente para SST; 0.00 mg/L en el afluente y 1.6975 mg/L en el efluente para OD; 15.25°C en el afluente y 16°C en el efluente para T° en promedio. De estos resultados promedios, comparados con parámetros de construcción y la normativa para aguas residuales, se concluyó que para SST se obtuvo un 71.88% de eficiencia, respecto a un 84% de eficiencia que debería tener normalmente, resultando ineficiente para este parámetro; para OD se obtuvo 1.6975 mgO<sub>2</sub>/L referente a un 3 mgO<sub>2</sub>/L mínimo que debería tener, siendo muy bajo su generación de OD; y para T° se obtuvo una variación de 15.25°C a 16°C, teniendo un valor aceptable respecto a la normativa y a los parámetros existentes.

En su investigación realizada por Quispe (2019), en su tesis titulada “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca” para obtener el título de ingeniero ambiental, realizó los análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO en el afluente del sistema y en el efluente de la laguna facultativa, obteniendo los siguientes resultados: Un promedio de 6.7 en el afluente y 6.8 en el efluente en pH, un promedio de 13.5 en el afluente y 15.5 en efluente en temperatura, 245.95 mgO<sub>2</sub>/L en promedio de DBO<sub>5</sub> en el afluente y 41.03 mgO<sub>2</sub>/L en promedio para el efluente con una eficiencia de 83.32 %, 495.13 mgO<sub>2</sub>/L en promedio de DQO en el afluente y 149.63 mg O<sub>2</sub>/l en promedio para el efluente con una eficiencia de 69.78 %.

## **2.2. BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1. Lagunas de estabilización facultativas**

La principal función de las lagunas facultativas es la de remover la DBO<sub>5</sub> soluble y los organismos patógenos, con una profundidad de 1.5 a 2.5 m, alcanzan tiempos de retención hidráulica a 30 días. La retención prevista de la DBO<sub>5</sub> es de 50%. La remoción de la DBO<sub>5</sub> se puede incrementar aumentando el tiempo de retención mediante una mayor profundidad de la laguna de hasta los 2 m (MMAyA 2009). Según Tilley et al. (2018), las lagunas facultativas deben construirse a una profundidad de entre 1 y 2.5 m y tener un tiempo de retención de 5 a 30 días. Según la NORMA OS.090 (2009), para evitar el crecimiento de plantas acuáticas con raíces en el fondo, la profundidad de las lagunas debe ser mayor de 1,5 m; el período de limpieza de 5 a 10 años.

La finalidad de las lagunas facultativas es la remoción de la DBO<sub>5</sub> bajo condiciones aeróbicas, aprovechando principalmente la simbiosis entre las algas y bacterias, también contribuye a la remoción de patógenos a través del largo período de retención hidráulica, por los rayos ultravioletas de la energía solar, y el aumentó en pH por actividad de las algas, menciona que la relación entre temperatura de 10 a 15 °C y con un tiempo de retención hidráulica de 4 a 5 días se tiene una eficiencia de 30 a 40 % en remoción de DBO<sub>5</sub> (Mercado 2013). Teniendo en cuenta que las lagunas facultativas operan de la siguiente manera, en su estrato superior como lagunas aeróbicas, en su estrato inferior como lagunas anaerobias, y en el estrato intermedio, con la presencia de bacterias facultativas se crea un estrato particular llamada zona facultativa (Correa et al. 2012).

Tabla 1 Ventajas y desventajas de las lagunas facultativas

<b>Ventajas</b>	<b>Desventajas</b>
Costos bajos por construcción, operación y mantenimiento	La principal desventaja es que necesitan una gran área de terreno
Fáciles de construir, operar y mantener (no se necesita personal calificado)	Debido a la infiltración, no deben construirse en suelos arenosos por la contaminación que causan a los mantos acuíferos
Buena retención de materia orgánica y microorganismos patógenos	Pueden generar olores desagradables cuando se incluya una laguna anaerobia y esta reciba alta concentración de carga orgánica
Absorben los picos hidráulicos, cargas orgánicas y compuestos tóxicos	El funcionamiento adecuado de un sistema de lagunas depende de las condiciones ambientales del lugar: viento, temperatura, nubosidad, etcétera
Pueden tratar aguas residuales biodegradables	Se recomienda que la ubicación del sistema de tratamiento se localice, por lo menos, a 500 metros de la mancha urbana
No presentan problemas de operación en el manejo y disposición de lodos	El efluente descargado incluye alto contenido de algas (sólidos suspendidos) que puede ocasionar problemas en el suelo cuando se reutiliza en regadío de cultivos.
Utilización del agua tratada en agricultura y acuicultura	
Se pueden utilizar como sistemas reguladores de riego	

Fuente (IMTA 2007).

Tabla 2 Las 3 zonas de las lagunas facultativas

<b>ZONA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
Zona superficial	Donde las bacterias y algas coexisten simbióticamente como en las lagunas aerobias.
Zona intermedia	Parcialmente aerobia y parcialmente anaerobia, donde la descomposición de la materia orgánica se realiza mediante bacterias aerobias, anaerobias y facultativas. La materia orgánica soluble y coloidal es oxidada por organismos aerobios y facultativos utilizando el oxígeno producido por las algas que crecen abundantemente en la parte superior de la laguna. El dióxido de carbono producido sirve de fuente de carbono para las algas. Los sólidos presentes en el agua residual tienden a sedimentarse y acumularse en el fondo de la laguna donde se forma un estrato de lodo anaerobio.
Zona del fondo	De carácter anaerobio, donde los sólidos se acumulan por sedimentación y son descompuestos fermentativamente.

Fuente. (CONAGUA 2007).

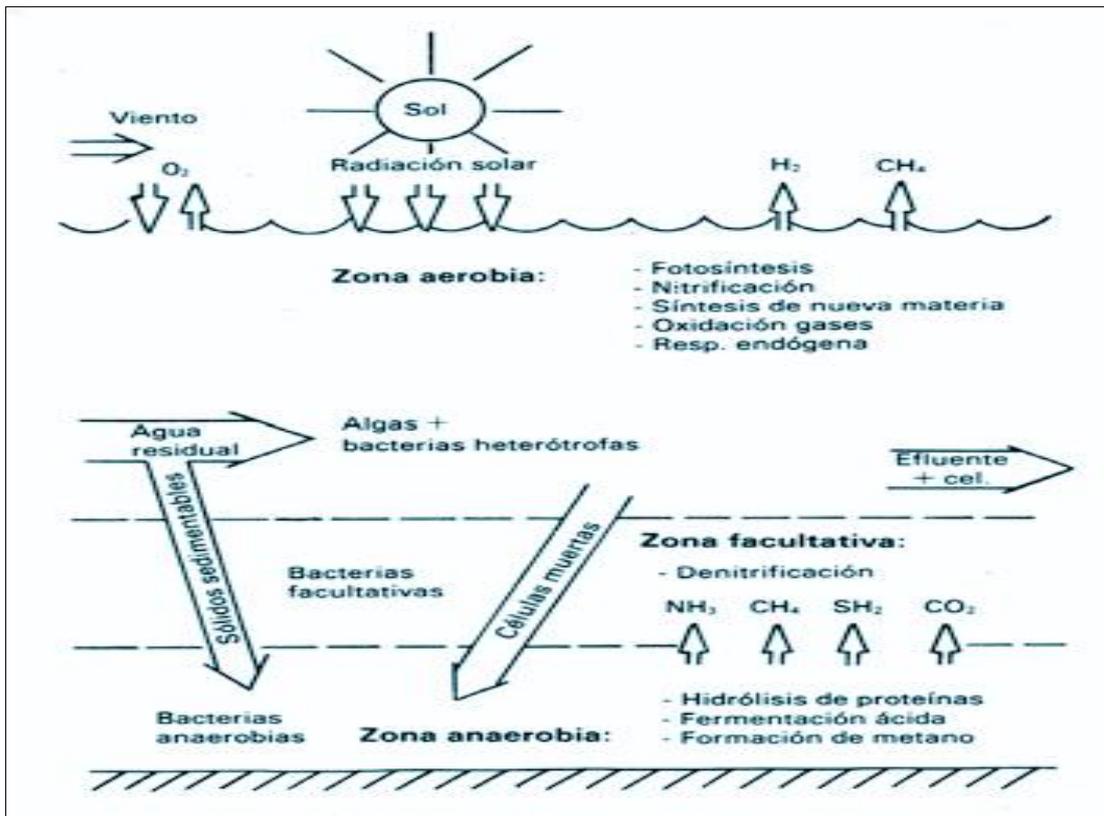


Figura 1 Representación esquemática de las lagunas de estabilización facultativas.

Fuente. (CENTA 2008).

Tabla 3 Parámetros de diseño de las lagunas facultativas.

Parámetros de diseño	Las dimensiones de la laguna son de 0.8 a 4 hectáreas múltiples.
	Las dimensiones de la laguna son de 0.8 a 4 hectáreas múltiples.
	El tiempo de retención hidráulica varía de 5 a 30 días.
	La profundidad está comprendida entre 1.2 a 2.4 metros.
	El pH varía entre 6.5 a 8.5 unidades de pH.
	La temperatura está en un rango de 0 a 50 °C, sin embargo, la temperatura óptima es de 20 °C.
	La carga y retención de $\text{DBO}_5$ , es de 56 a 202 kg/(ha d) y de 80 a 95 % respectivamente y es la función principal de las lagunas facultativas.
	La concentración de algas, es de 5 a 20 mg/L.
	Los sólidos suspendidos en el efluente son de 40 a 60 mg/L.

Fuente (IMTA 2017).

## **2.2.2. Factores que modifican el funcionamiento de las lagunas de estabilización**

### **2.2.2.1. Factores físicos y climáticos**

**Intensidad de la luz solar**, compone una fuente de energía para algunos de los procesos biológicos de la laguna y determina su estructura térmica, la cantidad de luz se mide como la cantidad de energía que incide en el área donde se lleva a cabo la fotosíntesis, por tanto, la luz que llega a la laguna es función de la latitud, estación del año, hora del día, condiciones ambientales y tipo de cuerpo de agua (CONAGUA 2007).

**Viento**, estas son las dos razones importantes de la acción del viento en las lagunas facultativas. La reaireación a través de la interface aire - agua que depende de la velocidad del viento este efecto puede llegar hasta los 0.25 m de profundidad, y el efecto de la mezcla del viento evita el desarrollo de estratificación térmica, aunque en ocasiones la acción del viento puede dar lugar a la aparición de problemas de flujo como espacios muertos y cortocircuitos, se recomienda estudiar el régimen de vientos en la zona donde se va a construir la laguna, de forma que el diseño se beneficie al máximo del efecto del viento entre la entrada y salida. Para ello habría que reorientar la laguna o la posición de la alimentación y el efluente (Ruiz y Oviedo 2013).

**Precipitación pluvial**, influye en el funcionamiento de las lagunas facultativas, las lluvias aisladas o escasas no provocan efectos significativos en las lagunas, con lluvia continua el tiempo de retención hidráulica se reduce mientras que lluvias intensas diluyen el contenido de materia orgánica a la laguna y acarrear material orgánico y mineral por medio del escurrimiento (IMTA; CNA; TACSA 1994).

**Temperatura**, es un parámetro importante en el proceso de tratamiento del agua residual donde favorece el proceso de fotosíntesis y el metabolismo de las bacterias que limpian el agua. Temperaturas entre 20 y 25 °C generan condiciones óptimas para la producción de oxígeno en las lagunas facultativas, mientras que la fermentación anaerobia se lleva a cabo después de los 22 °C y disminuye debajo de los 15 °C (Rolim 2000).

**Flujo a través de las lagunas y tiempo de retención**, la circulación de las aguas residuales a través de las lagunas, viene afectada por la forma y tamaño de esta, la entrada y salida del recurso, la velocidad y dirección de los vientos dominantes, las anomalías de flujo más frecuentes se encuentran manifestadas en la aparición de zonas muertas, es

decir, zonas de la laguna en las que el agua permanece estancada durante largos periodos de tiempo (F y N de Colombia 2004).

**Profundidad**, las lagunas profundas, con baja relación superficie/volumen, minimizan la pérdida de calor por radiación a la atmósfera, también la intensidad de mezcla es función de la profundidad, a menor profundidad el viento provoca un mayor grado de mezcla, el crecimiento de vegetación indeseable en las lagunas se da debido a profundidades superiores a 1 m (CENTA 2008).

#### **2.2.2.2. Factores químicos**

**El Oxígeno disuelto**, se determina frecuentemente en los efluentes de las lagunas, lo que suministra una información puntual que debe acompañarse de la hora del día en que se verificó la medida, en cuanto que el oxígeno disuelto varía en función de la intensidad de la radiación solar, ergo que el objeto de conocer estas variaciones durante las épocas de actividad máxima y mínima es conveniente realizar la medida de oxígeno disuelto a distintas horas del día y profundidades al menos en dos ocasiones, durante las temporadas seleccionadas de muestreo (Menéndez y Díaz 2006).

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

**pH**, en las primeras horas del día los valores de pH son bajos, menores de 7 debido al exceso de CO<sub>2</sub> producido por la respiración bacteriana aerobia durante la noche, luego al medio día el pH se eleva ya que las algas se encuentran en plena actividad fotosintética y por la noche el pH vuelve a disminuir porque las algas dejan de consumir CO<sub>2</sub> y porque continúa la producción de CO<sub>2</sub> por la respiración de las bacterias (CONAGUA 2007).

**Conductividad eléctrica**, es una medida indirecta de la cantidad de sales o sólidos disueltos que tiene un agua, por ende, los iones en solución tienen cargas positivas y negativas; esta propiedad hace que la resistencia del agua al flujo de corriente eléctrica tenga ciertos valores. Si el agua tiene un número grande de iones disueltos su conductividad va a ser mayor, en cuanto mayor sea la conductividad, mayor es la cantidad

de sólidos o sales disueltas, este parámetro de medición es muy empleado cuando se desea conocer la cantidad de sólidos totales disueltos (Lecca 2013).

### **2.2.2.3. Factores biológicos**

Las lagunas facultativas se convierten en el hábitat de otras formas de vida. Así como las bacterias que son microorganismos unicelulares que se dividen por escisión celular, producen unos compuestos químicos llamados enzimas cuya misión es atacar o digerir tipos específicos de alimentos; las algas presentes en lagunas son unicelulares y se multiplican por escisión celular, la mayor parte del oxígeno de las lagunas es generado por la actividad fotosintética de las algas; los hongos contribuyen también a la degradación de la materia orgánica y son organismos no fotosintéticos y heterótrofos; los hongos acuáticos, son seres saprofitos, es decir, que se alimentan de materia muerta, los protozoos se alimentan de bacterias y materia detrítica, o incluso, de otros protozoos. Aunque hay una gran variedad de insectos que pueden vivir en el hábitat, muy pocos de ellos contribuyen en alguna medida a la depuración, entre aquellos que pueden contribuir a la depuración destacan las larvas de la mosca de agua que son muy abundantes en algunas lagunas, especialmente cuando ya se ha alcanzado un buen grado de depuración (CONAGUA 2015).

### **2.2.3. Diseños de lagunas de estabilización facultativas**

Son lagunas diseñadas para el tratamiento de aguas residuales por medio de la interacción de la biomasa (principalmente bacterias y algas), su función principal del proceso es estabilizar la materia orgánica y remover los patógenos de las aguas residuales realizando una descomposición biológica natural, el diseño es para la remoción de patógenos, DBO, y sólidos suspendidos. Los dos mecanismos que existen para la adición de oxígeno al estrato superior son: **La fotosíntesis**, llevada a cabo por las algas, y **la reaireación**, a través de la acción del viento de la superficie. Las bacterias aeróbicas realizan un tratamiento de los desechos, particularmente la materia orgánica disuelta mediante asimilación y oxidación de la materia orgánica con la producción de bióxido de carbono y productos secundarios de nutrientes como amoníaco y nitrato, en tanto las algas utilizan el bióxido de carbono y los nutrientes para producir oxígeno a través de la fotosíntesis. Se diseñan lagunas facultativas para remover DBO, SS y controlar el proceso de tratamiento; después, se diseñan lagunas de maduración para remover patógenos aprovechando su retención anterior en las lagunas facultativas (Mercado 2013).

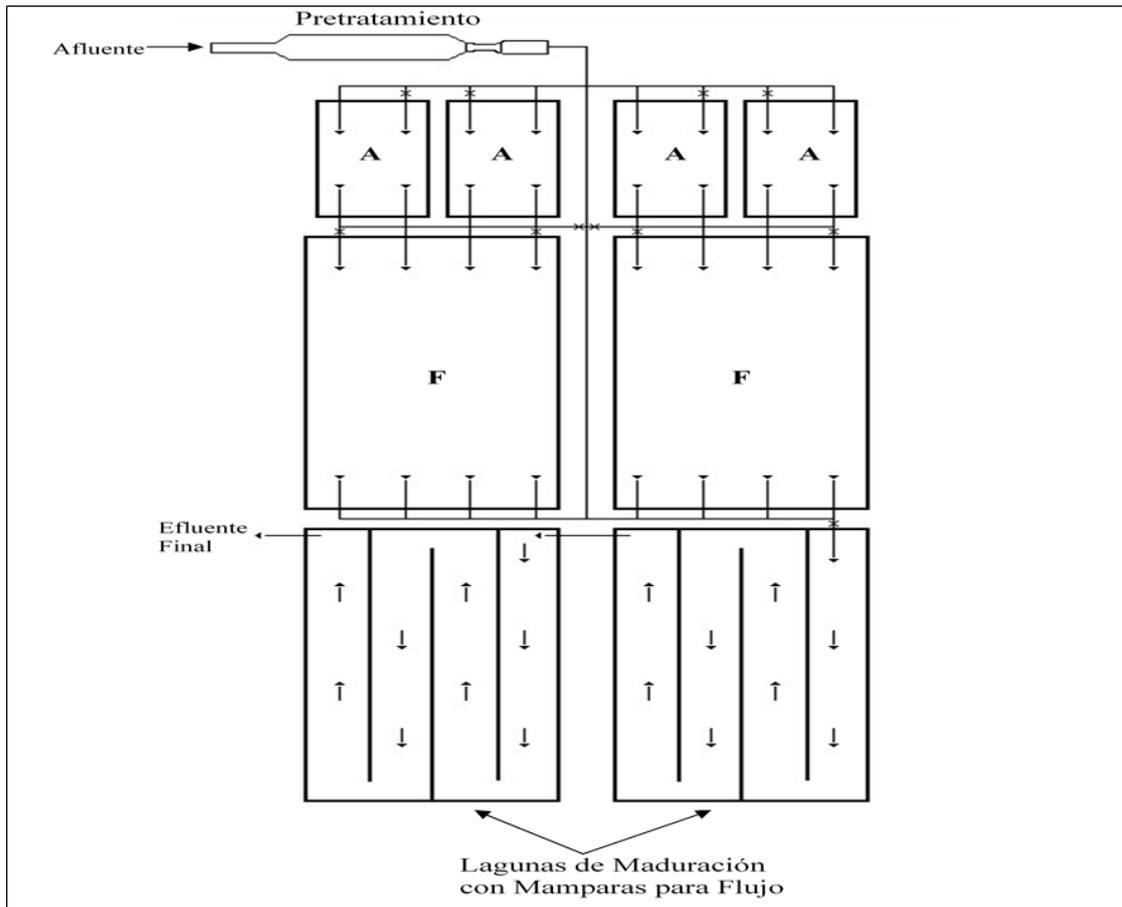


Figura 2 Diseños de lagunas de estabilización facultativas.

Fuente. (IMTA 2017).

Según cortés (2011), diseño de laguna facultativa. (Flujo disperso. Método de Yáñez)

a) Carga orgánica.

$$C.O. = \frac{Q_1 * (DBO_1)}{1000}$$

Donde:

$Q_1$  = Caudal en el afluente de la laguna en (m<sup>3</sup>/día)

$DBO_1$  = Concentración de la demanda bioquímica de oxígeno en el afluente de la laguna en (mg/L)

1000 = Factor de conversión

b) Carga superficial de diseño

$$\lambda s = 250 * 1.085^{T-20}$$

Donde:

$\lambda_s$  = Carga orgánica superficial (kg\*DBO<sub>5</sub> / ha\*día)

T= Temperatura media mensual mínima de aire, (C°)

c) Área de la laguna facultativa

$$Af = \frac{10 * L_I * Q_{med}}{\lambda_s}$$

Donde:

Af = Área de la laguna facultativa en (m<sup>2</sup>)

Q<sub>med</sub> = Caudal en el afluente (m<sup>3</sup>/día)

d) Volumen de la laguna

$$V = A * Z$$

Donde:

V = Volumen en (m<sup>3</sup>)

Z = Profundidad de la laguna, (mts) de 1.5 a 1.8 metros.

e) Tiempo de retención hidráulico.

$$Oa = \frac{Va}{Qi}$$

Donde:

Oa = Tiempo medio de retención hidráulico

Va = Volumen de la laguna en (m<sup>3</sup>)

Qi = Caudal en el afluente en (m<sup>3</sup>/día)

#### **2.2.4. Constituyentes orgánicos en lagunas de estabilización facultativas.**

La descomposición anaerobia de la materia orgánica que se realiza en el fondo de la laguna resulta en una producción de compuestos orgánicos disueltos y gases, que son oxidados por las bacterias aerobias, o bien, liberados a la atmósfera (CONAGUA 2007). Los compuestos orgánicos de efluentes domésticos e industriales representan el problema más antiguo de contaminación del agua. Antes se priorizaban los efectos de los residuos domésticos sobre los industriales, debido a efectos agudos sobre la salud que poseían los residuos humanos, pero conforme fueron apareciendo nuevos compuestos químicos

procedentes de las industrias, se empezó a prestar una mayor atención a los efectos de los residuos industriales sobre la salud y su impacto en el medio ambiente (Mijares 1978).

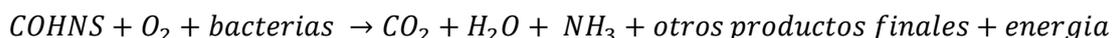
#### **2.2.4.1. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>)**

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

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

Según MC Graw Hill (2000), la DBO<sub>5</sub> es el método más usado con mayor frecuencia en el campo de tratamiento de aguas residuales. Si hay suficiente oxígeno la descomposición biológica aerobia de un desecho orgánico continuara hasta que se haya consumido, y puede ocurrir tres actividades: Primero, una parte de desecho se oxida a productos finales y con ellos los microorganismos obtienen energía para el mantenimiento de las células y la síntesis de un nuevo tejido celular, por otra parte la fracción del desecho se convierte en tejido celular empleando energía liberada durante la oxigenación, y por ultimo cuando se consume la materia orgánica las nuevas células empiezan a consumir su propio tejido celular con el fin de obtener energía para el mantenimiento celular; estos procesos se definen por las siguientes reacciones químicas.

#### **Oxidación**



#### **Síntesis**



#### **Respiración endógena**



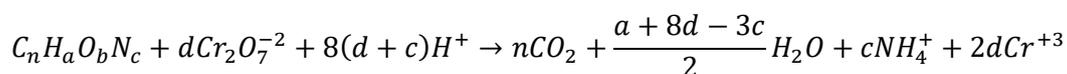
**Indicador de la contaminación**, la actividad biológica es provocada por los microorganismos en condiciones aeróbicas, en consecuencia, la materia orgánica pierde sus propiedades contaminantes por el intercambio del oxígeno del aire con el agua. La cantidad de oxígeno que necesitan los microorganismos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

**La determinación de la DBO<sub>5</sub>**, se realiza a una temperatura de 20° C en un tiempo de 5 días, siendo expresado en mgO<sub>2</sub>/L y es conocido como DBO<sub>5</sub>, este procedimiento fue adoptado en 1936 por la Asociación Americana de Salud Pública, y desde entonces ha permanecido como un indicador de la contaminación. La DBO<sub>5</sub> es la cantidad total de oxígeno consumida por los microorganismos durante los primeros cinco días de biodegradación, por ende, la prueba DBO<sub>5</sub>, es poner una muestra de residuo en una botella cerrada y medir la concentración de oxígeno disuelto en la muestra al principio de la prueba y al cabo de cinco días; la diferencia de OD dividida por el volumen de desperdicio es DBO<sub>5</sub> (Lecca y Ruiz 2014).

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

Es la cantidad de oxígeno necesario para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica (Vidaurre 2018). Calzada y Martínez (2012), la DQO corresponde al contenido de materias orgánicas total (biodegradable o no), donde se expresa por la cantidad de oxígeno en mgO<sub>2</sub>/L suministrados por dicromato potásico, que es necesario para la oxidación de las materias orgánicas (proteínas, glúcidos, lípidos, etc.), presentes en las aguas. Gil (2005) menciona que, las aguas residuales urbanas brutas presentan una DQO que oscila entre 150 y 1000 mgO<sub>2</sub>/L, mientras que las aguas residuales depuradas no deberían superar los 100 mgO<sub>2</sub>/L.

La prueba de la DQO es usada para medir el material orgánico presente en las aguas residuales, susceptible de ser oxidado químicamente con una solución de dicromato en medio ácido, como se ilustra en la siguiente ecuación donde el nitrógeno está en su estado reducido (MC Graw Hill 2000).



Donde

$$d = \frac{2n}{3} + \frac{a}{6} + \frac{b}{3} - \frac{c}{2}$$

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

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

Tabla 4 Criterios de biodegradabilidad según la relación DBO<sub>5</sub>/DQO

DBO <sub>5</sub> /DQO	Carácter
> 0.8	Muy biodegradable
0.7 a 0.8	Biodegradable
0.3 a 0.7	Poco biodegradable
< 0.3	No biodegradable

Fuente. (Ardila et al. 2012).

### 2.2.5. Tiempo de retención hidráulica

Cabrera y Ortiz (2005), consiste en el tiempo medio que se demoran las partículas de agua en un proceso de tratamiento, usualmente se expresa como la razón entre el caudal y el volumen útil. El tiempo de retención hidráulica varía de 5 a 30 días y la profundidad de 1.5 a 2 m, dependiendo de su localización geográfica, clima y del volumen requerido para almacenar el lodo sedimentado. Se recomienda mantener un borde libre de 0.5 a 0.8 m para minimizar los efectos del viento y el oleaje, así como absorber temporalmente sobrecargas hidráulicas (CONAGUA 2007).

Stewart (2005), señala lo siguiente:

El tiempo de retención hidráulica nominal se calcula con la Ecuación.

$$TRH_F = \frac{V_F}{Q_{med}}$$

Donde

$TRH_F$  = tiempo de retención hidráulica nominal de la laguna facultativa, días

$V_F$  = volumen de laguna facultativa, m<sup>3</sup>

Se calcula el volumen de la laguna facultativa,  $V_F$ , de la siguiente ecuación desarrollada para una laguna con taludes interiores inclinados lo que es realmente la ecuación para el volumen de un prismoide:

$$V_F = \frac{P}{6} * [(l * a) + (l - 2iP)(a - 2iP) + 4 * (l - iP)(a - iP)]$$

Donde

$V_F$  = volumen de la laguna facultativa,  $m^3$

$P$  = la profundidad de la laguna, m

$l$  = largo de la laguna, m

$a$  = ancho de la laguna, m

$i$  = la relación horizontal/vertical del talud interior, que es normalmente de 3/1

Se recomienda una profundidad de 1.8 a 2.0 metros en las lagunas facultativas para mantener condiciones aeróbicas en el primer metro de profundidad y tener espacio por abajo para la acumulación de lodos. La profundidad más utilizada es 1.8 metros, la relación de largo a ancho en lagunas facultativas de por los menos 2/1 y preferiblemente 3/1 para modelar flujo de tipo pistón.

### 2.2.6. Rango de los Parámetros

Los parámetros fisicoquímicos para lagunas de estabilización facultativas en  $DBO_5$  y DQO es:

Tabla 5 Valores de los principales contaminantes de las aguas

Parámetro	Eficiencia (%)
$DBO_5$	60 - 80
DQO	55 - 75

Fuente: CENTA, 2008.

## **2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS**

### **2.3.1. Aguas residuales**

OEFA (2014), son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo antes de reusarlas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado.

### **2.3.2. Sistemas de lagunaje**

Según Huertas et al (2012), la tecnología del lagunaje consta de varias lagunas conectadas en serie, donde se producen procesos físicos, químicos y biológicos, depurándose gradualmente.

### **2.3.3. Lagunas de estabilización**

Son estanques excavados con el propósito de embalsar agua residual con largos periodos de retención, en las cuales se realizan un tratamiento por medio de la actividad bacteriana con acciones simbióticas de algas y otros organismos (IMTA 2017).

### **2.3.4. Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Es el tiempo promedio en que los compuestos líquidos y solubles permanecen en un reactor o tanque (Tilley et al 2018).

### **2.3.5. Desinfección**

Tiene como objeto la remoción de los microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales y el cumplimiento de los LMP de coliformes termotolerantes, la desinfección puede ser química o física como la luz ultravioleta (SUNAS 2015).

### **2.3.6. Eficiencia del tratamiento**

Relación entre la masa o concentración removida y la masa o concentración aplicada, en un proceso o planta de tratamiento y para un parámetro específico, se puede expresar en decimales o porcentaje (NORMA OS.090 2009).

### **2.3.7. Retención de lodos de las lagunas**

Se debe tomar en cuenta esta actividad, debido a que la acumulación de lodos representa una pérdida o disminución del volumen útil de las lagunas, perjudicando la eficiencia del tratamiento, el período estimado de limpieza es de 5 años (Muñico 1997).

### **2.3.8. Relación DBO<sub>5</sub>/DQO biodegradabilidad**

La relación DBO<sub>5</sub>/DQO es un buen indicador de la biodegradabilidad del agua residual a tratar, de tal forma que valores inferiores a 0,3 se considera que utilizar procesos de tratamiento por vía biológica no es la decisión más adecuada (Ardila et al. 2012).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1. LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se ejecutó en las instalaciones de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín ubicado en el distrito y provincia del mismo nombre, departamento de Cajamarca, se ubica al norte y en la parte más baja del casco urbano, con coordenadas UTM: Este: 815435 m, Norte: 9241975 m y Altitud: 2605 m.



Figura 3 Ubicación satelital del trabajo de investigación.

### 3.2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

**Por su finalidad:** Aplicada donde se integran elementos teóricos con la práctica, puede ser desarrollada en el campo, laboratorio, u otras condiciones controladas. En este tipo de investigación se plantea el uso de instrumentos estadísticos como herramienta de apoyo (Coronel 2018).

**Por su carácter de medida:** Cuantitativa, utiliza técnicas estadísticas e instrumentos muy estructurados para la recolección de información y medición de variables (Bastar 2012).

**Por el método de investigación:** Experimental, se administra un estímulo o tratamiento (variación del tiempo de retención hidráulica) y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es el nivel de grupo en estas variables (constituyentes orgánicos) (Hernández y Baptista 2014). Permitirá determinar la eficiencia de una laguna facultativa en el sistema de tratamiento de aguas residuales.

#### 3.2.1. Material experimental

Efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la ciudad de Celendín.

- **Materiales de campo**

GPS Garmin Gpsmap 64sx

Multiparámetro Medidor De PH/CE/TDS/Temperatura HI98130

Multiparámetro portátil 3630 IDS WTW

Cámara canon powershot ELPH 180 20 MP 8X

Cronómetro leap profesional digital sports stopwatch timer digital

Fichas de registro de campo

Cinta adhesiva

Cita de embalaje

Preservantes químicos

Plumón indeleble

Cajas térmicas pequeñas

- **Materiales y equipo de laboratorio**

Laptop Asus Core i7 con software para procesamiento y sistematización de datos

Impresora multifuncional epson ecotank 13150 sistema

Agua destilada

Papel Bond A4

- **Otros materiales**

Electrobomba Periférica Werken 0.5HP

Kit de muestreo (envases de plástico)

Equipo de protección personal (EPP)

Tubos PVC de 1/2"

Codos PVC 1/2"

Tee PVC 1/2"

Válvulas Check

Reactor de vidrio

Malla metálica

Llaves de paso

Válvulas PVC

Calamina transparente

Uniones para tubo PVC

Hoja de sierra

Postes

Clavos de 1/2", 2", 1 1/2"

Pegamento para PVC

Reglas de madera

Silicona

Cable de luz

### 3.2.2. Factor y variable independiente, niveles y tratamientos en estudio

El factor que se ha considerado en este proyecto es el tiempo de retención hidráulica en aguas residuales.

Tabla 6 Factor y variable independiente

<b>FACTOR:</b>			
Tiempo de retención hidráulica en lagunas facultativas	<b>Reactor 1</b>	<b>Reactor 2</b>	<b>Reactor 3</b>
<b>T</b> Tiempo de retención hidráulica. (días)	5	6	7

Tabla 7 Niveles de tratamiento en estudio según el análisis de varianza de un factor con varias muestras por grupo aleatorizado ANOVA.

TRATAMIENTO	% REMOCION						TOTAL DE COMBINACIONES
	REPETICIONES						
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	
<b>T1</b>	T1M1	T1M2	T1M3	T1M4	T1M5	T1M6	T1:6
<b>T2</b>	T2M1	T2M2	T2M3	T2M4	T2M5	T2M6	T2:6
<b>T3</b>	T3M1	T3M2	T3M3	T3M4	T3M5	T3M6	T3:6
<b>TOTAL DE COMBINACIONES</b>	3	3	3	3	3	3	<b>TOTAL</b> 18

Tratamiento = T

Muestreo = M

### 3.2.3. Diseño experimental y arreglo de los tratamientos

El presente proyecto de investigación es de tipo experimental, se utilizó el efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente de la planta de tratamiento de aguas residuales, el cual se hace a partir de la información obtenida en la búsqueda bibliográfica con respecto al uso de dicha tecnología y utilizando los parámetros de diseño que se tienen que considerar: Tiempo de retención hidráulica, caudal, volumen, área según escala piloto. Se consideró utilizar vidrio macizo reforzado en la construcción del reactor, así como distintos materiales y equipos para la construcción e implementación del sistema de alimentación.

El tratamiento empezó desde el tanque de distribución de donde se realizó la repartición a los sistemas de tratamiento (sistema de reactores en paralelo), se realizó prepruebas y pospruebas para analizar la evolución de los grupos antes y después del tratamiento experimental, el análisis preprueba fue en cada uno de los cuatro puntos de monitoreo quien proporcionó datos de referencia inicial, consecuentemente se trató el agua mediante lagunas facultativas donde el efluente de cada reactor del tratamiento constituyó el análisis de posprueba que sirvió para determinar el porcentaje de remoción de componentes orgánicos.

El diseño se analizó, de acuerdo al siguiente diagrama:

G	0 <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	0 <sub>2</sub>
G	0 <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	0 <sub>3</sub>
G	0 <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	0 <sub>4</sub>

Donde:

G: Afluente del sistema de tratamiento. (Efluente del RAFA).

$0_1$ : Análisis de pre prueba (previo al sistema de tratamiento).

$X_1, X_2, X_3$ : Tiempo de retención hidráulica (días).

$0_2, 0_3, 0_4$ : Análisis pos prueba en cada uno de los tres reactores (después del sistema de tratamiento).

### 3.2.4. Plano del experimento

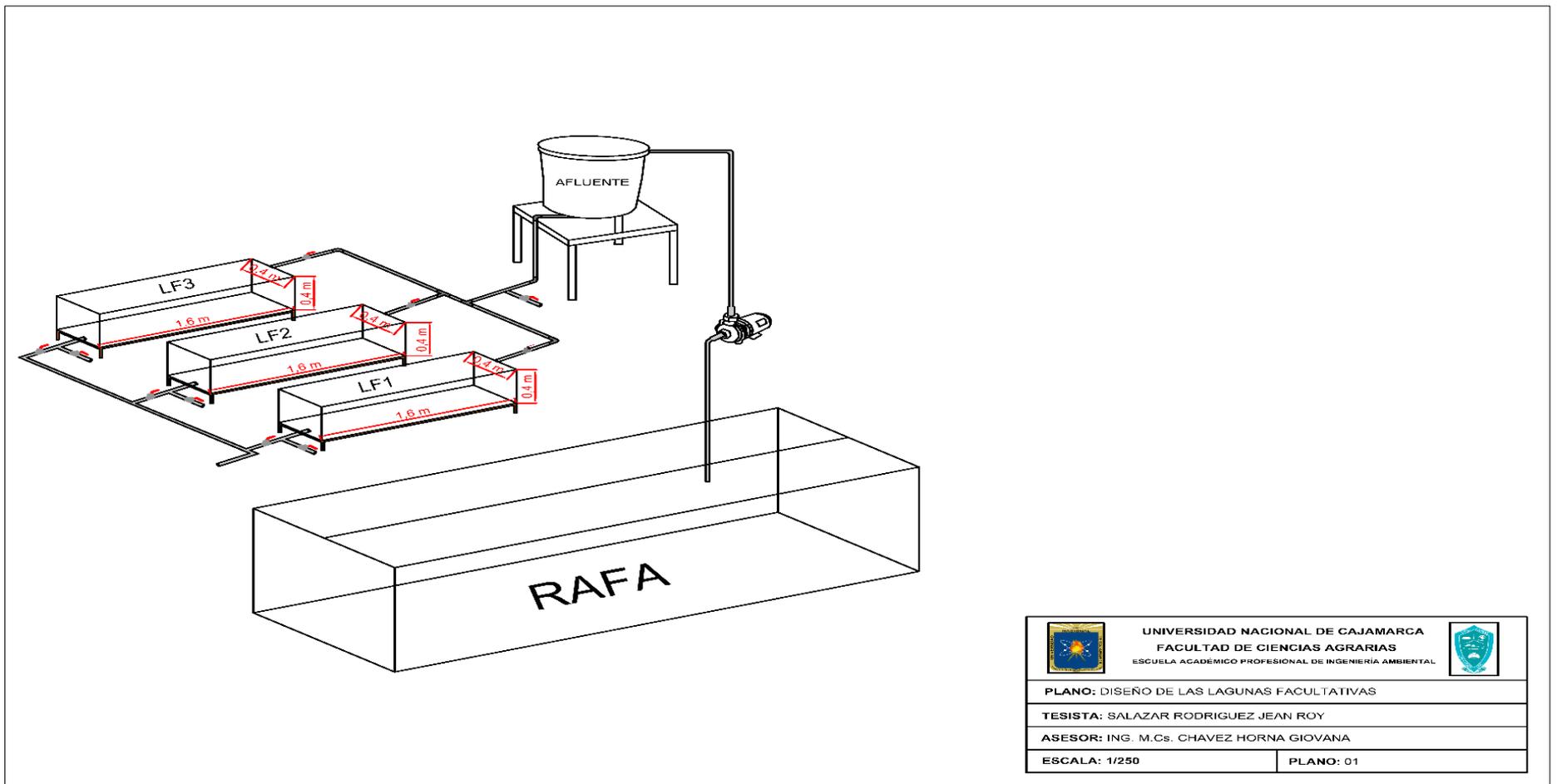


Figura 4 Plano del experimento

### 3.2.5. Evaluaciones realizadas (variables dependientes)

Tabla 8 Variables dependientes

VARIABLE	CONCEPTO	INDICADOR	UND DE MEDIDA	ESCALA
Variables Dependientes				
Eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos.	Es el porcentaje de remoción de demanda bioquímica de oxígeno en las lagunas facultativas en función al tiempo de retención hidráulica.	DBO <sub>5</sub>	%	0 – 100 %
	Es el porcentaje de remoción de demanda química de oxígeno en las lagunas facultativas en función al tiempo de retención hidráulica.	DQO	%	0 – 100 %
Variables Influyentes				
Características fisicoquímicas del agua residual en el sistema de tratamiento.	Son los parámetros fisicoquímicos de las aguas residuales que están presentes en las lagunas facultativas, que permiten el funcionamiento del sistema	Temperatura	°C	5– 40 °C
		Conductividad eléctrica	µS/cm	500–2000 µS/cm.
		Oxígeno disuelto	mg/L	0– 8 mg/L
		pH	Und	5– 9 Und pH
		Caudal	L/min	0– 0.050 L/min

### 3.2.6. Procedimiento

El procedimiento a seguir se realizó de la siguiente manera:

- Se solicitó el permiso a través de una solicitud dirigida al gobierno regional para la instalación de las lagunas facultativas.
- Se identificó el área para la instalación del sistema de tratamiento, en el cual se realizó la limpieza del terreno donde instalamos el proyecto de investigación teniendo en cuenta el área aproximada de 32 m<sup>2</sup> para la instalación de los reactores.
- Se instalaron 3 reactores de vidrio de 0.224 m<sup>3</sup> cada una para tiempos de retención hidráulica de 5, 6 y 7 días.
- El dimensionamiento del sistema se realizó a escala de laboratorio (NORMA OS 090. 1997) piloto de 1: 250 en función al caudal y al tiempo de retención hidráulica de la laguna facultativa, que opera en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.

Tabla 9 Dimensionamiento de las lagunas facultativas

DIMENSIONES	ESCALA: 1:250
LARGO	1.6 m
ANCHO	0.4 m
ALTURA	0.35 m
BORDE LIBRE	0.08 m
AREA	0.64 m

- Los reactores se encuentran sobre una base de madera cada uno a una altura de 0.4 m de altura.
- El tanque de distribución es un tanque de plástico de 75 L, el cual está ubicado sobre una base de madera a una altura de 1.00 m, y es alimentado por un tubo PVC de ½” del efluente del RAFA a través de una electrobomba de 0.5 Hp controlado por un electro nivel rotoplas.
- Las conexiones se han realizado con tuberías de PVC de ½”, ¾” y de 1”, codos PVC ½”, ¾” y de 1”, uniones mixtas PVC de ½”, ¾” y de 1”, adaptadores ½”, reducciones de 1” a ½”, tee PVC ½”, ¾” y de 1” ½”, válvulas check, válvulas PVC y válvulas PVC para controlar el caudal.
- Se instaló una electrobomba con un caudal de 32 L/min para alimentar al tanque de distribución.
- Puesta en marcha del sistema de tratamiento la cual entra en funcionamiento, donde el proceso de tratamiento inicio a partir del tanque de distribución terminado en los efluentes de los reactores, donde la inoculación, aclimatación, arranque del sistema fue de 15 días según Cuyotupa (2017). Y la pre experimentación fue de 30 días donde se realizó el análisis de temperatura del agua, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto para comprobar el arranque del sistema.
- Análisis de parámetros de campo in situ, se realizó de acuerdo al cronograma de actividades establecido y en los 4 puntos de monitoreo, midiendo los parámetros de pH, temperatura, oxígeno disuelto y conductividad eléctrica diariamente, durante los primeros 15 días del mes de marzo y luego se reanudo el mes de junio durante 15 días más debido a la pandemia provocada a nivel mundial.

- Recolección de las muestras y envío al Laboratorio Regional del Agua - Gobierno Regional Cajamarca acreditado por INACAL - DA con registro N° LE-084, se realizó dos veces por semana durante dos semanas del mes de marzo y luego se realizó dos veces más en una semana en el mes de junio.

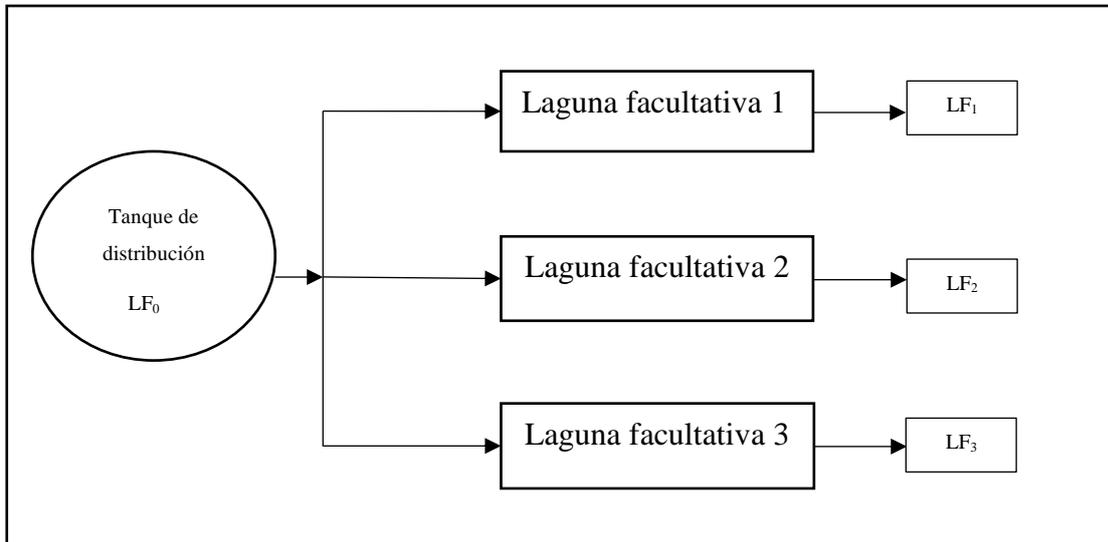


Figura 5 Puntos de monitoreo

Donde:

- LF<sub>0</sub>: Punto de monitoreo 1
- LF<sub>1</sub>: Punto de monitoreo 2
- LF<sub>2</sub>: Punto de monitoreo 3
- LF<sub>3</sub>: Punto de monitoreo 4

### Fase de campo

Se identificó los puntos de monitoreo para nuestros análisis, verificando que estén claramente identificados y cumpliendo con las características del diseño, para el procesamiento de datos. La determinación de los parámetros: Oxígeno disuelto, pH, temperatura, conductividad eléctrica, se realizó en el laboratorio de la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental la cual se determinó mediante el Multiparámetro Hanna de la escuela académico profesional de ingeniería ambiental.

Tabla 10 Puntos de muestreo en el afluente y efluente del sistema.

Muestreo	Puntos de muestreo			
	Tanque	Reactor 1	Reactor 2	Reactor 3
	Afluente	Laguna facultativa 1	Laguna facultativa 2	Laguna facultativa 3
	LF <sub>0</sub>	LF <sub>1</sub>	LF <sub>2</sub>	LF <sub>3</sub>
Afluente	x			
Efluente		x	x	x

En la tabla 10, se muestra los puntos de muestreo en el afluente y efluente del sistema, se tiene un punto en el afluente y tres puntos para el efluente en todo el sistema; siendo LF<sub>0</sub> (afluente), LF<sub>1</sub> (laguna facultativa 1), LF<sub>2</sub> (laguna facultativa 2) y LF<sub>3</sub> (laguna facultativa 3).

Tabla 11 Frecuencia de muestreo.

Punto muestreo	Parámetros	Semana					
		1		2		3	
		2/3/2020	6/3/2020	9/3/2020	13/03/20	26/06/20	30/06/20
LF <sub>0</sub>	DBO <sub>5</sub> , DQO	x	x	x	x	x	x
LF <sub>1</sub>		x	x	x	x	x	x
LF <sub>2</sub>		x	x	x	x	x	x
LF <sub>3</sub>		x	x	x	x	x	x

En la tabla 11, muestra la frecuencia de muestreo para los parámetros de estudio, para lo cual se utilizaron frascos de plástico con tapa rosca de 1000 ml para DBO<sub>5</sub> y de 250 ml para DQO. Los cuales fueron debidamente codificados y etiquetados después de la toma de las muestras indicando claramente con plumón indeleble la prueba de agua, el origen y punto de muestreo, código de muestra, responsable del muestreo, fecha y hora de muestreo.

Para la recolección de las muestras para análisis de DBO<sub>5</sub> y DQO se procedió a enjuagar los frascos 3 veces, luego se realizó el recojo de las muestras para luego colocar cada frasco en un cooler en el cual se envió las muestras al laboratorio regional del agua. La medición de parámetros en campo como la temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica se realizó en forma contigua a la recolección de las muestras.

Tabla 12 Volumen de muestra y reactivos de preservación.

Parámetro	N° de Muestras			volumen	Preservación y conservación
	Afluente	Efluente	Total		
DBO <sub>5</sub>	6	18	24	1000 ml	Se refrigero a 4°C
DQO	6	18	24	250 ml	Se refrigero a 4°C

La tabla 12, muestra la cantidad de muestras recolectadas para DBO<sub>5</sub> y DQO. Una vez concluido con las actividades los frascos con las muestras fueron guardadas en un cooler térmico en forma ordenada para evitar daños o derrames conteniendo los ice pack, para luego ser trasladado al Laboratorio Regional del Agua cumpliendo con los protocolos establecidos para sus respectivos análisis.

El llenado del formato de la cadena de custodia se realizó al entregar las muestras al laboratorio indicando los parámetros de estudio, tipo de frasco, tipo de muestra de agua (agua residual cruda o tratada), volumen, número de muestras, reactivo de preservación y toma de temperatura.

### Fase de laboratorio

Las muestras recolectadas fueron entregados al laboratorio en el menor tiempo posible de haberse realizado en muestreo cumpliendo con los requisitos de volumen, preservación y conservación de la muestra según los informes de ensayo del laboratorio. Los análisis de estudio para DBO<sub>5</sub> y DQO se realizó en el laboratorio Regional del Agua acredita por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL - DA con registro N° LE-084.

Tabla 13 Método de ensayo de la DBO<sub>5</sub> y DQO

parámetro	Método de ensayo
DBO <sub>5</sub>	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5210 B, 23rd Ed. 2017: Biochemical Oxygen Demand (BOD). 5- Day BOD Test.</i>
DQO	<i>SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 5220 D, 23rd Ed. 2017: Chemical Oxygen Demand (COD). Closed Reflux, Colorimetric Method.</i>

Fuente. Laboratorio regional del agua – Cajamarca.

### Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consistió en el análisis y sistematización de los resultados obtenidos por cada parámetro de estudio en las diferentes muestras del agua residual; mediante los cuales podremos determinar la eficiencia de lagunas facultativas para tratamiento de aguas residuales.

### 3.2.7. Tratamiento y análisis de datos

El tratamiento y análisis de datos se realizó mediante tres fases:

Se registraron los resultados emitidos por el laboratorio (demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno) los cuales fueron procesados para obtener el porcentaje de remoción de las lagunas facultativas en función al tiempo de retención hidráulica. La determinación del porcentaje de remoción de compuestos orgánicos en los diferentes puntos de monitoreo se realizó de la siguiente manera:

Se calculó el grado de eficiencia de los parámetros de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno para cada punto de monitoreo, para ello se aplicó la siguiente formula:

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

Donde:

N: Grado de eficiencia

FZ: Sumatoria de las cargas que ingresan al sistema.

FA: Sumatoria de las cargas que salen del sistema.

### Metodología de la investigación.

Para Romaina (2012), el uso de la ciencia estadística permite superar estas dificultades, requiriendo la recolección de datos experimentales que permitirán una estimación imparcial de los efectos del tratamiento y la evaluación de las diferencias del tratamiento a través de pruebas de significación basadas en mediciones del error experimental. El análisis de varianza es una técnica mediante la cual se prueban las medias de los tratamientos y se observan las fuentes de variabilidad de la variable de respuesta. En el caso del diseño completamente al azar, el esquema del ANVA, se presenta en la tabla siguiente:

### Modelo estadístico del DCA

El modelo aditivo lineal de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t;$$

t = número de tratamientos

$j = 1, 2, \dots, r$ ;

$r =$  número de repeticiones por tratamiento

Donde:

$\mu =$  es el efecto medio

$\tau_i =$  es el efecto de  $i$  –ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij} =$  error experimental

Tabla 14 Esquema del DCA para igual número de muestras por tratamiento

Repeticiones	Tratamientos				Gran total
	1	2	...	t	
1	$Y_{11}$	$Y_{21}$	...	$Y_{t1}$	
2	$Y_{12}$	$Y_{22}$	...	$Y_{t2}$	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
r	$Y_{1r}$	$Y_{2r}$	...	$Y_{tr}$	
<b>Total tratamiento</b>	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_t$	$Y_{..}$
<b>Media</b>	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	...	$\bar{Y}_t$	$\bar{Y}_{..}$
<b>Tamaño de muestra</b>	n	n	...	n	N

Fuente. (Romaina, 2012).

### Análisis de variancia

Tabla 15 Esquema del análisis de varianza DCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	$t - 1$	$\frac{\sum y_1^2}{r} - TC$	$\frac{SCt}{t - 1}$	$\frac{CMt}{CME}$	*
Error	$t(r - 1)$	$SCT - SCt$	$\frac{SCE}{t(r - 1)}$		**
Total	$rt - 1$	$\sum y_{ij}^2 - TC$			

\*Diferencia estadística significativa

\*\*Diferencia estadística altamente significativa

**Dónde:**

$t =$  N° de tratamientos

$r =$  N° de repeticiones

SCt = suma de cuadrado de tratamientos

SCT = suma de cuadrados totales

SCE = suma de cuadrado del error

CMt = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. ANÁLISIS DE VARIANZA (ANOVA)

##### 4.1.1. Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 16 Demanda bioquímica de oxígeno

Muestreo	PUNTOS DE MUESTREO			
	LF <sub>0</sub>	LF <sub>1</sub>	LF <sub>2</sub>	LF <sub>3</sub>
1	126	94	49.4	37.7
2	115.8	81.9	36.7	34.2
3	102.4	77.5	40.8	49.3
4	116.8	79.1	43.6	52.7
5	233	58.3	75.9	72.4
6	153.3	54.7	66.5	63.4
Promedio	141.2	74.3	52.2	51.6

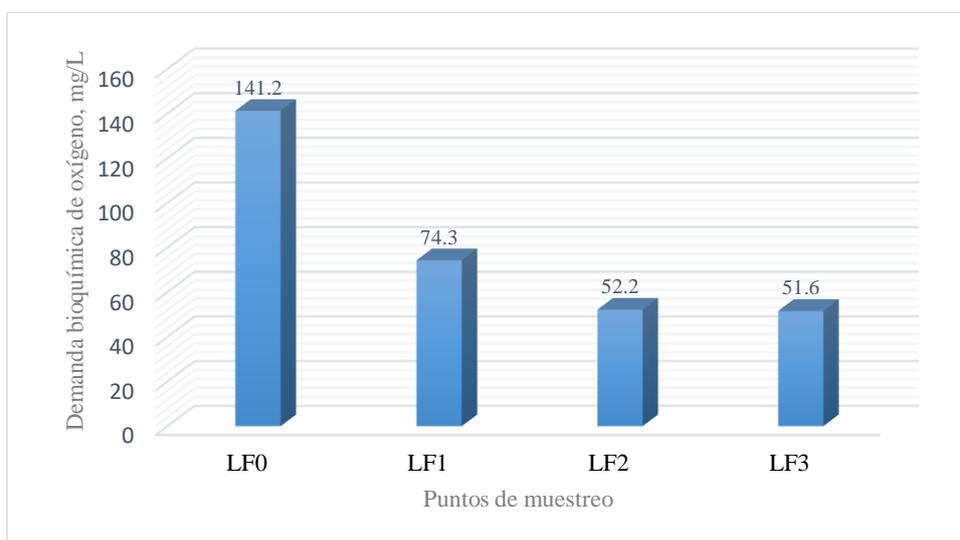


Figura 6 Demanda bioquímica de oxígeno en promedio

La tabla 16 nos muestra los análisis obtenidos del laboratorio regional del agua, siendo los más elevados los resultados del afluente (LF<sub>0</sub>), y en los efluentes se muestran ligeras variaciones, vemos que en el quinto y sexto muestreo tenemos una gran disminución en DBO<sub>5</sub> los cuales se realizaron en el mes de junio inicios de época seca por ende sin presencia de lluvia, ya que cuando llueve aumenta la recarga de agua a la PTAR

disminuyendo el tiempo de retención hidráulica del RAFA, mientras que del primero al cuarto muestreo se realizó en el mes de marzo a fines de época húmeda con alteraciones de lluvia, esto significó la variabilidad de los resultados así como lo muestra la figura, coincidiendo con la bibliografía citada por los autores como (Chuquitarqui et. al 2017).

Tabla 17 Análisis de varianza (ANOVA) para la DBO<sub>5</sub>

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F calculado</b>	<b>P - valor</b>
Tratamiento	3	32170	10723.3	14.33	0.0001
Error	20	14962	748.1		
Total	23	47132			

$$CV = 34.27 \%$$

En la tabla 17 se observa los resultados del análisis de varianza para la DBO<sub>5</sub>, en los cuales se observa que existe significación estadística para el tiempo de retención hidráulica, dado que el valor de significación (p-valor: 0.0001) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de la DBO<sub>5</sub> en los diferentes reactores se deben a la influencia del tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención ejerce efecto significativo en la DBO<sub>5</sub>.

El coeficiente de variación es 34.27 %, este valor indica la variabilidad de la DBO<sub>5</sub> dentro de los reactores.

Tabla 18 Prueba de significación de Tukey al 5 % para DBO<sub>5</sub> obtenido según el tiempo de retención hidráulica

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>TRH días</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>Agrupación por Tukey</b>
LF <sub>0</sub>	0	141.2	A
LF <sub>1</sub>	5	74.25	B
LF <sub>2</sub>	6	52.15	B
LF <sub>3</sub>	7	51.62	B

En la tabla 18 se muestra los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para la DBO<sub>5</sub> obtenido según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que los resultados obtenidos en promedio en LF<sub>0</sub> fue 141.2 mg/L, siendo superior al de los

efluentes. En LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> se obtuvieron resultados de 74.25, 52.15 y 51.62 mg/L en promedio respectivamente, además, se evidencia que el tiempo de retención presenta una relación inversamente proporcional en DBO<sub>5</sub>, mostrando que no hay una amplia variación porque los tiempos de retención hidráulica y caudales también tienen mínimas diferencias. Según Quispe (2013), realizó una evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domésticas mediante lagunas de estabilización, denotándose un descenso lento en cuanto a la biodegradabilidad de la materia orgánica.

#### 4.1.2. Demanda química de oxígeno

Tabla 19 Resultados emitidos del laboratorio de los seis muestreos para DQO

Muestreo	PUNTOS DE MUESTREO			
	LF <sub>0</sub>	LF <sub>1</sub>	LF <sub>2</sub>	LF <sub>3</sub>
1	307.2	176.9	483.3	383.4
2	273.5	183.6	333.5	336.8
3	207.3	150.3	266.8	370.1
4	230.2	153.6	336.8	440
5	656	260.9	361.4	291.1
6	334.6	281	344.6	344.6
Promedio	334.8	201.05	354.4	361

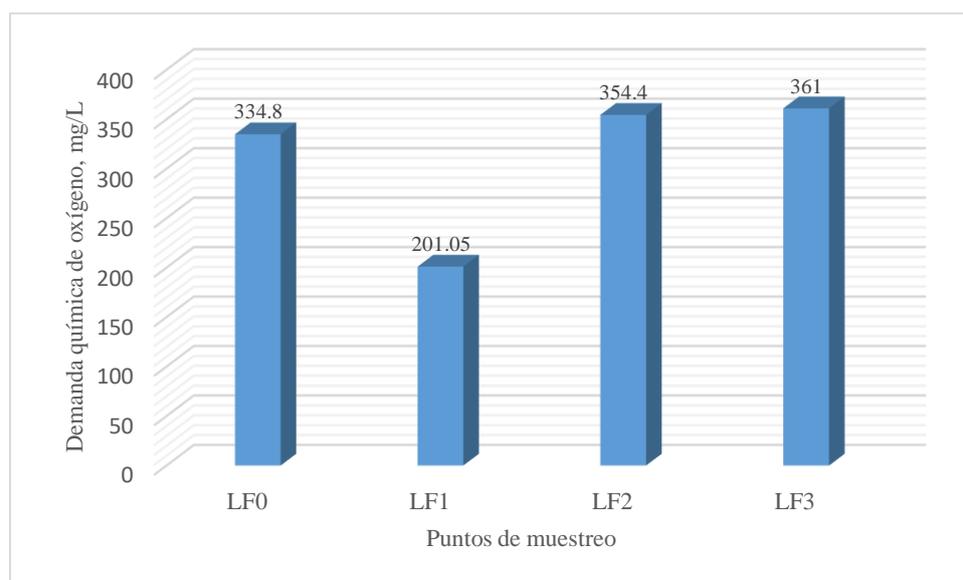


Figura 7 Demanda química de oxígeno en promedio

La tabla 19 muestra la concentración de la DQO con la que el agua residual ingresa del RAFA, teniendo una variabilidad entre el afluente (LF<sub>0</sub>) y los efluentes (LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub>), los dos últimos muestreos se realizaron a fines de junio por ende inicios de época seca sin presencia de lluvias donde nos muestra una biodegradabilidad paulatina, mientras que los primeros cuatro muestreos se realizaron el mes de marzo en época de lluvia, esto significo la variabilidad de los resultados así como lo muestra la figura que solo disminuyó en LF<sub>1</sub>. Según Villanueva et al (2017), en su tesis sobre eficiencia de remoción de materia orgánica muestra una eficiencia menor a 26% en DQO, esto debido a la presencia de algas en las lagunas facultativas, poco tiempo de retención hidráulica ya que la eliminación de materia orgánica es más lenta que la oxidación y casi nula en biodegradabilidad.

Tabla 20 Análisis de varianza (ANOVA) para el DQO

<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Cuadrado medio</b>	<b>F calculado</b>	<b>P - valor</b>
Tratamiento	3	102155	34052	3.62	0.031
Error	20	188322	9416		
Total	23	290477			

$$CV = 31.02 \%$$

En la tabla 20 se observa los resultados del análisis de varianza para la DQO, en los cuales se observa que existe significación estadística en función al tiempo de retención hidráulica, dado que el valor de significación (p-valor: 0.031) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de la DQO en los diferentes reactores se deben a la influencia del tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención ejerce efecto significativo para la DQO.

El coeficiente de variación es 31.02 %, este valor indica la variabilidad de la DQO dentro de los reactores.

Tabla 21 Prueba de significación de Tukey al 5 % para DQO obtenido según el tiempo de retención hidráulica

<b>Puntos de monitoreo</b>	<b>TRH días</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>Agrupación por Tukey</b>
LF <sub>0</sub>	0	334.8	A
LF <sub>1</sub>	5	201	B
LF <sub>2</sub>	6	354.4	A
LF <sub>3</sub>	7	361	A

En la tabla 21 se muestra los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para la DQO obtenido según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que el resultado obtenido en promedio en LF<sub>0</sub> fue de 334.8 mg/L; en LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> de 201, 354.4 y 361 mg/L, en promedio respectivamente, por ende, los efluentes de LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> muestran valores elevados de DQO, incluso mayores a los obtenidos en el afluente, debido al exceso presencia de algas, causando interferencia en los ensayos; y en relación DBO<sub>5</sub>/DQO, resultaron ser no biodegradables.

## 4.2. PARÁMETROS DE CAMPO

### 4.2.1. Oxígeno disuelto

Tabla 22 Análisis de varianza (ANOVA) para el oxígeno disuelto (OD)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	3	2713.9	904.623	291.18	0.000
Error	104	323.1	3.107		
Total	107	3037			

$$CV = 20.79 \%$$

En la tabla 22 se observa los resultados del análisis de varianza para el oxígeno disuelto, en los cuales se observa que existe significación estadística para el tiempo de retención hidráulica, dado que el valor de significación (p-valor: 0.000) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias del oxígeno en los diferentes reactores se deben a la influencia el tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención ejerce efecto significativo en el oxígeno disuelto.

El coeficiente de variación (CV) es 20.79 %, este valor indica la variabilidad del oxígeno disuelto dentro de los reactores.

Tabla 23 Prueba de significación de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto obtenido según el tiempo de retención hidráulica

Puntos de monitoreo	TRH	OD (mg/L)	Agrupación por Tukey
LF <sub>0</sub>	0	0	C
LF <sub>1</sub>	5	12.42	A
LF <sub>2</sub>	6	11.91	A
LF <sub>3</sub>	7	9.61	B

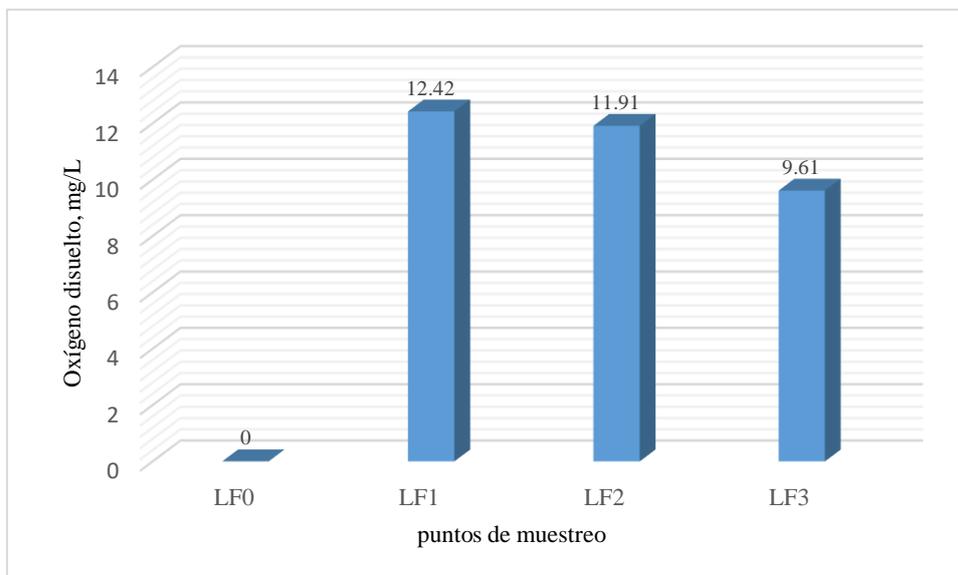


Figura 8 Oxígeno disuelto en promedio.

En la Tabla 23 y figura 8 se muestra los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto obtenido según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que los resultados obtenidos en promedio en LF0 cuyo resultado es 0 mg/L y en LF1, LF2 y LF3 muestran un incremento progresivo hasta un valor promedio de 12.42, 11.91 y 9.61 mg/L, respectivamente. Según estos resultados se evidencia que el tiempo de retención hidráulica presenta relación inversamente proporcional con el oxígeno disuelto, es decir que a medida que el tiempo aumenta el oxígeno disuelto disminuyó. Según (García 2020), existe eutrofización en concentraciones altas de oxígeno por los nutrientes limitantes, la cantidad de clorofila a la saturación de oxígeno y la transparencia presente en el sistema. Para Castillo (2017), el aumento de oxígeno en su evaluación realizada en la PTAR de la ciudad de Celendín se da por la presencia de plantas acuáticas en su tratamiento.

#### 4.2.2. Conductividad eléctrica

Tabla 24 Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE)

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	3	971998	323999	62.02	0.0001
Error	104	543286	5224		
Total	107	1515284			

$$CV = 8.61 \%$$

En la Tabla 24 se observa los resultados del análisis de varianza para la conductividad eléctrica, en los cuales se observa que existe significación estadística para el tiempo de retención hidráulica, dado que el valor de significación (p-valor: 0.0001) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias en la conductividad eléctrica obtenidas en los diferentes reactores se deben a la influencia el tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención ejerce efecto significativo en la CE.

El coeficiente de variación (CV) es 8.61 %, este valor indica la variabilidad de la conductividad eléctrica dentro de los reactores.

Tabla 25 Prueba de significación de Tukey al 5 % para la conductividad eléctrica obtenido según el tiempo de retención hidráulica

Punto de muestreo	TRH	CE ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	Agrupación por Tukey
LF <sub>0</sub>	0	968.9	A
LF <sub>1</sub>	5	885.1	B
LF <sub>2</sub>	6	779.6	C
LF <sub>3</sub>	7	723	D

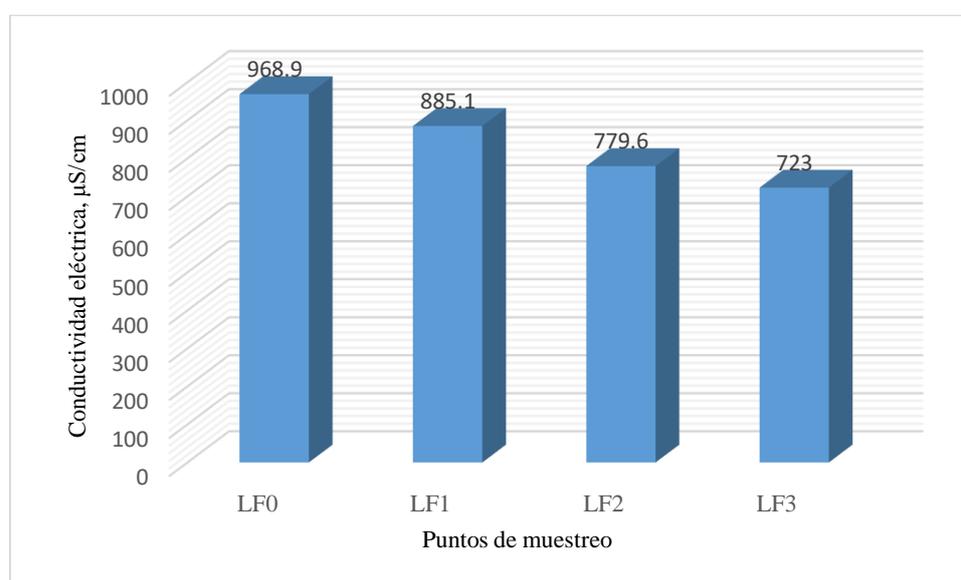


Figura 9 Conductividad eléctrica en promedio

En la tabla 25 y figura 9 se muestra los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para la CE obtenido según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que en LF<sub>0</sub> la conductividad fue 968.9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  siendo este resultado significativamente mayor y

diferente a los demás. En LF1 la conductividad fue 885.1  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , en LF2 y LF3 fue de 779.6 y 723  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente, siendo estos valores los menores. Además, a medida que se aumenta el tiempo de retención hidráulica, la conductividad eléctrica disminuyó. Mamani (2017), realizó el análisis de conductividad eléctrica en la laguna de estabilización con similares características la cual también va disminuyendo los valores por el tiempo de retención.

### 4.2.3. Temperatura

Tabla 26 Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	3	1.257	0.4191	0.13	0.942
Error	104	337.073	3.2411		
Total	107	338.331			

$$\text{CV} = 9.53 \%$$

En la tabla 26 se observa los resultados del análisis de varianza para la temperatura, en los cuales se observa que no existe significación estadística para el tiempo de retención hidráulica, dado que valor de significación (p-valor: 0.942) para esta fuente de variación es mayor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de las temperaturas obtenidas en los diferentes reactores no se deben a la influencia el tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención no ejerce efecto significativo en las temperaturas.

El coeficiente de variación (CV) es 9.53 %, este valor indica la variabilidad de la temperatura dentro de los reactores, debido a la influencia de distintos factores.

Tabla 27 Prueba de significación de Tukey al 5 % para la temperatura obtenido según el tiempo de retención hidráulica

Puntos de monitoreo	TRH	T ( $^{\circ}\text{C}$ )	Agrupación por Tukey
LF <sub>0</sub>	0	19.1	A
LF <sub>1</sub>	5	18.8	B
LF <sub>2</sub>	6	18.8	C
LF <sub>3</sub>	7	18.9	D

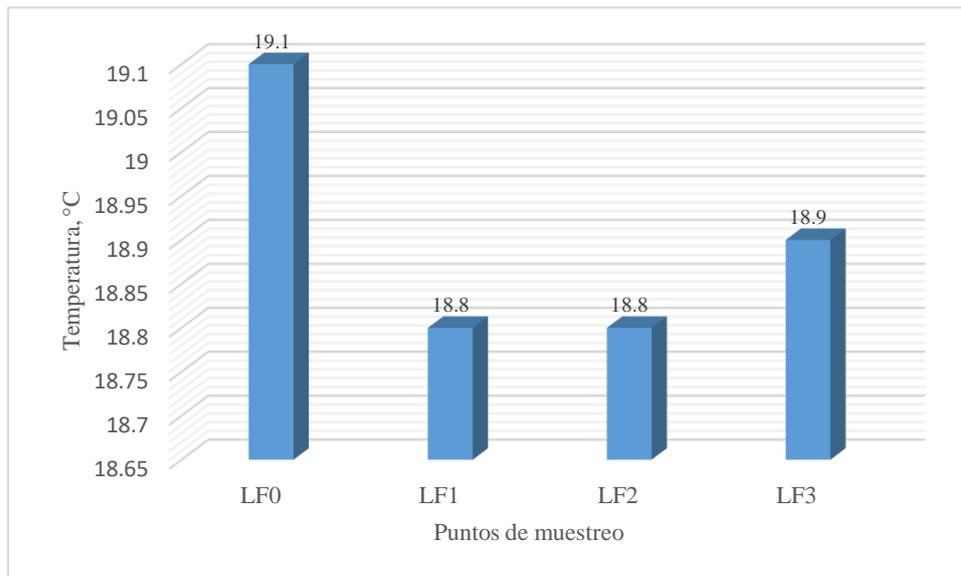


Figura 10 Temperaturas en promedio

En la tabla 27 y figura 10 se muestra los resultados de la temperatura obtenidos según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que en LF0 llegó a 19.1 °C y en LF1, LF2 y LF3 las temperaturas fueron 18.8, 18.8 y 18.9 °C, respectivamente, encontrándose un comportamiento normal de las aguas residuales, teniendo una temperatura similar a los análisis realizados en temperatura por (García 2019).

#### 4.2.4. pH

Tabla 28 Análisis de varianza (ANOVA) para el Ph

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	3	113.39	37.7973	119.93	0.000
Error	104	32.78	0.3152		
Total	107	146.17			

$$CV = 6.31 \%$$

En la tabla 28 se observa los resultados del análisis de varianza para el pH, en los cuales se observa que existe significación estadística para el tiempo de retención hidráulica, dado que el valor de significación (p-valor: 0.000) para esta fuente de variación es menor al 0.05 (5 %). Esto indica que las diferencias de los pH obtenidos en los diferentes reactores se deben a la influencia del tiempo de retención hidráulica, es decir, que el tiempo de retención ejerce efecto significativo en el pH de los reactores.

El coeficiente de variación es 6.31 %, este valor indica la variabilidad del pH dentro de los reactores.

Tabla 29 Prueba de significación de Tukey al 5 % para el pH obtenidos según el tiempo de retención hidráulica

Puntos de monitoreo	TRH	pH	Agrupación por Tukey
LF <sub>0</sub>	0	7.2959	D
LF <sub>1</sub>	5	8.783	C
LF <sub>2</sub>	6	9.53	B
LF <sub>3</sub>	7	10.00	A

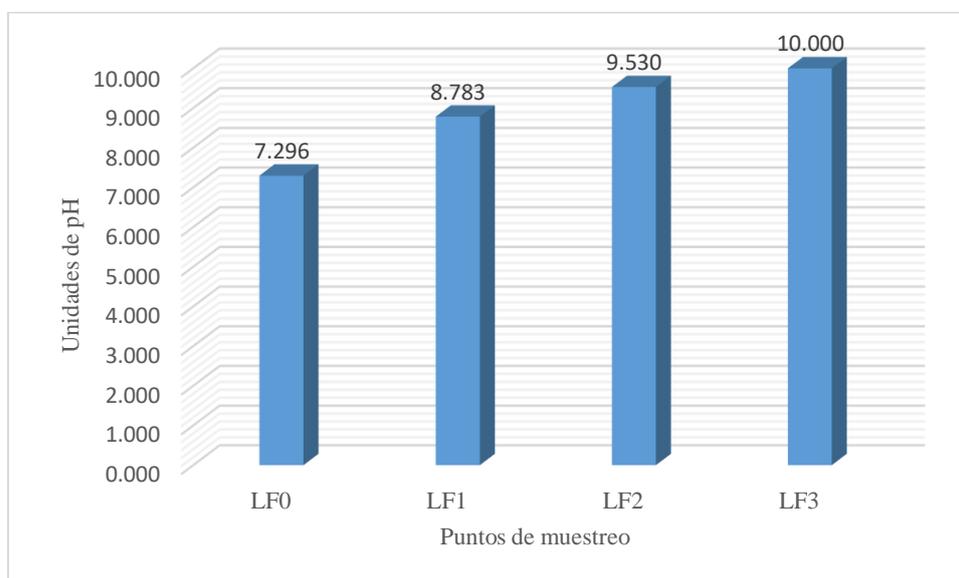


Figura 11 pH en promedio

En la tabla 29 y figura 11 se muestra los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para el pH obtenido según el tiempo de retención hidráulica, en los cuales se observa que el promedio en LF<sub>0</sub> es de 7.29, mientras que en LF<sub>1</sub>, LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> el promedio varía entre 8.87 y 10. Según estos resultados se evidencia que el pH presenta una tendencia creciente con respecto al tiempo de retención hidráulica, es decir, que a medida que el tiempo aumente el pH también aumenta volviéndose más alcalino, aumentando también la presencia de algas, ya que esto es un factor importante para la eliminación de materia orgánica. Según CONAGUA (2007), el pH alto genera la muerte de bacterias y crecimiento de algas de compuestos tóxicos extracelulares y agotamiento de nutrientes.

### 4.3. EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA DBO<sub>5</sub> Y LA DQO.

#### 4.3.1. Eficiencia de remoción de la demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 30 Eficiencia de remoción de DBO<sub>5</sub>

Puntos de muestreo	Concentración promedio, mg/L		Porcentaje de remoción
	Afluente	Efluente	
LF <sub>1</sub>		74.25	47.42%
LF <sub>2</sub>	141.22	52.15	63.07%
LF <sub>3</sub>		51.62	63.45%

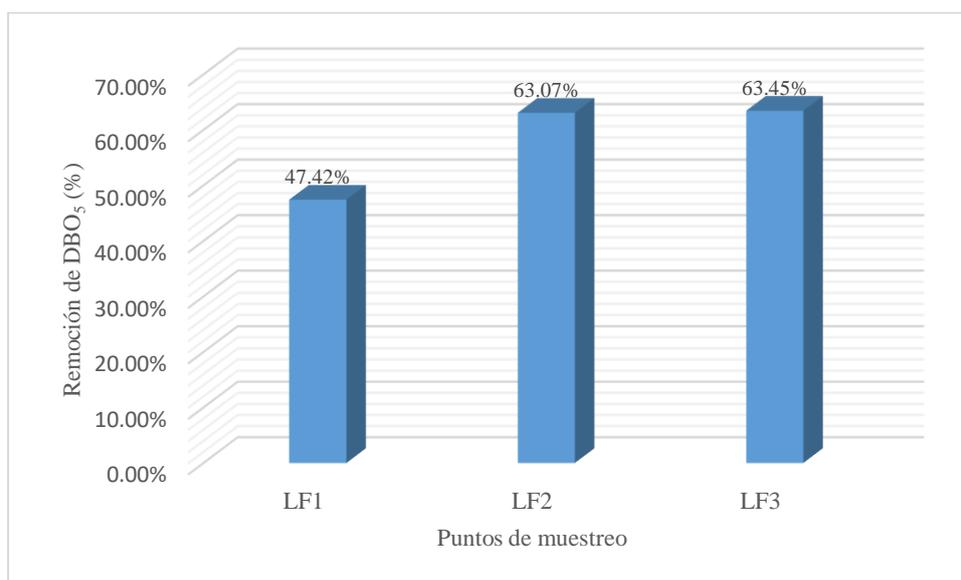


Figura 12 Eficiencia de la demanda bioquímica de oxígeno

La eficiencia de remoción muestra ser las más eficientes LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> con una eficiencia de 63.45 y 63.07% respectivamente, mientras que LF<sub>1</sub> alcanzó 47.42% de porcentaje de remoción, no hay una amplia variación porque los tiempos de retención hidráulica y caudales también tienen mínimas diferencias, por ende, en el porcentaje de remoción no hay diferencias significativas. Según Rolim (2000), las lagunas facultativas funcionan a través de la acción de algas y bacterias con la influencia de la luz solar y de la fotosíntesis, la materia orgánica es estabilizada transformándose en materia más estable en forma de celdas de algas y parte de ella transformándose en productos inorgánicos finales que salen con el efluente, la mayor eficiencia en remoción de DBO<sub>5</sub> se obtuvo en LF<sub>3</sub> la cual fue de 63.45 %.

### 4.3.2. Eficiencia de remoción de la demanda química de oxígeno

Tabla 31 Eficiencia de remoción de DQO

Puntos de muestreo	Concentración promedio, mg/L		Porcentaje de remoción
	Afluente	Efluente	
LF <sub>1</sub>		201	39.95 %
LF <sub>2</sub>	334.8	354.4	0 %
LF <sub>3</sub>		361	0 %

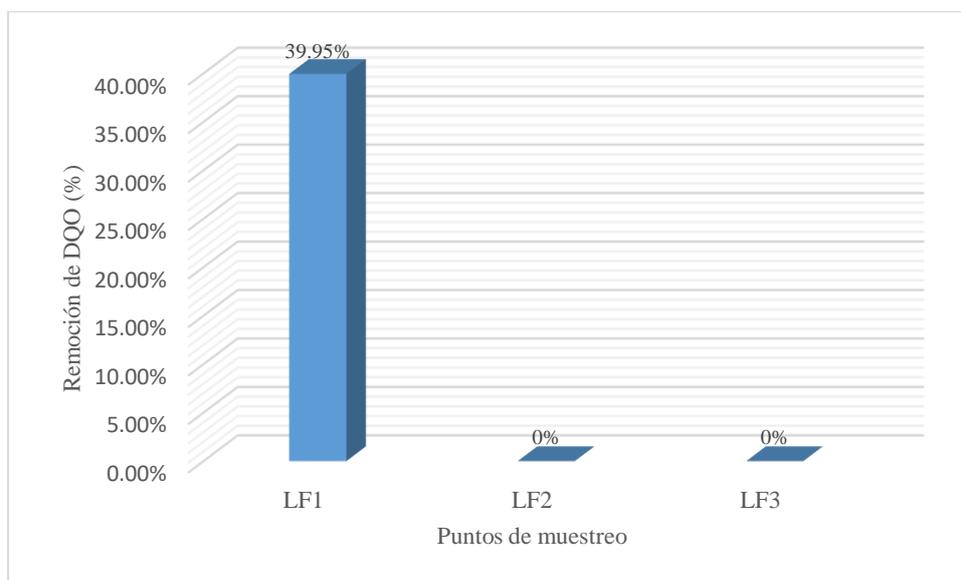


Figura 13 Eficiencia de la demanda química de oxígeno

La eficiencia de remoción de la DQO tiene una variabilidad muy distinta a la DBO<sub>5</sub>, en LF<sub>1</sub> existió eliminación de materia orgánica mínima, mientras que en LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub> aumentó, esto debido a algunos factores como aguas no biodegradables, temperatura y condiciones ambientales como la actividad fotosintética. Para Cuyotupa (2017); Chambe (2016); Mamani (2017); Abarca (2000); Chuquitarqui et al (2017), las lagunas facultativas se convierten en el hábitat de otras formas de vida como son protozoos, hongos, insectos y otros animales y plantas más complejas, algunos pueden dar lugar a problemas de funcionamiento como en la oxidación de materia orgánica. La oxidación que se emplea en la marcha a nivel de laboratorio de la DQO, oxidan absolutamente todos los compuestos, incluyendo a las algas que representa materia orgánica estable, recomendando que la muestra para la DQO debe ser filtrada; aspecto que en la presente investigación no se realizó, esto explica que la remoción de DQO en

el efluente fue mayor que en el afluente (ULPGC, 2018). Se obtuvo una mínima eficiencia en remoción de DQO en LF<sub>1</sub> la cual fue de 39.95 %, a menor tiempo de retención, menor oxidación del nitrógeno (nitrificación), por tanto, menor concentración de algas.

#### 4.4. RELACIÓN ENTRE DBO<sub>5</sub>/DQO

Tabla 32 Relación entre DBO<sub>5</sub>/DQO

Punto de muestreo	DBO <sub>5</sub> /DQO	Calificación de biodegradabilidad	Escala Biodegradabilidad citada (*)	
LF <sub>0</sub>	0.4	Poco biodegradables	> 0.8	Muy biodegradable
LF <sub>1</sub>	0.37	Poco biodegradables	0.7 - 0.8	Biodegradable
LF <sub>2</sub>	0.15	No biodegradable	0.3 - 0.7	Poco biodegradables
LF <sub>3</sub>	0.14	No biodegradable	<0.3	No biodegradable

(\*) Fuente. (Ardila et al. 2012)

La relación entre la DBO<sub>5</sub> y DQO de los efluentes de las lagunas facultativas en el estudio nos muestra que las aguas son poco biodegradables para LF<sub>0</sub> y LF<sub>1</sub>, y no biodegradables para LF<sub>2</sub> y LF<sub>3</sub>, con lo que podemos aseverar que la materia orgánica biodegradable ha sido removida casi en su totalidad como lo indican los ensayos resultantes de DBO<sub>5</sub>, y la elevada concentración DQO se debe al exceso de algas en los efluentes, que son oxidadas por la solución de dicromato de potasio compuesto altamente oxidante utilizado en la marcha del ensayo, modificando los valores de la concentración de este parámetro.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. CONCLUSIONES

- Las lagunas facultativas con 7 y 6 días de tiempo de retención hidráulica resultaron ser las más eficientes en relación a la remoción de materia orgánica expresada como DBO<sub>5</sub>, con una eficiencia del 63.45 y 63.07% respectivamente, sin diferencia significativa; en comparación a la laguna facultativa con 5 días de retención hidráulica que alcanzó 47.42% de porcentaje de remoción.
- Los efluentes de las lagunas facultativas con 7 y 6 días de retención hidráulica, muestran valores elevados de DQO, incluso mayores a los obtenidos en el afluente, debido al exceso de fotosíntesis (presencia de algas), causando interferencia en el ensayo; y a través de la relación DBO<sub>5</sub>/DQO, resultaron ser no biodegradables; indicando que el proceso de remoción de materia orgánica biodegradable está concluido.
- En los análisis fisicoquímicos evaluados tenemos un aumento en oxígeno disuelto en los 5, 6 y 7 días de retención hidráulica, mostrando que existió eutrofización por la elevada concentración de oxígeno; en conductividad eléctrica se observó una disminución de hasta 723  $\mu\text{S}/\text{cm}$  en 7 días de retención hidráulica; en cuanto a la temperatura está en un promedio de 18.93 °C no habiendo una variación evidenciada; y en pH obtuvimos un aumento de hasta 10.00 en 7 días de retención hidráulica, volviéndose más alcalino perjudicando la eliminación de la materia orgánica.

## **5.2. RECOMENDACIÓN**

Es necesario e importante realizar estudios en el reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA), debido a que, no se conoce las eficiencias de tratamiento que representa en la PTAR Celendín; también es recomendable seguir analizando el efluente del sistema de lagunas facultativas utilizando la tecnología de lagunas de maduración u otras para completar el tratamiento y remover el exceso de algas y nutrientes.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abarca, J. 2000. Evaluación fisicoquímica y microbiológica del sistema de lagunas facultativas para el tratamiento de las aguas residuales de la ciudad de Liberia, Guanacaste (en línea). Tesis Bach. Ing. En Biotecnología. Cartago, Costa Rica, TEC. Consultado 03 sep. 2020. Disponible en <https://core.ac.uk/download/pdf/60993237.pdf>
- ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2016. Manual de buenas prácticas para el uso seguro y productivo de las aguas residuales domésticas (en línea). Lima, Perú. Consultado 05 ago. 2020. Disponible en <http://repositorio.ana.gob.pe/bitstream/handle/ANA/207/ANA0000023.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ardila, A; Reyes, J; Arriola, E; Hernández, J. 2012. Remoción Fotocatalítica de DQO, DBO<sub>5</sub> y COT de efluentes de la Industria Farmacéutica. Revista politécnica (en línea, artículo). Medellín, Colombia. Consultado 05 mar. 2021. Disponible en [file:///D:/UNC/TESIS/LITERATURA%20CONSULTADA\\_PY/REMOCION%20FOTOCATALITICA%20DE%20DQO,%20DBO%20Y%20COT.pdf](file:///D:/UNC/TESIS/LITERATURA%20CONSULTADA_PY/REMOCION%20FOTOCATALITICA%20DE%20DQO,%20DBO%20Y%20COT.pdf)
- Bastar, S. 2012. Metodología de la investigación (en línea). Estado de México, México. Consultado 17 nov. 2020. Disponible en [http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/Axiologicas/Metodologia\\_de\\_la\\_investigacion.pdf](http://www.aliat.org.mx/BibliotecasDigitales/Axiologicas/Metodologia_de_la_investigacion.pdf)
- Fibras y Normas de Colombia S.A.S. Ingeniería en agua. 2004. Lagunas de oxidación y los factores que las afectan (en línea, blog). Santander, Colombia. Consultado 19 oct. 2020. Disponible en <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/lagunas-de-oxidacion-y-los-factores-que-las-afectan/#Profundidad>
- Cabrera, A; Ortiz, E. 2005. Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas para la parroquia San Pablo de Lago. Tesis Ing. En Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Ibarra, Ecuador, PUCE.
- Calzada, F; Martínez, J. 2012. Diseño de un sistema industrial de enfriamiento con agua de refrigeración para un complejo industrial en lima, Perú. Tesis. Ing. Técnico Mecánico. Madrid, España, UPIC.

- Castillo, 2017. Eficiencia de *lemna sp* y *eichhornia crassipes*, en la remoción de nutrientes del efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales en Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, UNC.
- CENTA (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua, España). 2008. Manual de depuración de aguas residuales (En línea). Sevilla, España. Consultado 07 ago. 2020. Disponible en <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- CEPIS (Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente, Perú). 2002. Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de agua: Manual de capacitación para operadores. Lima, Perú.
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). 2007. Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento: Diseño de Lagunas de Estabilización (en línea). Tlalpan, México. Consultado 07 jul. 2020. Disponible en <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DisenoDeLagunasDeEstabilizacion.pdf>
- CONAGUA (Comisión Nacional del Agua, México). 2015. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento: Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Lagunas de Estabilización (en línea). Tlalpan, México. Consultado 07 jul. 2020. Disponible en <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro27.pdf>
- Coronel, O. 2018. Manual de procedimientos para preparación y presentación de trabajos científicos Asunción, Paraguay, UNC - F.C.P.
- Correa, G; Cuervo, H; Mejía, R; Aguirre, N. 2012. Monitoreo del sistema de lagunas de estabilización del municipio de Santa Fe de Antioquia, (en línea, artículo) Colombia. Consultado 19 ago. 2020. Disponible en <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a04.pdf>
- Cuyotupa, C. 2017. Diseño y construcción de un reactor biológico aerobio para la remoción de la carga orgánica a escala de laboratorio de las aguas residuales domésticas del distrito de San Agustín de Cajas- Huancayo. Tesis Ing. Químico ambiental. Huancayo, Perú, UNCP.
- Chambe, Y. 2016. Eficiencia de depuración del agua residual por microalgas en las plantas de tratamiento Copare y Magollo en la provincia de Tacna. Tesis. BIÓLOGO – MICROBIÓLOGO. Tacna, Perú, UNJBG.

- Chuquitarqui, Y; Velásquez, M. 2017. Diseño y construcción de un reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) para el tratamiento de aguas residuales urbanas de la ciudad de Puno. Tesis Ing. Químico. Puno, Perú, UNAP.
- García, M. 2020. Eutrofización (en línea). Universidad autónoma de Coahuila. México. Consultado 23 nov. 2020. Disponible en <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
- García, J. 2019. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variación de oxígeno disuelto, temperatura, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, UNC.
- García, Z. 2012. Comparación y evaluación de tres plantas acuáticas para determinar la eficiencia de remoción de nutrientes en el tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis Ing. Sanitario. Lima, Perú, UNI.
- Gil, M. 2005. Proceso de descontaminación de aguas: Cálculos avanzados informatizados. Paraninfo, S.A. España.
- Hernández, C; Baptista, P. 2014. Metodología de la investigación (en línea). 6 ed. Editorial McGraw-Hill. México. Consultado 07 jul. 2019. Disponible en <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Huertas, R; Marcos, C; Iburguren, N; Ordás, S. 2012. Guía práctica para la depuración de aguas residuales en pequeñas poblaciones (en línea). Valladolid, España. Consultado 10 ago. 2020. Disponible en <http://idiaqua.eu/web/wp-content/uploads/2018/07/guiapractica-depuracionaguas-chd.pdf>
- INEI (Instituto Nacional de Estadística e Informática, Perú). 2017. Censos Nacionales 2017: XII de Población, VII de Vivienda y III de Comunidades Indígenas. Resultados Definitivos de los Censos Nacionales 2017 (en línea). Perú. Consultado 01 de dic. 2020. Disponible en <http://censo2017.inei.gob.pe/resultados-definitivos-de-los-censos-nacionales-2017/>
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México) 2007. Dimensionamiento de lagunas de estabilización (en línea). México. Consultado 20 de jul. 2020. Disponible en [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf)

- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México). 2017. Dimensionamiento de lagunas de estabilización (en línea). México. Consultado 29 de jul. 2020. Disponible en [https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros\\_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf](https://www.imta.gob.mx/biblioteca/libros_html/dimensiones-lagunas/files/assets/common/downloads/publication.pdf)
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua, México); CNA (Comisión Nacional del Agua, México); TACSA (Técnica Agrícola, México) 1994. Manual de operación y mantenimiento de sistemas 149 lagunares, Centro de Capacitación IMTA, Eutepec, Morelos, México.
- ITC (Instituto Tecnológico de canarias, España). 2006. Guía sobre tratamientos de aguas residuales urbanas para pequeños núcleos de población: Mejora de la calidad de los afluentes (en línea). España. Consultado 21 de jul. 2020. Disponible en <https://www.cienciacanaria.es/files/Guia-sobre-tratamientos-de-aguas-residuales-urbanas-para-pequenos-nucleos-de-poblacion.pdf>
- Lecca, E. 2013 Tratado del agua y la legislación peruana. Lima, Perú: Industrial Data Vol. 16, N.º 2, Julio-diciembre, pág. 106-117.
- Lecca, E; Ruiz, E. 2014. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno. Lima, Perú. (en línea). Revista de la Facultad de Ingeniería Industrial vol. 17. N.º. 1. enero-junio, pag.71-80. Consultado 09 jul. 2020. Disponible en <https://www.redalyc.org/pdf/816/81640855010.pdf>
- Mamani, Y. 2017. Evaluación de la operatividad y rediseño de la laguna de estabilización del distrito de Ilave, provincia de el Collao. Tesis Ing. Civil. Puno, Perú. UNAP.
- Martínez, M. 2016. Eficiencia en la retención de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú. UNC.
- MC Graw Hill. 2000. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. MC Graw Hill Interamericana S.A. Colombia.
- Menéndez, C; Díaz, M. 2006. Lagunas diseño, operación y control. Cuba. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría.
- Mercado, A. 2013. Lagunas de estabilización (en línea). RALCEA: Eje Calidad de Agua y Saneamiento. Santa Cruz, Bolivia. Consultado 14 ago. 2020. Disponible en [https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas\\_de\\_estabilizacion\\_0.pdf](https://aquaknow.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/3.lagunas_de_estabilizacion_0.pdf)

- Metcalf y Eddy. 1995. Ingeniería de aguas residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. 3 ed. Trillo, JD (trad.). Madrid, España, McGraw HILL/INTERAMERICANA DE ESPAÑA, S.A.
- Mijares, G. 1978. Tratamiento de aguas residuales (en línea). Caracas, Venezuela. Consultado 02 sep. 2020. Disponible en [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- MMAyA (Ministerio de Medio Ambiente y Agua, Bolivia). 2009. Guía Técnica de Diseño y Ejecución de Proyectos de Agua y Saneamiento con Tecnologías Alternativas (en línea). Bolivia. Consultado 10 ago. 2019. Disponible en <http://saludpublica.bvsp.org.bo/textocompleto/bvsp/boxp68/guia-tecnica-agua.pdf>
- Muñico, E. 1997. Evaluación, optimización y mejoramiento del sistema operativo de las lagunas de estabilización de Ciudad de Dios – San José en el departamento de Lambayeque. Tesis Ing. Sanitario. Lima, Perú, UNI.
- Norma. OS. 090. Plantas de tratamiento de aguas residuales. 2009 (en línea). Decreto supremo N° 022- 2009- Vivienda, Perú. Consultado 20 nov. 2020. Disponible en [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/O.S.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/O.S.090.pdf)
- OEFA (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, Perú). 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales (en línea). Lima, Perú. Consultado 02 oct. 2020. Disponible en [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb\\_dl=7827](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827).
- Quispe, F. 2019. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la reducción de la demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno en Celendín – Cajamarca (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Perú, UNC. Consultado 30 dic. 2020. Disponible en <http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3461/TESIS%20-%20Franklin%20Quispe%20Cotrina.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Quispe, J. 2013. Propuesta metodológica para la evaluación de los sistemas de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilización – Azángaro. Tesis Ing. Agrícola. Puno, Perú. UNAP.
- Ramallo, R. 2003. Tratamiento de Aguas Residuales (en línea). Barcelona, España. Consultado 29 jun. 2020. Disponible en <https://es.slideshare.net/IngAmbientalMX/tratamiento-de-aguas-residuales-rs-ramallo>

- Reutelshofer, T. 2015. Guía de Operación y Mantenimiento de Lagunas de Oxidación en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. Primera edición (en línea). La Paz, Bolivia. Consultado 01 dic. 2020. Disponible en [https://www.bivica.org/files/5376\\_aguas-residuales-muestra.pdf](https://www.bivica.org/files/5376_aguas-residuales-muestra.pdf)
- Romana, J. 2012. Estadística experimental. Herramientas para investigación. Primera edición. Fondo editorial. Tacna, Perú, UPT.
- Rolim, M. 2000. Sistemas de lagunas de estabilización: Cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de riego. Bogotá, Colombia.
- Ruiz, C; Oviedo, C. 2013. El viento – factor importante en el tratamiento de aguas residuales mediante lagunas de estabilización (en línea). Tesis Ing. Sanitario. Lima, Perú, UNI. Consultado 21 ago. 2019. Disponible en [file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/ruiz\\_bc%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ADMIN/Downloads/ruiz_bc%20(2).pdf)
- Peña, D. 2018. Efectos de la contaminación de aguas residuales del lago de morona cocha en la salud de la población ribereña – Iquitos - 2018. Tesis Ing. En gestión ambiental. Loreto, Perú. UNAP.
- SUNASS (Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento, Perú). 2015. Diagnóstico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ámbito de operación de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento (en línea). Lima, Perú. Consultado 28 may. 2020. Disponible en <https://www.sunass.gob.pe/doc/Publicaciones/ptar.pdf>
- Satalaya, V. 2015. Evaluación de la eficiencia del tratamiento de aguas residuales domésticas en las lagunas de estabilización de la ciudad de Uchiza (en línea). Tesis Ing. En Recursos Naturales Renovables. San Martín, Perú. UNAS. Consultado 20 sep. 2020. Disponible en <http://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1042/CSA2015003.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Stewart, M. 2005. Lagunas de estabilización en Honduras: Manual de Diseño, Construcción, Operación y Mantenimiento, Monitoreo y Sostenibilidad (en línea). California, Estados Unidos. Consultado 21 ago. 2020. Disponible en <http://cidbimena.desastres.hn/docum/Honduras/laguna-de-estabilizacion-en-honduras.pdf>
- Tilley, E; Ulrich, L; Lüthi, C; Reymond, P; Schertenleib, R; Zurbrugg, C. 2018. Compendio de sistemas y tecnologías de saneamiento. Segunda edición en español. Suiza. Instituto Federal Suizo para la Ciencia y la Tecnología Acuática.

- ULPGC (Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, España). 2018. Manual de prácticas de análisis de agua (en línea). Las Palmas de Gran Canaria, España. Consultado 05 abr. 2020. Disponible en <https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/30/30290/manualdepracticasdelaoratorio.pdf>
- Vengas, C; Reyes, V. 2017. Carga superficial máxima en lagunas de estabilización facultativas de Nicaragua. Universidad Nacional de Ingeniería. Programa de Investigación, Estudios Nacionales y Servicios Ambientales (PIENSA-UNI). Vol. 30, No. 01. Managua, Nicaragua.
- Vidaurre, L. 2018. Eficiencia de la retención de coliformes totales, termotolerantes, demanda bioquímica y química de oxígeno en la laguna de estabilización del distrito la florida, San Miguel, Cajamarca. noviembre – diciembre de 2013. Tesis para obtener el Grado de Maestro en Ciencias con mención en Ingeniería Ambiental. Lambayeque, Perú. UNPRG.
- Villanueva, L; Yance, J. 2017. Mejoramiento de la eficiencia de remoción de materia orgánica y coliformes termotolerantes en la PTAR del distrito de Huáchac-Chupaca. Tesis Ing. Químico ambiental. Junín, Perú, UNCP.
- Zabaleta, E. 2016. Evaluación del porcentaje de retención de materia orgánica en función a las características fisicoquímicas del río grande distrito Celendín. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, UNC.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

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

ANEXO 2. Cálculos de los resultados.

ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema.

ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema.

ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua.

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

**Presentación de la información**

La metodología del trabajo de investigación es de tipo experimental porque se administra un estímulo o tratamiento (variación del tiempo de retención hidráulica) y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es el nivel de grupo en estas variables (constituyentes orgánicos).

**Metodología de la investigación.**

**Modelo estadístico del DCA**

El modelo aditivo lineal de este diseño es:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

$$i = 1, 2, \dots, t;$$

t = número de tratamientos

$$j = 1, 2, \dots, r;$$

r = número de repeticiones por tratamiento

Donde:

$\mu$  = es el efecto medio

$\tau_i$  = es el efecto de i – ésimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

Esquema del DCA para igual número de muestras por tratamiento

Repeticiones	Tratamientos				Gran total
	1	2	...	t	
<b>1</b>	$Y_{11}$	$Y_{21}$	...	$Y_{t1}$	
<b>2</b>	$Y_{12}$	$Y_{22}$	...	$Y_{t2}$	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
.	.	.	.	.	
<b>r</b>	$Y_{1r}$	$Y_{2r}$	...	$Y_{tr}$	
<b>Total tratamiento</b>	$Y_1$	$Y_2$	...	$Y_t$	Y ..
<b>Media</b>	$\bar{Y}_1$	$\bar{Y}_2$	...	$\bar{Y}_t$	$\bar{Y}..$
<b>Tamaño de muestra</b>	n	n	...	n	N

Fuente. Romaina, J. 2012.

## Análisis de variancia

Esquema del análisis de varianza DCA

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	F calculado	P - valor
Tratamiento	t - 1	$\frac{\sum y_1^2}{r} - TC$	$\frac{SCt}{t - 1}$	$\frac{CMt}{CME}$	*
Error	t(r - 1)	SCT - SCt	$\frac{SCE}{t(r - 1)}$		**
Total	rt - 1	$\sum y_{ij}^2 - TC$			

\*Diferencia estadística significativa

\*\*Diferencia estadística altamente significativa.

### Dónde:

t = N° de tratamientos

r = N° de repeticiones

SCt = suma de cuadrado de tratamientos

SCT = suma de cuadrados totales

SCE = suma de cuadrado del error

CMt = cuadrado medio del tratamiento

CME = cuadrado medio del error

## Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	UNIDAD DE ANÁLISIS	DE
<p><b>¿Cuál es la eficiencia de retención de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función a un tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín?</b></p>	<p><b>Objetivo principal</b> Determinar la eficiencia de retención de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función a un tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.</p> <p><b>Objetivos específicos</b> Determinar la concentración de demanda bioquímica de oxígeno y demanda química de oxígeno de las lagunas facultativas en función a un tiempo de retención hidráulica. Evaluar los parámetros fisicoquímicos de oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, temperatura, pH y caudal influyentes en las lagunas facultativas.</p>	<p>La eficiencia de retención de demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) es de 60 % a 80 %, demanda química de oxígeno (DQO) es de 55 % a 75 % y el tiempo de retención hidráulica (TRH) es de 5 a 30 días en lagunas facultativas.</p>	<p><b>Variable independiente:</b> Tiempo de retención hidráulica.</p> <p><b>Variable dependiente:</b> Eficiencia de retención de constituyentes orgánicos.</p> <p><b>Variable influyente:</b> Características fisicoquímicas del agua residual en el sistema de tratamiento.</p>	<p>Agua residual procedente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín.</p>	

## ANEXO 2. Cálculos de los resultados.

### Resultados de los muestreos para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO

#### Primer muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	126.2	94	49.4	37.7
DQO (mg/L)	307.2	176.9	483.3	383.4

#### Segundo muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO (mg/L)	115.8	81.9	36.7	34.2
DQO (mg/L)	273.5	183.6	333.5	336.8

#### Tercer muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO (mg/L)	102.4	77.5	40.8	49.3
DQO (mg/L)	207.3	150.3	266.8	370.1

#### Cuarto muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO (mg/L)	116.8	79.1	43.6	52.7
DQO (mg/L)	230.2	153.6	336.8	440

#### Quinto muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO (mg/L)	233	58.3	75.9	72.4
DQO (mg/L)	656	260.9	361.4	291.1

### Sexto muestreo para análisis de la DBO<sub>5</sub> y DQO.

PARAMETROS	PUNTOS DE MONITOREO			
	LF0	LF1	LF2	LF3
DBO (mg/L)	153.3	54.7	66.5	63.4
DQO (mg/L)	334.6	281	344.6	344.6

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

#### Promedios de datos para DBO<sub>5</sub>.

$$LF0 = \frac{(126 + 115.8 + 102.4 + 116.8 + 233 + 153.3)}{6}$$

$$LF0 = 141.22$$

El promedio de los resultados para LF0 (afluente) es 141.22 mgO<sub>2</sub>/l.

$$LF1 = \frac{(94 + 81.9 + 77.5 + 79.1 + 58.3 + 54.7)}{6}$$

$$LF1 = 74.25$$

El promedio de los resultados para LF1 (efluente) es 74.25 mgO<sub>2</sub>/l.

$$LF2 = \frac{(49.4 + 36.7 + 40.8 + 43.6 + 75.9 + 66.5)}{6}$$

$$LF2 = 52.15$$

El promedio de los resultados para LF2 (efluente) es 52.15 mgO<sub>2</sub>/l.

$$LF3 = \frac{(37.7 + 34.2 + 49.3 + 52.7 + 72.4 + 63.4)}{6}$$

$$LF3 = 51.62$$

El promedio de los resultados para LF3 (efluente) es 51.62 mgO<sub>2</sub>/l.

#### Promedios de datos para DQO.

$$LF0 = \frac{(307.2 + 273.5 + 207.3 + 230.2 + 656 + 334.6)}{6}$$

$$LF0 = 334.8$$

El promedio de los resultados para LF0 (afluente) es 334.8 mgO<sub>2</sub>/l

$$LF1 = \frac{(176.9 + 183.6 + 150.3 + 153.6 + 260.9 + 281)}{6}$$

$$LF1 = 201.05$$

El promedio de los resultados para LF1 (efluente) es 201.05 mgO<sub>2</sub>/l.

$$LF2 = \frac{(483.3 + 333.5 + 266.8 + 336.8 + 361.4 + 344.6)}{6}$$

$$LF2 = 354.4$$

El promedio de los resultados para LF2 (efluente) es 354.4 mgO<sub>2</sub>/l.

$$LF3 = \frac{(383.4 + 336.8 + 370.1 + 440 + 291.1 + 344.6)}{6}$$

$$LF3 = 361.00$$

El promedio de los resultados para LF3 (efluente) es 361.00 mgO<sub>2</sub>/l.

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

$$\text{Relacion} = \frac{DBO_5}{DQO}$$

#### **En LF0**

$$\text{Relacion} = \frac{141}{334.8} = 0.4$$

#### **En LF1**

$$\text{Relacion} = \frac{74.25}{201} = 0.37$$

#### **En LF2**

$$\text{Relacion} = \frac{52.15}{354.4} = 0.15$$

#### **En LF3**

$$\text{Relacion} = \frac{51.62}{361} = 0.14$$

### **Cálculos de eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos.**

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DBO<sub>5</sub>** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 5 días.

$$N = \frac{141.22 - 74.25}{141.22} * 100$$

$$N = \frac{66.97}{141.22} * 100$$

$$N = 47.42 \%$$

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DBO<sub>5</sub>** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 6 días.

$$N = \frac{141.22 - 52.15}{141.22} * 100$$

$$N = \frac{89.07}{141.22} * 100$$

$$N = 63.07\%$$

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DBO<sub>5</sub>** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 7 días.

$$N = \frac{141.22 - 51.62}{141.22} * 100$$

$$N = \frac{89.60}{141.22} * 100$$

$$N = 63.45$$

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DQO** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 5 días.

$$N = \frac{334.80 - 201.05}{334.80} * 100$$

$$N = \frac{133.75}{141.22} * 100$$

$$N = 39.95\%$$

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DQO** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 6 días.

$$N = \frac{334.80 - 354.4}{334.80} * 100$$

$$N = \frac{-19.60}{141.22} * 100$$

$$N = -5.85\%$$

- **Procesamiento de datos para la eficiencia de la DQO** del efluente de la laguna facultativa en función al tiempo de retención hidráulica en 7 días.

$$N = \frac{334.80 - 361.00}{334.80} * 100$$

$$N = \frac{-26.20}{141.22} * 100$$

$$N = -7.83\%$$

### ANEXO 3. Resultados de parámetros de campo del sistema.

Tabla de muestreos pre prueba

LAGUNAS FACULTATIVAS		PRE_PRUEBA						
		Parametros	CAUDAL	T°	PH	CE	OD	DBO
		Und de medida	L/min	°c	Unidad	µS/cm	mg/L	mg O2/L
<b>PRIMER</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	19	7.36	863	0	112.35
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	18.9	10.47	499	20	35
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	18.8	10.08	443	20	35.7
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	18	9.89	420	20	59.15
<b>SEGUNDO</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	19.3	7.34	671	0	110.2
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	19	9.41	595	20	57.05
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	19	11.21	609	20	89.68
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	19	11.2	598	20	54.25
<b>TERCER</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	19.3	7.33	815	0	150.3
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	19.4	9.89	545	15.02	131.7
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	19.5	10.27	490	13.2	129
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	20	10.82	521	11.23	136.8
<b>CUARTO</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	18.9	7.2	815	0	217
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	18	10.12	495	14.23	104.3
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	19	10.23	487	13.01	86.45
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	19.2	11	512	12.5	66.5
<b>QUINTO</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	18.36	7.26	789		
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	18	8.87	492		
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	19	9.25	512		
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	18.12	10.2	536		
<b>SEXTO</b>	<b>AFLUENTE</b>	LF0	-	19.3	7.36	815		
<b>MUESTREO</b>	<b>TRH=5</b>	LF1	0.013	19.4	9	545		
	<b>TRH=6</b>	LF2	0.018	19.5	9.5	490		
	<b>TRH=7</b>	LF3	0.022	20	9.82	521		

**Tabla de muestreos post prueba**

MUESTREOS		UNIDAD DE MEDIDA						
		Dias	°c	Unidad	µS/cm	mg/L	L/min	
HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>PRIMER MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	17	7.2	1023	0	-
		LF1	5	17.7	7.81	964	15.16	0.022
		LF2	6	16.8	9	715	10.45	0.018
		LF3	7	16.4	9.31	677	9.21	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	18.2	7.34	953	0	-
		LF1	5	18.3	8.08	920	15.55	0.022
		LF2	6	18.4	9.36	677	13.62	0.018
		LF3	7	18.1	9.35	674	8	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	17.7	7.35	952	0	-
		LF1	5	17.1	8.59	842	16.37	0.022
		LF2	6	17	9.21	695	11.77	0.018
		LF3	7	16.8	9.3	688	7.26	0.013
<b>SEGUNDO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	19.4	7.25	989	0	-
		LF1	5	18.9	8.63	789	14.16	0.022
		LF2	6	17.3	9.36	712	12.9	0.018
		LF3	7	16.5	9.48	674	9.2	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	20.5	7.2	1025	0	-
		LF1	5	19	8.49	921	19.55	0.022
		LF2	6	19.2	8.96	827	16.5	0.018
		LF3	7	19.6	9.78	617	8.86	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	16.7	7.34	920	0	-
		LF1	5	16.4	7.96	940	8.48	0.022
		LF2	6	16.4	8.35	876	6.9	0.018
		LF3	7	16.5	8.97	658	6.59	0.013
<b>TERCER MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	16.5	7.38	662	0	-
		LF1	5	16.6	8.67	913	11.31	0.022
		LF2	6	16.4	8.91	809	12.11	0.018
		LF3	7	16.4	8.93	808	9.07	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	19.3	7.4	879	0	-

		LF1	5	18.3	8.07	851	9.81	0.022	
		LF2	6	17.9	8.84	797	9.93	0.018	
		LF3	7	17.9	9.19	641	5.83	0.013	
	07:00 p.m	FL0	0	18.3	7.34	838	0	-	
		LF1	5	17	8.91	800	15.6	0.022	
		LF2	6	17.7	9.2	729	15.33	0.018	
		LF3	7	17.9	9.66	621	13.01	0.013	
	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>CUARTO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	17.9	7.26	1050	0	-	
		LF1	5	18.1	8.35	980	11.7	0.022	
		LF2	6	17.6	9.77	765	10.02	0.018	
			LF3	7	17.8	10.19	747	10.52	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	20.5	7.42	989	0	-	
		LF1	5	21.2	9.12	860	13.01	0.022	
		LF2	6	20.6	9.65	812	11.89	0.018	
			LF3	7	19.8	11.02	752	11.52	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	19.9	7.59	872	0	-	
		LF1	5	18.8	8.76	821	11.61	0.022	
		LF2	6	18	10.02	868	10.89	0.018	
			LF3	7	18.4	9.89	798	10.02	0.013
	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>QUINTO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	18.7	7.24	1008	0	-	
		LF1	5	18.5	9.51	972	12.56	0.022	
		LF2	6	17.9	9.85	859	12.32	0.018	
			LF3	7	17.5	10.21	785	11.02	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	20.1	7.16	987	0	-	
		LF1	5	22.2	9.12	965	13.5	0.022	
		LF2	6	21.5	9.85	816	10.21	0.018	
			LF3	7	21.3	10.2	825	9.25	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	19.8	7.11	975	0	-	
		LF1	5	20.1	9.01	945	12.01	0.022	
		LF2	6	19.5	10.03	710	12.32	0.018	
			LF3	7	19	9.51	803	9.02	0.013
	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>SEXTO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	17.3	7.02	1073	0	-	
		LF1	5	18.2	9.65	733	12.21	0.022	

		LF2	6	18.6	11.23	666	11.32	0.018	
		LF3	7	19	10.71	699	0.95	0.013	
	12:00 p.m	FL0	0	20.1	6.83	1006	0	-	
		LF1	5	20.2	8.71	966	13.56	0.022	
		LF2	6	21	9.23	830	11.56	0.018	
	07:00 p.m	LF3	7	21.1	9.3	788	10.65	0.013	
		FL0	0	18.5	7.36	987	0	-	
		LF1	5	17.6	9.58	852	11.2	0.022	
		LF2	6	16.9	10.2	752	13.56	0.018	
		LF3	7	17.4	11.25	687	12.89	0.013	
	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>SEPTIMO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	19.9	7.14	1052	0	-	
		LF1	5	19	9.12	965	13.25	0.022	
		LF2	6	20.1	9.24	921	11.21	0.018	
			LF3	7	21.6	10.5	812	10.65	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	21.5	7.85	985	0	-	
		LF1	5	20.5	8.59	789	14.01	0.022	
		LF2	6	21	9.52	756	13.65	0.018	
			LF3	7	21.6	9.87	745	10.35	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	20.8	7.65	1112	0	-	
		LF1	5	21.9	8.79	848	11.32	0.022	
		LF2	6	22	9.25	802	9.65	0.018	
			LF3	7	22.5	10.65	725	9.35	0.013
	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL	
<b>OCTAVO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	14.7	7.03	954	0	-	
		LF1	5	15.2	10.1	812	11.32	0.022	
		LF2	6	15.9	10.78	752	10.65	0.018	
			LF3	7	16.3	11.21	699	9.65	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	21.8	7.25	968	0	-	
		LF1	5	20.1	8.95	859	10.12	0.022	
		LF2	6	21.5	9.58	812	10.43	0.018	
			LF3	7	21.8	10.2	752	9.25	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	19.9	7.21	911	0	-	
		LF1	5	20.4	8.12	893	12.65	0.022	
		LF2	6	21.5		748	12.35	0.018	
			LF3	7	21.7	9.8	671	10.65	0.013

	HORA	REACTORES	TRH	T	PH	CE	OD	CAUDAL
<b>NOVENO MUESTREO</b>	07:00 a.m	FL0	0	19.2	7.37	952	0	-
		LF1	5	18.1	9.08	861	12.62	0.022
		LF2	6	19	10.11	699	10.98	0.018
		LF3	7	19.8	10.68	631	9.87	0.013
	12:00 p.m	FL0	0	20.4	7.36	987	0	-
		LF1	5	19.2	8.49	936	10.23	0.022
		LF2	6	20	10.22	789	9.32	0.018
		LF3	7	20.8	10.89	746	8.65	0.013
	07:00 p.m	FL0	0	19.8	7.34	1052	0	-
		LF1	5	18.6	8.89	902	11.61	0.022
		LF2	6	17.9	9.48	854	9.31	0.018
		LF3	7	17.5	10.02	798	9.02	0.013

**ANEXO 4. Panel fotográfico de la construcción, instalación y análisis del sistema.**



Foto 1. Localización, ubicación y construcción del sistema.



Foto 2. Construcción y nivelación de la caseta



Foto 3. Instalación de los reactores.



Foto 4. Instalación de conexiones del sistema.



Foto 5. Sistema terminado.



Foto 6. Pintado del sistema.



Foto 7. Etiquetado del sistema.



Foto 8. Arranque del sistema.

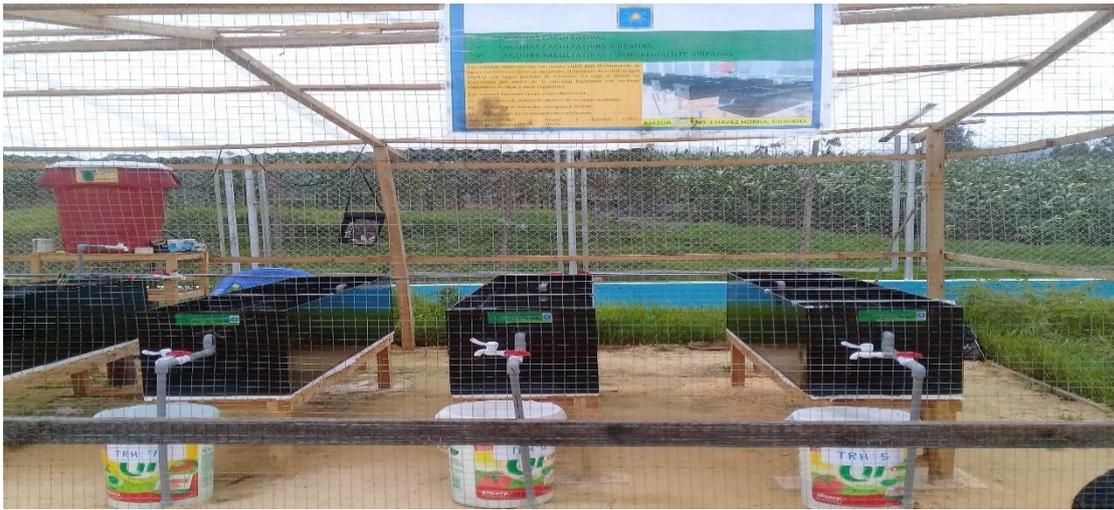


Foto 9. Implementación de baldes para almacenamiento de muestras.



Foto 10. Medición de caudal y recojo de muestras para pre análisis.



Foto 11. Medición de pre análisis.



Foto 12. Medición de los análisis de campo.



Foto 13. Recolección de muestras



Foto 14. Etiquetado de muestras.



Foto 15. Envío de muestras al laboratorio



Foto 16. Recolección y medición de parámetros de campo



Foto 17. Medición de temperatura ambiente.

**ANEXO 5. Resultados de los análisis del laboratorio regional del agua.**



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



**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320137**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre	<b>JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ</b>		
Dirección	-		
Persona de contacto	-	Correo electrónico	<a href="mailto:jsalazarr14@unc.edu.pe">jsalazarr14@unc.edu.pe</a>

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo	<b>03.03.20</b>	Hora de Muestreo	<b>10:00</b>
Responsable de la toma de muestra	<b>Cliente</b>	Plan de muestreo N°	-
Procedimiento de Muestreo	-		
Tipo de Muestreo	<b>Puntual</b>		
Número de puntos de muestreo	<b>04</b>		
Ensayos solicitados	<b>Fisicoquimicos</b>		
Breve descripción del estado de la muestra	Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación		
Referencia de la Muestra:	<b>CELENDÍN</b>		

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato	<b>SC- 082</b>	Cadena de Custodia	<b>CC - 137 - 20</b>	
Fecha y Hora de Recepción	<b>03.03.20</b>	<b>16:45</b>	Inicio de Ensayo	<b>03.03.20 17:00</b>
Reporte Resultado	<b>12.03.20</b>	<b>09:00</b>		

Edder Neyra Jalco  
 Responsable de Laboratorio  
 CIP: 147025

Freddy López León  
 Especialista de Química  
 CIP: 198264

**Cajamarca, 12 de Marzo del 2020.**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320137**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS			
Código de la Muestra	LF 0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-
Código Laboratorio	0320137-01	0320137-02	0320137-03	0320137-04	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	Efluente	Efluente	Efluente	Efluente	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	126.2	94.0	49.4	37.7
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	307.2	176.9	483.3	383.4

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



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

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

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

- ✓ Los resultados indicados en este Informe concierne única y exclusivamente a las muestras recibidas y sometidas a ensayo o realizadas en campo por el Laboratorio Regional del Agua. Cuando la toma de muestra lo realiza el cliente los resultados aplican a las muestras como son recibidas.
- ✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.
- ✓ Las muestras sobre las que se realicen los ensayos se conservaran en Laboratorio Regional del Agua de acuerdo al tiempo de perecibilidad que indica el método de ensayo y por un tiempo máximo de 10 días luego de la emisión de la informe de ensayo, luego serán eliminadas salvo pedido expreso del cliente.
- ✓ Este documento al ser emitido sin el símbolo de acreditación, no se encuentra dentro del marco de la acreditación otorgada por INACAL-DA.

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 12 de Marzo del 2020.

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320151**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico **jsalazarr14@unc.edu.pe**

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **06.03.20** Hora de Muestreo **07:30 a 07:49**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **04**  
Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **CELENDÍN**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC- 082** Cadena de Custodia **CC - 151 - 20**  
Fecha y Hora de Recepción **06.03.20 06:14** Inicio de Ensayo **06.03.20 14:45**  
Reporte Resultado **17.03.20 15:00**



**Edder Neyra Jaico**  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147025



**Freddy López León**  
Especialista de Química  
CIP: 195264

**Cajamarca, 17 de Marzo de 2020.**

**IE 0320151**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS			
Código de la Muestra	LF 0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-
Código Laboratorio	0320151-01	0320151-02	0320151-03	0320151-04	-	-
Matriz	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	PTAR - Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	115.8	81.9	36.7	34.2
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	273.5	183.6	333.5	336.8

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

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

**NOTAS FINALES**

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

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev. N° 01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 17 de Marzo de 2020.

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320159**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico **jsalazarr14@unc.edu.pe**

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **09.03.20** Hora de Muestreo **07:30**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **04**  
Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **CELENDÍN**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC- 082** Cadena de Custodia **CC - 159 - 20**  
Fecha y Hora de Recepción **09.03.20 11:40** Inicio de Ensayo **09.03.20 12:10**  
Reporte Resultado **18.03.20 16:00**



**Edder Neyra Jaico**  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147025



**Freddy López León**  
Especialista de Química  
CIP: 195264

**Cajamarca, 18 de Marzo de 2020.**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320159**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS			
Código de la Muestra	LF 0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-
Código Laboratorio	0320159-01	0320159-02	0320159-03	0320159-04	-	-
Matriz	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	-	-
Descripción	Doméstica	Doméstica	Doméstica	Doméstica	-	-
Localización de la Muestra	AFLUENTE	EFLUENTE 1	EFLUENTE 2	EFLUENTE 3	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	102.4	77.5	40.8	49.3
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	207.3	150.3	266.8	370.1

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

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

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

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

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

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

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

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

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 18 de Marzo de 2020.

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320179**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**  
 Dirección -  
 Persona de contacto - Correo electrónico **jsalazarr14@unc.edu.pe**

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **13.03.20** Hora de Muestreo **07:30**  
 Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
 Procedimiento de Muestreo -  
 Tipo de Muestreo **Puntual**  
 Número de puntos de muestreo **04**  
 Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**  
 Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
 Referencia de la Muestra: **CELENDÍN**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC- 082** Cadena de Custodia **CC - 179 - 20**  
 Fecha y Hora de Recepción **13.03.20 11:38** Inicio de Ensayo **13.03.20 12.30**  
 Reporte Resultado **24.03.20 16:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147025



Freddy López León  
Especialista de Química  
CIP: 195264

**Cajamarca, 24 de marzo de 2020.**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0320179**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra	LF 0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-		
Código Laboratorio	0320179-01	0320179-02	0320179-03	0320179-04	-	-		
Matriz	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	MUNICIPAL	-	-		
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-		
Localización de la Muestra	PTAR - CELENDÍN	PTAR - CELENDÍN	PTAR - CELENDÍN	PTAR - CELENDÍN	-	-		
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	116.8	79.1	43.6	52.7	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	230.2	153.6	336.8	440.0	-	-

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

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

**NOTAS FINALES**

(\*) Los métodos y/o matriz Indicados no han sido acreditados por el INACAL - DA.

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

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

✓ La reproducción parcial de este informe no está permitida sin la autorización por escrito del Laboratorio Regional del Agua, su autenticidad será válida sólo si tiene firma y sello original. Este informe no será válido si presenta tachaduras o enmiendas.

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

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

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev: N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 24 de marzo de 2020.

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0620219**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico [jsalazarr14@unc.edu.pe](mailto:jsalazarr14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **26.06.20** Hora de Muestreo **08:10 a 08:30**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **04**  
Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **CELENDIN**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC - 082** Cadena de Custodia **CC - 219 - 20**  
Fecha y Hora de Recepción **26.06.20 13:56** Inicio de Ensayo **26.06.20 14:15**  
Reporte Resultado **07.06.20 13:00**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028



Freddy López León  
Especialista de Química  
CIP: 198264

**Cajamarca, 07 de Julio de 2020.**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0620219**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS			
Código de la Muestra	LF0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-
Código Laboratorio	0620219-01	0620219-02	0620219-03	0620219-04	-	-
Matriz	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra	PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados			
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	233.0	58.3	75.9	72.4
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	656.0	260.9	361.4	291.1

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

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

**NOTAS FINALES**

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

**LABORATORIO REGIONAL**

"Fin del documento"

Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 07 de Julio de 2020.

**DEL AGUA**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0620223**

**DATOS DEL CLIENTE**

Razon Social/Nombre **JEANS ROY SALAZAR RODRIGUEZ**  
Dirección -  
Persona de contacto - Correo electrónico [jsalazarr14@unc.edu.pe](mailto:jsalazarr14@unc.edu.pe)

**DATOS DE LA MUESTRA**

Fecha del Muestreo **30.06.20** Hora de Muestreo **06:25 a 06:40**  
Responsable de la toma de muestra **Cliente** Plan de muestreo N° -  
Procedimiento de Muestreo -  
Tipo de Muestreo **Puntual**  
Número de puntos de muestreo **04**  
Ensayos solicitados **Fisicoquimicos**  
Breve descripción del estado de la muestra **Las muestras cumplen con los requisitos de volumen, preservacion y conservación**  
Referencia de la Muestra: **CELENDIN**

**DATOS DE CONTROL DEL LABORATORIO**

N° Contrato **SC - 082** Cadena de Custodia **CC - 223 - 20**  
Fecha y Hora de Recepción **30.06.20 11:54** Inicio de Ensayo **30.06.20 12:20**  
Reporte Resultado **09.07.20 15:30**



Edder Neyra Jaico  
Responsable de Laboratorio  
CIP: 147028



Freddy López León  
Especialista de Química  
CIP: 198264

**Cajamarca, 07 de Julio de 2020.**

**INFORME DE ENSAYO N° IE 0620223**

ENSAYOS			FÍSICO - QUÍMICOS					
Código de la Muestra			LF0	LF 1	LF 2	LF 3	-	-
Código Laboratorio			0620223-01	0620223-02	0620223-03	0620223-04	-	-
Matriz			RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	RESIDUAL	-	-
Descripción			Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	-	-
Localización de la Muestra			PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	PTAR-Celendín	-	-
Parámetro	Unidad	LCM	Resultados					
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /L	2.6	153.3	54.7	66.5	63.4	-	-
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg O <sub>2</sub> /L	8.3	334.6	281.0	344.6	344.6	-	-

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

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

**NOTAS FINALES**

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

**LABORATORIO REGIONAL DEL AGUA**

"Fin del documento"



Código del Formato: P-23-F01 Rev.N°01 Fecha : 02/01/2020

Cajamarca, 07 de Julio de 2020.