

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



**“PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE INDICADORES PATÓGENOS EN  
LAGUNAS FACULTATIVAS AIREADAS EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE  
RETENCIÓN HIDRÁULICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS  
RESIDUALES DE CELENDÍN”**

**TESIS**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

**INGENIERO AMBIENTAL**

PRESENTADO POR LA BACHILLER:

**ZOILA ISAMAR, TIRADO SALAZAR**

**ASESORA:**

**ING. M. SC. GIOVANA E. CHÁVEZ HORNA**

**CAJAMARCA – PERÚ**

**2022**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"

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

## FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

Secretaría Académica

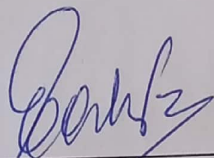


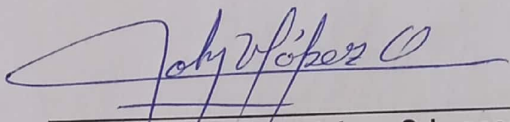
### ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

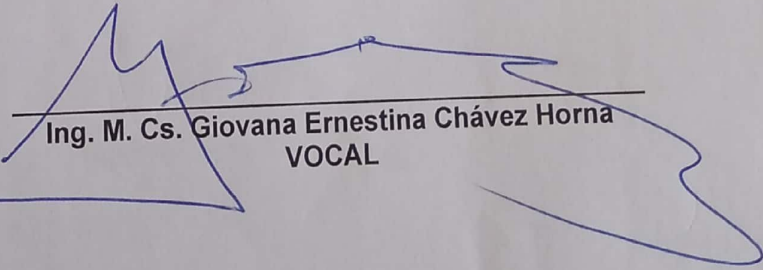
En la ciudad de Cajamarca, a los veintiocho días del mes de marzo del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente 2C - 211 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 265-2021-FCA-UNC, de fecha 12 de agosto del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la **TESIS** titulada: **"PORCENTAJE DE REMOCIÓN DE INDICADORES PATÓGENOS EN LAGUNAS FACULTATIVAS AIREADAS EN FUNCIÓN AL TIEMPO DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES DE CELENDÍN"**, realizada por la Bachiller **ZOILA ISAMAR TIRADO SALAZAR** para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las diez horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**.

A las once horas y quince minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.

  
Dr. Edin Edgardo Alva Plasencia  
PRESIDENTE

  
M. Cs. Jhon Víctor López Orbegoso  
SECRETARIO

  
Ing. M. Cs. Giovana Ernestina Chávez Horna  
VOCAL

## DEDICATORIA

A:

Dios, por darme salud y sabiduría, a mis abuelitos **Zoila y Juan**, por ser los principales promotores de alcanzar mis anhelos y sueños, por apoyarme incondicionalmente y confiar siempre en mí.

A toda mi familia y amigos que contribuyeron a que este trabajo sea realidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi carrera, por ser mi fortaleza en momentos difíciles y brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y felicidad.

A mi abuelita Zoila Mestanza Alfaro y mi abuelito Juan Salazar Torres, a mi mamá Maritza Salazar Mestanza, a mis hermanos Jimmy, Roció y Valeria por haberme impulsado a cumplir con mis sueños y sobre todo su apoyo incondicional durante mi formación profesional.

A Cesar Merino Muñoz, por el cariño, compañía y el apoyo brindado durante mi formación académica.

A mi asesora Ing. M.Sc. Giovana Ernestina Chávez Horna por su tiempo dedicado al apoyo como guía y asesoramiento en el desarrollo de esta investigación.

A todos los docentes de mi alma mater, la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental Filial Celendín - Universidad Nacional de Cajamarca, por haberme brindado los conocimientos para desempeñarme como profesional.

A mis amigos y demás familiares que contribuyeron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

## ÍNDICE GENERAL

Ítem	Página.
DEDICATORIA.....	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
RESUMEN.....	ix
ABSTRAC.....	x
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1    Objetivos de la Investigación.....	2
1.1.1    Objetivo principal.....	2
1.1.2    Objetivos específicos.....	2
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1.    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	3
2.2.    Bases Teóricas.....	7
2.2.1    Lagunas aireadas mecánicamente.....	7
2.2.2    Lagunas facultativas aireadas.....	8
2.2.3    Factores fisicoquímicos que influyen en el funcionamiento de las lagunas facultativas aireadas.....	12
2.2.4    Indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas.....	15
2.2.5    Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	17
2.3.    DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	18
2.3.1    Tiempo de retención hidráulica (TRH).....	18
2.2.6.    Eficiencia del tratamiento.....	18
2.2.7.    Indicadores patógenos.....	18
CAPÍTULO III.....	19
MARCO METODOLÓGICO.....	19
3.1    Localización de la investigación.....	19
3.2    Materiales.....	21
3.3    Metodología.....	21
3.3.1    Descripción del sistema de tratamiento.....	22
3.3.2    Metodología aplicada.....	25
a)    Fase de campo.....	25
b)    Fase de laboratorio.....	27

c) Trabajo de gabinete.....	27
CAPÍTULO IV .....	29
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	29
4.1 INDICADORES PATÓGENOS.....	29
4.1.1 Concentración de coliformes termotolerantes (CTT).....	29
4.1.2 Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes (CTT) .....	31
4.1.3 Concentración de huevos de helmintos (HH).....	32
4.1.4 Porcentaje de remoción de huevos de helmintos (HH) .....	34
4.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MEDIDOS IN SITU.....	35
4.2.1 Temperatura (T°).....	35
4.2.2 Potencial de hidrógeno según el tiempo de retención hidráulica (TRH)..	37
4.2.3 Conductividad eléctrica (CE) según el tiempo de retención hidráulica (TRH). 39	
4.2.4 Oxígeno disuelto (OD) según el tiempo de retención hidráulica (TRH)..	40
CAPÍTULO V .....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN .....	42
4.1 CONCLUSIONES .....	42
4.2 RECOMENDACIÓN .....	43
CAPÍTULO VI.....	44
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	44
ANEXOS .....	51
ANEXO 1. Matriz de consistencia.....	52
ANEXO 2. Registro fotográfico del desarrollo de la tesis.....	53
ANEXO 3. Datos de temperatura ambiente.....	56

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
<b>Tabla 1.</b> Ventajas y desventajas de lagunas facultativas aireadas. ....	9
<b>Tabla 2.</b> Criterios de diseño de lagunas facultativas aireadas .....	10
<b>Tabla 3.</b> Frecuencia de monitoreo .....	26
<b>Tabla 4.</b> Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo.....	26
<b>Tabla 5.</b> Método de ensayo de CTT y HH.....	27
<b>Tabla 6.</b> Análisis de varianza (ANOVA) para los coliformes termotolerantes. ....	30
<b>Tabla 7.</b> Prueba de significancia de Tukey al 5 % coliformes termotolerantes según el tiempo de retención hidráulica .....	31
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje de remoción de CTT .....	31
<b>Tabla 9.</b> Análisis de varianza (ANOVA) para los huevos de helmintos .....	33
<b>Tabla 10.</b> Prueba de significación de Tukey al 5 % para los huevos de helmintos obtenidos según el tiempo de retención hidráulica.....	34
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje de remoción de HH.....	34
<b>Tabla 12.</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C).....	35
<b>Tabla 13.</b> Prueba de significación de Tukey al 5 % para la T° obtenidos según el tiempo de retención hidráulica.....	36
<b>Tabla 14.</b> Análisis de varianza para el pH .....	37
<b>Tabla 15.</b> Prueba de significación de Tukey al 5 % para el pH obtenido según el tiempo de retención hidráulica.....	38
<b>Tabla 16.</b> Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE).....	39
<b>Tabla 17.</b> Prueba de significación de Tukey al 5 % para la conductividad eléctrica en función al tiempo de retención hidráulica. ....	39
<b>Tabla 18.</b> Análisis de varianza (ANOVA) para el OD. ....	40
<b>Tabla 19.</b> Prueba de significación de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto obtenido según el tiempo de retención hidráulica. ....	41
<b>Tabla 20.</b> Matriz de conciencia.....	52
<b>Tabla 21.</b> Resultados de temperatura ambiente medios a distintas horas del día, durante la ejecución del proyecto. ....	56

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
<b>Figura 1</b> Ubicación del proyecto en la ciudad de Celendín.....	20
<b>Figura 2.</b> Diseño del sistema de tratamiento. ....	23
<b>Figura 3.</b> Diseño del sistema de tratamiento vista en planta .....	24
<b>Figura 4.</b> Puntos de monitoreo.....	25
<b>Figura 5.</b> Promedios de CTT en el afluente y efluentes. ....	29
<b>Figura 6.</b> Porcentaje de remoción de CTT en las Lagunas facultativas aireadas según el TRH. ....	31
<b>Figura 7.</b> Promedio de huevos de helmintos en el afluente y efluentes del sistema de tratamiento .....	32
<b>Figura 8.</b> Porcentaje de remoción de huevos de helmintos en las lagunas facultativas aireadas según el TRH.....	34
<b>Figura 9.</b> Temperatura promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema .....	36
<b>Figura 10.</b> pH en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema .....	38
<b>Figura 11.</b> Conductividad eléctrica en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema. ....	39
<b>Figura 12.</b> Oxígeno disuelto en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema .....	41



## RESUMEN

En la presente investigación se determinó el porcentaje de remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas a escala, en función del tiempo de retención hidráulica (TRH); la investigación se desarrolló en la planta de tratamiento de aguas residuales del distrito de Celendín. Donde se instalaron tres reactores de vidrio de 160 L cada uno, para tiempos de retención hidráulica de 3, 4 y 5 días, estos fueron alimentados por el efluente de reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA). Para mantener una concentración de oxígeno adecuada en cada reactor se inyectó aire atmosférico a través de difusores de burbuja fina. La concentración promedio de coliformes termotolerantes y huevos de helmintos en el afluente fueron de  $3.398 \times 10^7$  NMP/100 ml y 10 HH/L respectivamente. El porcentaje de remoción a los 3, 4 y 5 días de TRH en cuanto a coliformes termotolerantes fue 93.77 , 97.95 y 97.98 %, y en huevos de helmintos 30, 30 y 60 % respectivamente; el reactor con 5 días de TRH obtuvo mayor porcentaje de remoción tanto en coliformes termotolerantes como en huevos de helmintos.

**Palabras clave:** Indicadores patógenos, lagunas facultativas aireadas, tiempo de retención hidráulica, porcentaje de remoción.

## ABSTRAC

In the present investigation, the percentage of removal of pathogenic indicators in facultative lagoons aerated at scale was determined, as a function of the hydraulic retention time (TRH); The research was carried out at the Celendín district wastewater treatment plant. Where three glass reactors of 160 L each were installed, for hydraulic retention times of 3, 4 and 5 days, these were fed by the effluent from the upflow anaerobic reactor (RAFA). To maintain a suitable oxygen concentration in each reactor, atmospheric air was injected through fine bubble diffusers. The average concentration of thermotolerant coliforms and helminth eggs in the tributary were  $3,398 \times 10^7$  MPN / 100 ml and 10 HH / L respectively. The removal percentage at 3, 4 and 5 days of HRT in terms of thermotolerant coliforms was 93.77, 97.95 and 97.98% and in helminth eggs 30, 30 and 60% respectively; the reactor with 5 days of TRH obtained a higher percentage of removal both in thermotolerant coliforms and in helminth eggs.

**Key words:** pathogenic indicators, aerated facultative ponds, hydraulic retention time, removal percentage.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

La existencia de parásitos en las aguas residuales constituye un factor de riesgo relevante en la diseminación de las enfermedades parasitarias, debido a que estos organismos son capaces de contagiar a las personas por medio de las fuentes de agua tanto para consumo como para riego. Ante esta problemática epidemiológica, es de suma importancia que los tratamientos de las aguas residuales sean eficaces en la eliminación de estos organismos (CONAGUA 2015). El tratamiento de las aguas residuales utilizando lagunas aireadas facultativas es una técnica intermedia entre los sistemas lagunares y los tratamientos avanzados, ya que permite una reducción significativa de los olores al añadir oxígeno; pueden asimilar sobrecargas hidráulicas y orgánicas sin afectar sustancialmente su eficiencia (Espinoza 2010).

En la ciudad de Celendín se cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, que tiene como objetivo la remoción de la materia orgánica biodegradable a través de procedimientos de tratamiento primario el cual consta de dos reactores anaerobios de flujo ascendente (RAFAs) y tratamiento secundario a través de una laguna facultativa. El efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales es vertido al río Grande, y estas aguas son utilizadas para actividades agrícolas y ganaderas.

Las lagunas facultativas con el tiempo quedan en desuso, ante el crecimiento de las poblaciones y por consiguiente se da el incremento el caudal y las cargas orgánicas en los afluentes; una alternativa a ello cuando no se dispone de áreas para ampliación es convertirlas en lagunas aireadas; con el suministro de aire a través de aireadores mecánicos o difusores de aire, para propiciar un tratamiento aerobio, donde las velocidades de reacción de los microorganismos son mayores, requiriendo menores

tiempos de retención hidráulica, y obteniendo mayores porcentajes de remoción de los contaminantes (CONAGUA 2015); es en este sentido, que se ejecutó la investigación de lagunas facultativas aireadas a escala con tiempos de retención hidráulica de 3, 4 y 5 días, empleando el efluente del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Celendín. Para ello se realizaron mediciones en el afluente y en los efluentes del sistema (LFA1, LFA2, LFA3), con la finalidad de servir como alternativa para convertir las lagunas facultativas en lagunas facultativas aireadas con capacidad de tratar mayores caudales y cargas orgánicas.

## **1.1 Objetivos de la Investigación**

### **1.1.1 Objetivo principal**

- Determinar el porcentaje de remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar la concentración de coliformes termotolerantes y huevos de helmintos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica.
- Evaluar los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto influyentes en las lagunas facultativas aireadas.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

#### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Montiel (2001) indica que en 1960 Eckenfelder y O'Connor fueron los primeros en estudiar a escala de laboratorio lagunas con aire comprimido y que la primera implementación de lagunas aireadas en estudio de aguas residuales fue construida en Kansas City, Missouri, usando aireación mecánica superficial con cuatro horas de tiempo de retención hidráulica.

Williams y Hutto (1961) citado, por INDITEX (2015) estudiaron lagunas aireadas a estudio piloto para analizar aguas residuales industriales en Carolina del Norte. Las lagunas piloto comprendieron 2 unidades. La aireación fue realizada solo en la primera laguna y la segunda laguna se utilizó como decantador. Durante 8 semanas la aireación y la decantación fue de 48 horas de tiempo de retención hidráulica (TRH), durante 2 semanas la aireación y sedimentación pasa a ser 36 horas de TRH. Después, a lo largo de 3 semanas se emplearon TRH de 24 horas, y por último a lo largo de 1 semana con un TRH de 14 a 16 horas. Para cada TRH se obtuvo 81, 71, 48 y 33 % de eliminación de DBO<sub>5</sub> respectivamente.

Shah et. al (2012) evalúa el rendimiento de las lagunas aireadas para tratamiento biológico de aguas residuales textiles en Pakistán, a escala de laboratorio por un periodo de 92 días con tiempos de retención hidráulica de 5 a 15 días. Donde se evaluó demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) tanto para el afluente y efluente. De sus resultados obtenidos nos indica que a mayor TRH la concentración de DBO y DQO disminuye.

Mondargo y Romani (2015) en una investigación denominada “Determinación experimental de los parámetros biocinéticos de los efluentes de la UNCP necesarios para el diseño de una laguna aireada” en donde tuvo como objetivos específicos Caracterizar la concentración de DBO del afluente y efluente de la laguna aireada; Caracterizar la concentración de sólidos suspendidos totales (SST) en diferente tiempo de operación (8, 32, 48 y 96 horas). Como resultado, se tiene para DBO una concentración promedio de 407 mg/L en el afluente y 398, 17.74, 16.48 y 2 mg/L efluente, y en SST 49.5, 28.76, 8.01 y 3.36 mg/L, para tiempos de operación de 8, 32, 48 y 96 horas respectivamente.

Moscoso (2011) en una investigación denominada: “Estudio de opciones de tratamiento y reusó de aguas residuales en lima metropolitana” indica que la más alta disminución de coliformes termotolerantes se consiguió en las lagunas aireadas de San Bartolo, Huáscar/Parque 26 y San Juan, gracias al proceso de desinfección que reducen hasta 5 niveles logarítmicos, y que su efluente está dentro de los rangos permitidos para vertimiento en fuentes de agua naturales de acuerdo a la Resolución Jefatural N°. 0291-2009 de la ANA.

En el trabajo realizado por Quispe (2021) en su tesis titulada “Eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológico en la planta de tratamiento de aguas residuales y su impactó en el río Lalicucho- Cajabamba”, analizó la concentración de coliformes termotolerantes (CTT), E. coli y huevos de helmintos, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, teniendo eficiencia de 67 % en CTT, 71% en E. Coli y 35% en huevos de helmintos a lo que el autor indica que la PTAR Cajabamba no es eficiente en la remoción de estos parámetros, de acuerdo a las bases de diseño. Y para determinar su impacto en el río Lalicucho como cuerpo receptor de la PTAR, evaluó a 200 metros aguas abajo del efluente obteniendo concentraciones de  $2.97E+04$  NMP/100mL CTT,  $1.37E+0.4$  NMP/100mL E. coli y 10 HH/L.

Martínez (2016) en una investigación denominada “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” donde obtuvo resultados de eficiencia 91.507% , 91.095% y 83.20% para los parámetros de DBO<sub>5</sub>, DQO y SST respectivamente pero también indica que las pruebas se realizaron cuando la PTAR estaba a prueba, con un ingreso de 50% de las aguas residuales de la ciudad de Celendín, lo que conducía un caudal de 12.2 L/s, según fuente de Pro Región.

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 demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>) y demanda química de oxígeno (DQO) en el afluente del sistema y efluente de la laguna facultativa, obteniendo los siguientes resultados: en pH un promedio de 6.7 en el afluente y 6.8 en el efluente, y un promedio de DBO<sub>5</sub> 245.95 mgO<sub>2</sub>/l en el afluente y 41.03 mgO<sub>2</sub>/l en el efluente, con una remoción del 83.32%; en la DQO 495.13 mgO<sub>2</sub>/l en el afluente y de 149.63 mgO<sub>2</sub>/l en el efluente, con una remoción de 69.78 %.

García (2019) en su investigación denominada “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” evaluó los sólidos suspendidos totales (SST), oxígeno disuelto (OD) y temperatura (T°) en el afluente y efluente de la laguna facultativa, obteniendo concentraciones en SST 211.5 mg/L en el afluente y 59.475 mg/L; para OD 0.00 mg/L en el afluente y 1.6975 mg/L en el efluente; y en la T° 15.25°C en el afluente y 16°C en el efluente. De los resultados, comparados con la normativa para aguas residuales, el autor concluyó que para SST se obtuvo eficiencia de 71.88%, debiendo obtener un 84% de eficiencia, 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; y para T° se tuvo resultados de 15.25 °C a 16 °C, estando dentro de los rangos normales.

En el trabajo realizado por Briones (2019) en su tesis titulada “Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y *Escherichia coli*, en Celendín- Cajamarca” para obtener el título de ingeniero ambiental, realizó los análisis de los parámetros, coliformes totales, coliformes fecales y *E. coli*, en el afluente y efluente de la planta de tratamiento de aguas residuales, teniendo eficiencia de remoción de 78.76% en coliformes totales; 53.23 % en coliformes fecales y 84.70 % en *E. coli*, con eso el autor comprueba que la planta es ineficiente, ya que según el estudio de factibilidad realizado por el gobierno regional de Cajamarca la planta debería tener eficiencia del 99.99 % en la remoción de carga microbiológica.

Salazar (2021) en su tesis titulada “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”, para obtener el título de ingeniero ambiental, evaluó la DBO<sub>5</sub> y la DQO del afluente y efluentes del sistema de tratamiento, con tiempos de retención hidráulica de 5, 6 y 7 días, obteniendo eficiencia de 47.42, 63.07 y 63.45% en DBO<sub>5</sub> y de 39.95, 0 y 0 % en DQO para TRH de 5, 6 y 7 días respectivamente. Además, evaluó la concentración de oxígeno disuelto (OD), pH y conductividad eléctrica (CE) y T° en: OD concluyó que en su sistema existió eutrofización debido a la elevada concentración de oxígeno, en CE se observó una disminución a mayor TRH y en pH tuvo concentraciones de hasta 10.00 a los 7 días, en temperatura un promedio de 18.93 °C.



## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1 Lagunas aireadas mecánicamente**

Las lagunas aireadas mecánicamente son, semejantes a las lagunas de estabilización, con la diferencia, de que son dotadas de oxígeno a través de equipos de aireación. Su profundidad varía de 3 a 5 metros (Rolim 1999).

Para Rodríguez (2011) las lagunas aireadas corresponden a un tipo de tratamiento biológico sencillo, de fácil mantenimiento, que se asemejan a un sistema de lodos activados, pero sin recirculación. Las lagunas aireadas deben tener profundidades de 1 a 4 m en donde la aireación de las aguas residuales se efectuó mediante aireación superficial a través de turbinas y/o difusores (Sánchez 2005).

Se distinguen dos tipos de lagunas aireadas: las completamente mezcladas y las parcialmente mezcladas. En las primeras, tanto el oxígeno disuelto como los sólidos suspendidos están uniformemente distribuidos en todo el volumen del estanque. En las lagunas parcialmente mezcladas el oxígeno disuelto es el suficiente para satisfacer su demanda, pero sólo una fracción de los sólidos suspendidos se mantiene en suspensión. Comúnmente estas lagunas son denominadas de manera abreviada como lagunas aireadas facultativas (Menéndez y Díaz 2006).

En cuanto a la remoción de patógenos, el sistema requerirá desinfección adicional si se requieren niveles de coliformes fecales menores que 1000[NMP/100ml] en el efluente (Dunner 2004).

Los factores más relevantes que se deben tener en cuenta en la utilización de lagunas aireadas son la salud pública y los sólidos en el efluente. En cuanto al primer aspecto estudios realizados indican que las lagunas aireadas son ineficientes en la remoción de

organismos indicadores de patógenos. Con ello se concluye que la elección de la laguna aireada tiene que forzosamente venir acompañada de otro tratamiento, siendo la unión más apropiada la laguna aireada continua de una laguna facultativa o la mezcla de ambas (Espinoza 2010).

### **2.2.2 Lagunas facultativas aireadas**

Las lagunas aireadas facultativas son empleadas cuando se demanda sistemas mayormente aeróbicos. La diferencia con las lagunas facultativas consiste principalmente en la forma de añadir el oxígeno (Andrade y Peña 2017). Las lagunas facultativas aireadas son más profundas y pueden recibir mayor carga orgánica que las lagunas facultativas, tiene una profundidad que varía de 2 a 6 metros, y el oxígeno se suministra por aireadores mecánicos flotantes o por difusión, además de ello se diseñan con un bajo tiempo de retención hidráulica de 3 a 20 días (Prado 2015).

La aireación utilizada es escasa para preservar todos los sólidos en suspensión, contándose únicamente con lo establecido para añadir el oxígeno disuelto por lo menos en todo el volumen del sistema. Parte de los sólidos caen al fondo de la laguna donde existe una descomposición anaerobia (Sánchez 2005). Su potencia es limitada y la edad del lodo es mayor que el tiempo de retención hidráulica, en este sistema, que también se basa en el principio del proceso de lodos activados, no hay reciclaje de lodo (Rolim 1999).

Las lagunas mezcladas parcialmente es una tecnología que ha sido empleadas bastante en los Estados Unidos al menos desde hace 40 años, y estas puede tratar eficazmente un afluente con carga elevada y disminuir importantemente la cantidad de patógenos (U.S. EPA 2002).

Como resultado de la concentración añadida de oxígeno una alta cantidad de sólidos y algas muertas decanta en el fondo, descomponiéndose así en condiciones anaerobias y adquiriendo subproductos tal como el material orgánico y gases (Amoniac, Nitrógeno, Hidrógeno). Los gases que se generan en las partes más bajas se estabilizan en la zona aerobia, disminuyendo así los malos olores (Andrade y Peña 2017).

De estudios realizados recientemente sobre diseño de lagunas aireadas de mezcla parcial en Chile se obtuvo que el terreno que utiliza una laguna aireada corresponde aproximadamente entre 1/10 y 1/5 del terreno que utiliza una laguna facultativa además se indica que de acuerdo a la zona del país que se considere la profundidad de las lagunas varían entre 2.5 y 4 metros (Mena 1996, citado por Dunner 2004).

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de lagunas facultativas aireadas.

Ventajas	Desventajas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bajos costos de Inversión.</li> <li>• Bajos costos de operación y mantenimiento</li> <li>• Requieren aproximadamente 1/10 a 1/3 del terreno que requieren las lagunas facultativas</li> <li>• Operación y Mantenimiento sencillos. No requiere personal mayormente capacitado.</li> <li>• Eficientes en remoción de patógenos.</li> <li>• Se puede lograr un efluente equivalente en calidad al de los tratamientos convencionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En climas fríos la eficiencia es más baja, requiriéndose más terreno o mayores tiempos de retención.</li> <li>• Puede presentar problemas de olor, mosquitos e insectos si la mantención no es la adecuada.</li> <li>• Si la sedimentación no es la adecuada el efluente puede contener algas y por ende alto contenido de SST y DBO<sub>5</sub>.</li> <li>• Lodos generados no son directamente aplicables a la tierra.</li> <li>• No son tan eficientes en remoción de nutrientes a no ser que estén especialmente diseñadas para ello.</li> </ul>

Fuente: Dunner 2004.

**a. Generalidades de las lagunas facultativas aireadas**

- Tienen profundidades de 2.5 – 4 m. con tiempos de retención hidráulica entre 3 a 10 días (Sperling 2007, citado por Andrade y Peña 2017).

- La energía requerida es baja como para tener niveles de oxígeno disuelto en cualquier espacio de la laguna (Dunner 2004).
- La provisión de oxígeno es fundamentalmente por aireación superficial, aunque las algas estén en números reducidos no inciden en la generación de oxígeno. La única zona en donde se da una mezcla completa es en donde está el difusor. El mínimo oxígeno disuelto requerido debe ser 2 mg/L para un adecuado funcionamiento (CONAGUA 2015).
- Las lagunas aireadas facultativas demandan de una muy poca energía, siendo más o menos 2 w/m<sup>3</sup> (Espinoza 2004).

**Tabla 2.** Criterios de diseño de lagunas facultativas aireadas

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>VALOR O COMENTARIO</b>
Caudal de diseño (Q)	Qm.	Promedio diario
Periodo de retención (TR)	Día	2 a 3
Requerimiento de oxígeno	Kg-O <sub>2</sub> /día	1 a 2 Kg-O <sub>2</sub> /Kg DBO eliminado día
cantidad mínimo de potencia para mezcla parcial	W/m <sup>3</sup>	1.5 (por m <sup>3</sup> de laguna)
Concentración de oxígeno disuelto	Mg/l	Promedio de 2 a 5
Tasa aproximada de remoción de BDO	%	60 al 70 %
Numero de series de lagunas		2 – 3
Borde libre requerido	m	0.5
Resguardo del talud	mm	100 capa con concreto
Resguardo del fondo de la laguna	mm	50 capa con concreto

Fuente: Espinoza 2010.

#### **b. Procesos biológicos de las lagunas facultativas**

Las lagunas aireadas acogen comunidades microbiológicas complicadas y son los que realizan la degradación y transformación de la carga orgánica, a pesar de esto, su estabilidad funcional está supeditado a varias alteraciones, así como las del pH, temperatura, niveles de sustancias tóxicas y/o variaciones climáticas (Yu y Mohn 2001, citado por Andrade y Peña 2017).

**c. Aireación para lagunas facultativas aireadas**

- **Aireadores superficiales**

- **Aireadores mecánicos:** Es un método sencillo empleado con variaciones de energía de 1-100 HP. Está unido por un propulsor ensamblado a un motor a través de una flecha, dependiendo si hay oscilaciones en los niveles de agua, todo el sistema puede encontrarse acoplado a la estructura firme de concreto o en flotadores (CONAGUA 2015).

- **Aireadores sumergidos**

- **Aireación por difusión:** Es la transferencia de oxígeno que se lleva a cabo mediante difusores especiales, discos cerámicos porosos que reciben aire inyectado por medio de tuberías a presión, asentadas en el fondo de las lagunas aireadas (Rolim 1999).

La aireación mediante difusores es recomendada fundamentalmente para profundidades de líquido en las lagunas entre 2,5 y 5,0 m y valores de velocidades de consumo de oxígeno inferiores a 1 mg /L -1 min. (Menéndez y Díaz 2006).

- **Aireadores de turbina:** El aire es añadido por conductores acomodados en el fondo, en tanto la circulación de la turbina esparce las burbujas de agua y mantiene mezclada el agua (CONAGUA, 2015).

**d. Arranque del reactor de lagunas facultativas aireadas**

Todo proceso biológico, no funciona en el momento de su instalación con la eficacia del diseño. Debido a que el tiempo de adaptación está sujeta a la temperatura,

características del agua residual y, por encima de todo, del buen crecimiento de la población biológica (Bejarano y Escobar 2015).

- Según CONAGUA (2007) indica que una vez lista la planta de laguna facultativa aireada se ponen en operación y durante la primera semana se llevan a cabo las siguientes actividades:
  - Primer día. Una vez llenado la laguna hasta las 16 horas de funcionamiento, se revisa la cantidad de oxígeno disuelto para conocer si se está proporcionando suficiente oxígeno disuelto y este debiendo ser 3 mg/l en toda la laguna. Si el valor medido es menor a 1 mg/l, se requiere mayor cantidad de aireadores.
  - Del segundo al quinto día. Durante este periodo, se debe mantener la concentración de oxígeno disuelto.
  - Del sexto día en adelante, El funcionamiento y la mejoría en el efluente debe ser visible. Las observaciones cuidadosas de la formación de sólidos suspendidos indican la rapidez del aumento y calidad de los sólidos en la laguna. Diariamente las variabilidades del flujo crean distintas cantidades de oxígeno hasta lograr la estabilización del sistema. Durante el inicio de funcionamiento del sistema se tiene grandes cantidades de espuma esto por la presencia de detergente en el agua residual y la poca población bacteriana.

### **2.2.3 Factores fisicoquímicos que influyen en el funcionamiento de las lagunas facultativas aireadas**

#### **1. Caudal o gasto (Q)**

Para Londoño y Marín (2009) el caudal, Q, se define como el volumen de agua que pasa por una sección en un determinado tiempo, t, es decir:  $Q = v/t$

La medición del caudal tiene una importancia decisiva para determinar las cargas hidráulicas y orgánicas, determinar el tiempo de retención y la capacidad de tratamiento de la laguna facultativa aireada (Menéndez y Díaz 2006).

## **2. Temperatura (T°)**

Es el factor fundamental de las aguas residuales por su impacto sobre las características del agua, sobre las operaciones y proceso de tratamiento, así como el método de disposición final; la temperatura afecta a la alteración de la vida acuática, modifica la concentración y saturación de oxígeno disuelto, y la rapidez de la reacción química y la actividad biológica (Romero 2004).

La temperatura del agua residual es superior al agua natural, con rangos de 10 a 20 °C; debido a que se agrega calor al agua en las redes de plomería de las construcciones (Valdez y Vásquez 2003). La medición de la temperatura es fundamental, en su mayoría los sistemas de tratamiento de aguas residuales las temperaturas impactan en los procesos biológicos (Prado 2015).

Menéndez y Díaz (2006) dicen que es un parámetro importante a tener en cuenta en el diseño y operación de las lagunas aireadas debido a que los volúmenes de agua en los estanques son grandes y que su temperatura difiere de la del ambiente.

## **3. Oxígeno disuelto (OD)**

En las lagunas aireadas mecánicamente el oxígeno es proporcionado por inducción a través de los aireadores mecánicos superficiales o difusión. El oxígeno se combina con varias sustancias para formar óxidos y desdobra muchos compuestos de fórmulas moleculares complejas, formando sustancias más simples que pueden servir de alimento para varios microorganismos (CONAGUA 2015).

La introducción de oxígeno en la masa líquida tiene la principal finalidad de abastecer una cantidad necesaria y suficiente para que haya una autodepuración de las aguas residuales por medio de oxidación biológica (Rolim 1999).

El mínimo de OD, necesario para el funcionamiento óptimo es de 2 mg/L y debe evitarse que el OD descienda a 0 mg/L, y que el exceso de OD puede permitir que el operario reduzca el tiempo de funcionamiento de la aireación (INDITEX 2015).

#### **4. pH**

Romero (2004) lo describe como la cantidad de ion hidrógeno en el agua, manifestada como el logaritmo negativo de la cantidad molar del ión hidrógeno; las aguas residuales en cantidades desfavorables del ion hidrógeno son complicadas de tratar biológicamente.

El tratamiento del agua residual mediante lagunas requiere de un ambiente alcalino para operar en óptimas condiciones, con un pH entre 7.5 y 9 además que el color verdoso indica un pH alcalino, un color amarillento verdoso indica un pH más bajo (CONAGUA 2015).

El pH es un excelente indicador del buen funcionamiento del sistema de lagunas aireadas. Las lagunas que presentan un color verde oscuro poseen un alto número de algas verdes y un pH alcalino. Las lagunas que tiene color negro o gris el pH es menor a 6.8 (INDETEX 2015).

#### **5. Conductividad eléctrica**

Es la concentración de una solución para conducir la corriente eléctrica, como la conductividad eléctrica es conducida por los iones en solución, el incremento en iones causa un crecimiento en la conductividad, por consiguiente, el valor adquirido



es empleado como un parámetro suplente de la cantidad de sólidos disueltos totales (Prado 2015).

#### **2.2.4 Indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas.**

##### **1. Coliformes termotolerantes.**

Los coliformes termotolerantes llamados así, debido a que toleran temperaturas hasta de 45 ° C, son un número muy limitado de microorganismos, por lo que son indicadores de calidad. Gran parte de ellos son la *E. coli*, y en menor cantidad se encuentran las *Citrobacter freundii* y *Klebsiella pneumoniae* (Santiago et al., Badgley et al., citado por Larrea et al. 2013).

Los coliformes termotolerantes son indicadores de contaminación fecal de origen humano o animal, debido a que las heces presentan estos microorganismos, los cuales provienen de la flora intestinal y de ellos del 90% al 100% son *E. coli* mientras que en aguas residuales y muestras contaminadas este porcentaje disminuye a un 59% (Gómez 1999, citado por Paredes 2014).

Los coliformes termotolerantes incluyen a *Escherichia* y en menor grado las especies de los géneros de *Klebsiella*, *Enterobacter* y *Citrobacter*; estas últimas tienen una importante función secundaria como indicadoras de la eficacia de los procesos de tratamiento del agua para eliminar las bacterias fecales. Indican la calidad del agua tratada y la posible presencia de contaminación fecal (OMS 2011, citado por Robert 2014).

Las eficiencias de lagunas aireadas en la remoción tanto de coliformes totales como fecales son muy aceptables (entre 3 y 4 unidades logarítmicas). Los resultados obtenidos, indican que el tratamiento biológico por sí solo no es suficiente para

alcanzar el valor de 1000 Coliformes Fecales como NMP/100 ml, razón por la cual, por lo menos en esta etapa no puede prescindirse de la cloración, con cuya inclusión los valores de coliformes totales y fecales en el efluente final pasan de  $10^4$  a 75 y 15 respectivamente (Paris 2004).

## **2. Huevos helmintos**

Para Jiménez (2007), citado por Campos et al. (2018), los huevos de helmintos se encuentran en el ambiente y son de gran importancia en salud pública, debido a su mínima dosis infectiva y a su alta resistencia a diversas condiciones ambientales, como la temperatura, el pH y la humedad, así como a la desinfección con cloro. Los géneros más predominantes son *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancylostoma* e *Hymenolepis* (EPA 1999, citado por Campos et. al. 2018).

Las ventajas de establecer una especie de helminto como bioindicador, son su resistencia, su fácil identificación por laboratorio y su prevalencia (Rios et al. 2015)

Los huevos de helmintos son un conjunto de organismos dentro de los cuales se encuentran los nematodos, trematodos y cestodos. Las propiedades epidemiológicas que hacen de los helmintos patógenos entéricos causantes de enfermedades por contacto con agua contaminada, son: su elevada resistencia al medio ambiente, la pequeña dosis infecciosa, la pérdida a la respuesta inmune y la capacidad de estar en el suelo por mucho tiempo (CYTED s. f.).

Las Lagunas aireadas de elevada potencia sólo logran una reducción pequeña de helmintos debido a cortos periodos de tiempos de retención hidráulica, pero tiene la ventaja de ser más profundas que las lagunas facultativas, sin embargo, aún requieren periodos de 3-12 días como mínimo de retención hidráulica para controlar con seguridad los huevos de helmintos (Espinoza 2010).

De acuerdo con el Decreto Supremo N° 003-2010- del Ministerio del Ambiente (MINAM) la normativa peruana no contempla este parámetro dentro de los límites máximos permisibles para los efluentes de plantas de tratamientos de aguas residuales; a pesar de que en los últimos años se ha evidenciado que, la presencia de helmintos en las fuentes de agua, y alimentos constituyen un alto riesgo a la salud (Moscoso 2011).

### **2.2.5 Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Es el lapso en el que una unidad de líquido está en un recipiente, en otras palabras, el tiempo que un fluido que ingresa en un reactor demora en salir del mismo (Vega s.f.). Usualmente se da como la relación del caudal entre el volumen útil (Cabrera y Ortiz 2005).

Según Dunner (2004) el tiempo de retención para lagunas de mezcla parcial o lagunas facultativas aireadas, fluctúa entre los 4 y 10 días aproximadamente.

El tiempo de retención de las lagunas facultativas aireadas varía de 3 a 6 días, con la finalidad de evitar el desarrollo de algas, lo que aumentaría la cantidad de sólidos suspendidos en el efluente (White y Richar 1976., citado por Rolim, s. f.).

Prado (2015) indica que se debe considerar tiempos de retención hidráulica de 3 a 20 días, con un valor típico de 10 días, en lagunas facultativas aireadas para remoción de indicadores patógenos y a la vez no aumentar el desarrollo de las algas.

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

### **2.3.1 Tiempo de retención hidráulica (TRH)**

Según OPS/CEPIS (2005), es el periodo que demora una partícula que entra a un reactor en salir de ella. Representa al volumen de la unidad entre el caudal y se expresa en unidad de tiempo.

### **2.2.6. Eficiencia del tratamiento**

Relación entre la masa o cantidad eliminada o cantidad aplicada, en un proceso o planta de tratamiento de aguas residuales y para una variable específica, se puede simbolizar en decimales o porcentaje (NORMA OS.090).

### **2.2.7. Indicadores patógenos**

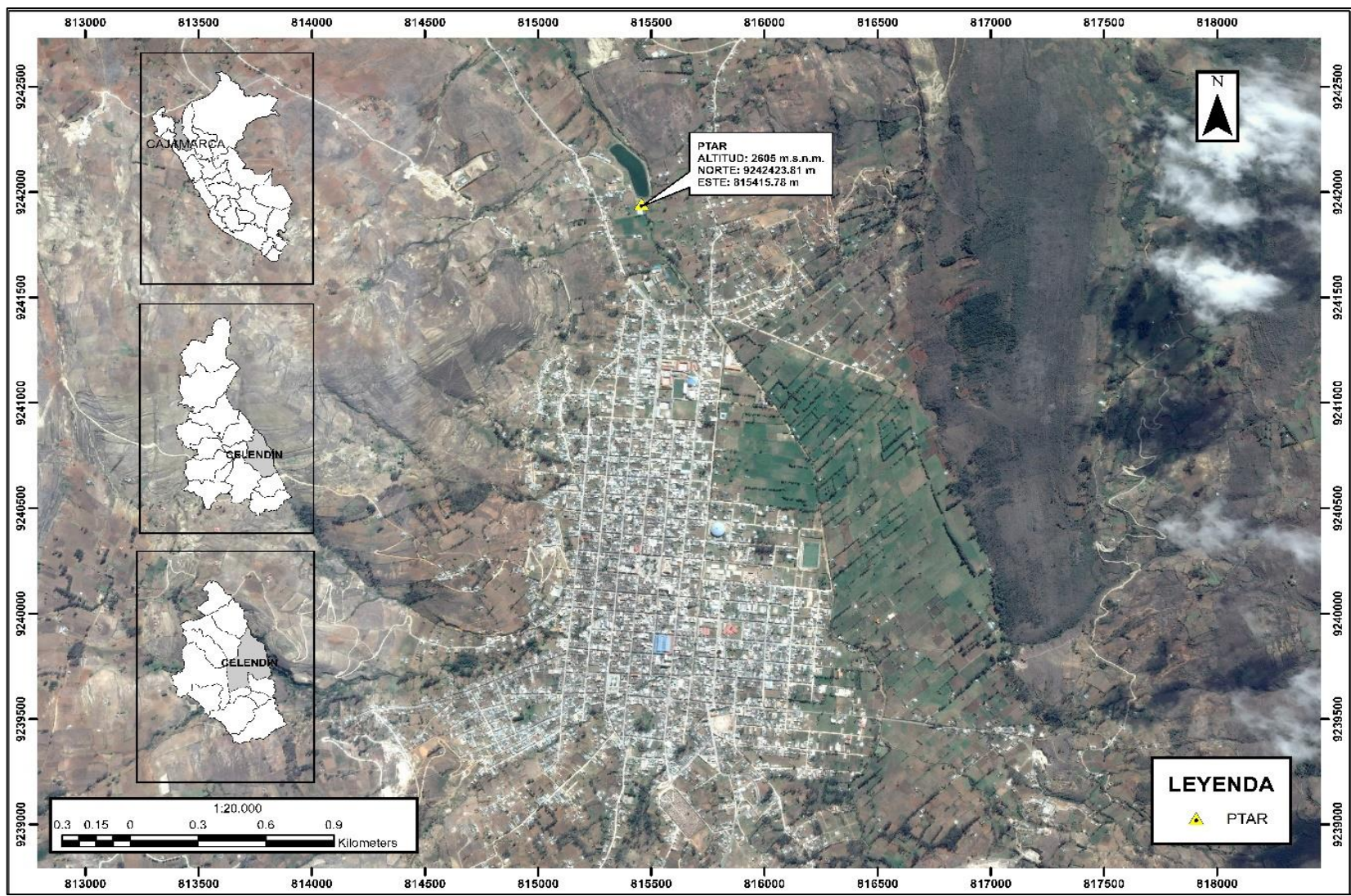
Son aquellos que pueden ser de origen bacteriano, viral, parasitario y, en menor medida, micótico y deben cumplir requerimientos tal como: estar ausentes en agua no contaminada, deben sobrevivir en el agua más tiempo y ser de fácil, rápido y económico aislamiento, cuantificación e identificación (Rios et al. 2015).

## **CAPÍTULO III**

### **MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 Localización de la investigación**

La investigación se desarrolló y ejecutó en la planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) de la ciudad de Celendín, encontrándose a una altitud de 2605 msnm. con coordenadas universal transversal de Mercator, (UTM) Norte: 9242123.8 m y Este: 815415.78 m. (Ver figura 1).



**Figura 1** Ubicación del proyecto en la ciudad de Celendín

## **3.2 Materiales**

- **Material experimental**

- Muestra del efluente de reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín.

- **Materiales y equipos utilizados**

- Multiparámetro (marca: HANNA INSTRUMENTS modelo: HI 83200)
- Cámara fotográfica.
- Lagunas facultativas aireadas a escala
- Computadora portátil
- Cronómetro
- Cooler, frascos, ice pack
- Termómetro ambiental.
- Probeta de 1000 L
- Agua destilada.
- Mascarilla, guantes.
- Buretas, pipetas

## **3.3 Metodología**

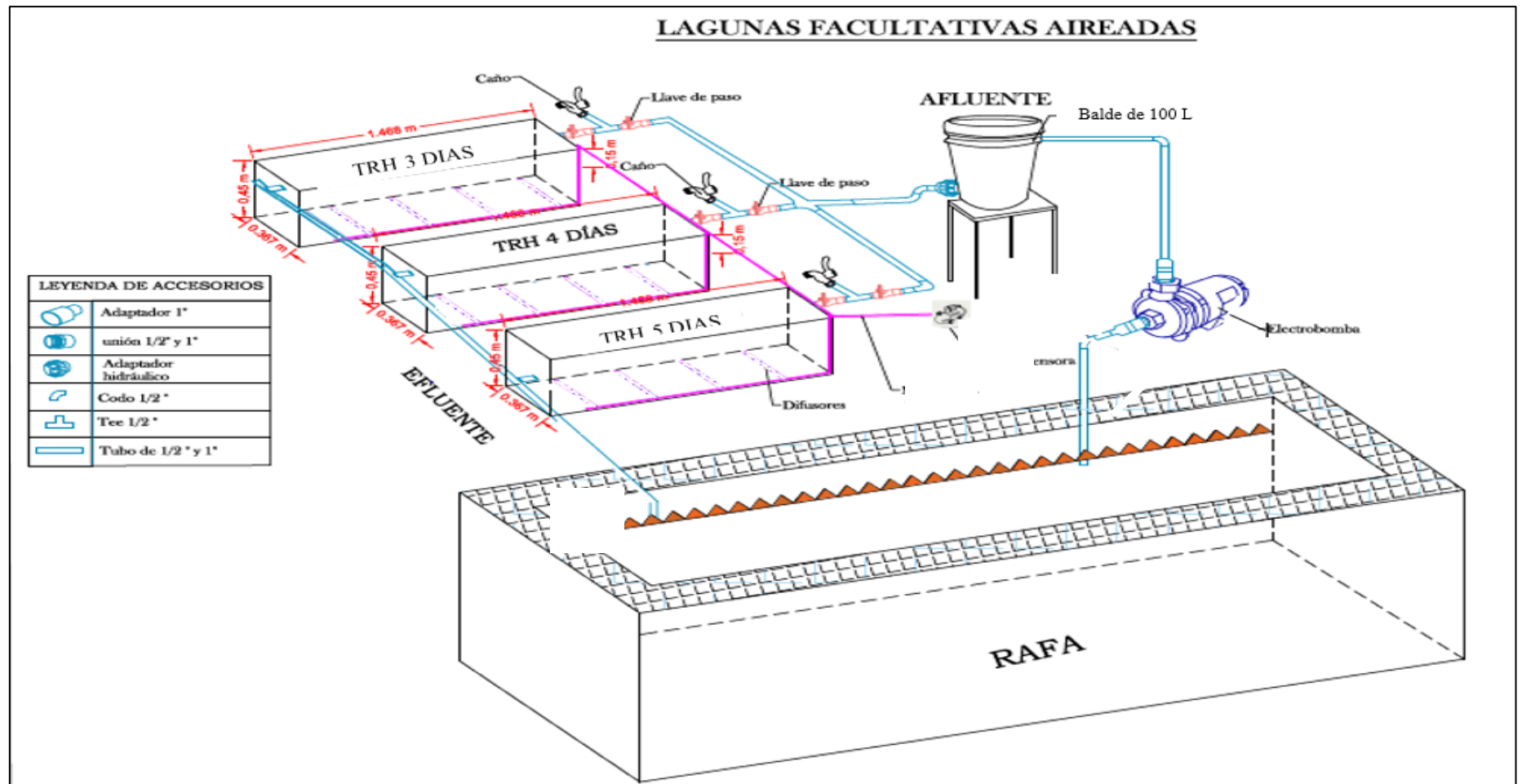
La presente investigación es de tipo experimental, se manipula la variable independiente para ver cómo esta afecta a las variables dependientes y verificar los efectos que se producen (Hernández et. al. 2008). Para calcular el porcentaje de remoción de indicadores patógenos se aplicó un diseño de preprueba – posprueba; el análisis preprueba del afluente del sistema de tratamiento proporcionó un dato de referencia inicial, luego se administrará un estímulo o tratamiento empleando lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica y al evaluar el análisis posprueba

después del tratamiento se determinó el porcentaje de remoción de indicadores patógenos (coliformes termotolerantes y huevos de helmintos).

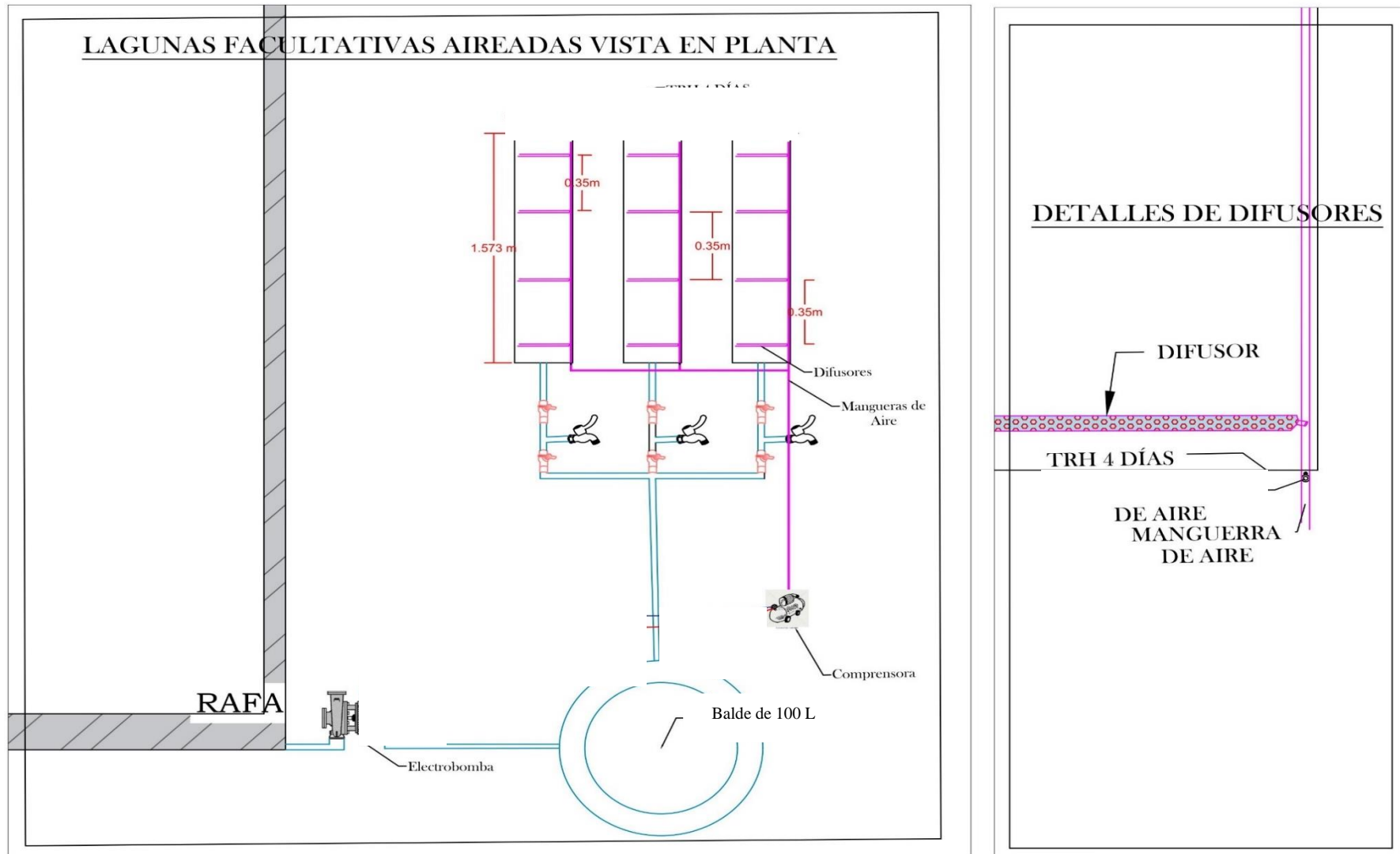
### **3.3.1 Descripción del sistema de tratamiento**

- El sistema consta de 3 reactores de vidrio de 160 L de capacidad, los cuales son abastecidos con el efluente del reactor anaeróbico de flujo ascendente (RAFA). En cada reactor se estableció un tiempo de retención hidráulica y se instaló un sistema de aireación por difusión para dar condiciones aeróbicas al tratamiento (Ver figura 2 y figura 3).
- El abastecimiento de agua a tratar se logró mediante la utilización de una electrobomba controlada por electronivel que abastecerá a un tanque de distribución el cual alimentará a cada reactor, con caudales de 0.037, 0.027 y 0.022 L/min, para tener tiempos de retención hidráulica de 3, 4 y 5 días respectivamente.
- La aireación fue impulsada por una bomba compresora de aire operando las 24 horas del día, las instalaciones se realizaron con mangueras de aire teniendo una llave de paso para regular la cantidad de aire y homogenizar. En cada reactor de vidrio se instaló 4 difusores de aire de piedra pómez.





**Figura 2.** Diseño del sistema de tratamiento.

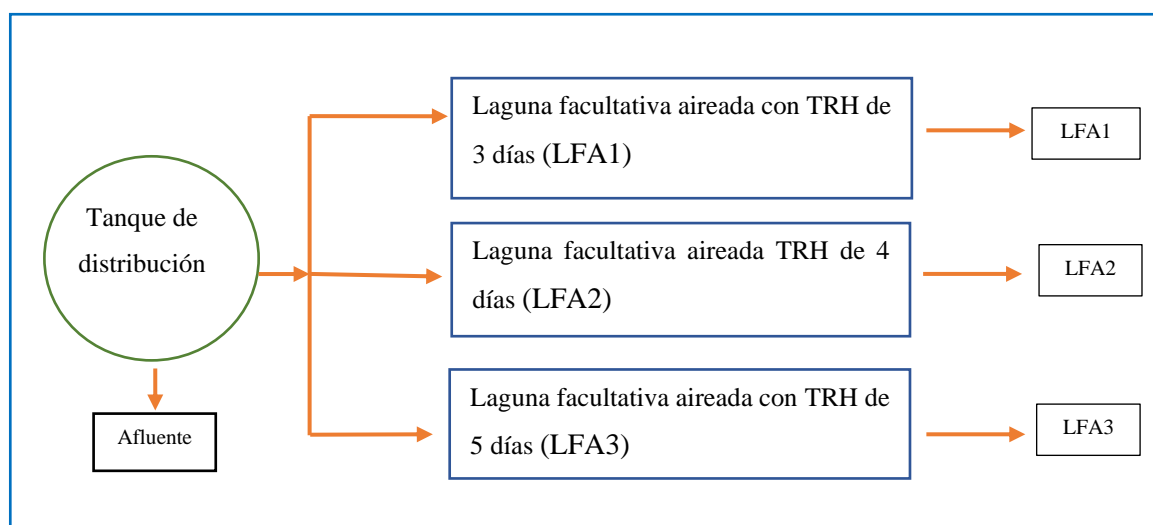


**Figura 3.** Diseño del sistema de tratamiento vista en planta

### 3.3.2 Metodología aplicada

#### a) Fase de campo

- **La instalación del sistema:** se empezó con la delimitación del área y la construcción de la caseta de madera con una altura de 2 metros, paredes de malla metálica, techo de calamina transparente; luego se procedió a la instalación del sistema de tratamiento tal como se muestra en la figura 2 y figura 3.
- **La puesta en marcha del sistema:** el sistema estuvo en funcionamiento inmediatamente después de la instalación, donde la aclimatación y arranque del sistema fue de 1 semana (CONAGUA 2015).
- **Identificación de puntos de muestreo:** los puntos de monitoreo para los análisis, estuvieron claramente identificados y cumpliendo con las características del diseño.



**Figura 4.** Puntos de monitoreo

Donde:

- Afluente: Punto de muestreo 1
- LFA1: Punto de muestreo 2
- LFA2: Punto de muestreo 3
- LFA3: Punto de muestreo 4

- **Frecuencia de monitoreo:**
  - Para los parámetros de: temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad eléctrica, se realizaron de manera diaria por el periodo que duró la investigación, y su determinación se realizó en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental mediante el Multiparámetro Hanna.
- Para los parámetros de estudio: coliformes termotolerantes (CTT), huevos de helmintos (HH), la frecuencia de monitoreo fue, tal como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 3.** Frecuencia de monitoreo

Punto de muestreo	Parámetro	Semana					
		1		2		3	
		2/03/2021	6/3/2021	9/3/2021	13/03/2021	26/062021	30/06/2021
Afluente	CTT, HH	X	x	x	x	X	x
LFA1		X	x	x	x	X	x
LFA2		X	x	x	x	X	x
LFA3		X	x	x	x	X	x

- **Toma de muestras para CTT y HH:** se realizó en cada uno de los puntos de monitoreo, a fin de analizar los parámetros establecidos. Las muestras recolectadas fueron preservadas teniendo en cuenta cada uno de los parámetros considerados tal como se describe a continuación

**Tabla 4.** Requisitos para la toma de muestra de agua residual y preservación de las muestras para el monitoreo

Parámetro	Recipiente	Volumen mínimo de muestra	Preservación y concentración	Tiempo máximo de duración
Coliformes termotolerantes	Vidrio esterilizado	250 ml	Refrigerar a 4°C	6 horas
Huevos de helmintos	Vidrio	250 ml	Refrigerar a 4°C	6 horas

Fuente: standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22<sup>nd</sup> Edition, 2012

Las muestras fueron debidamente codificados y etiquetados antes de la toma de las muestras indicando claramente: el origen y punto de muestreo, código de la muestra, responsable del muestreo, fecha y hora de muestreo, luego fueron guardadas en un cooler

térmico en forma ordenada conteniendo los ice pack, para luego ser trasladados al Laboratorio Regional del Agua, cumpliendo con los protocolos establecidos

El llenado del formato de la cadena de custodia se realizó al entregar las muestras al laboratorio indicando: la identificación y localización de la muestra y hora de muestreo, tipo de muestra, volumen, número de muestras, número de recipiente, parámetro a ser evaluados y toma de temperatura.

## **b) Fase de laboratorio**

Las muestras recolectadas fueron entregados al laboratorio en el menor tiempo posible de haberse realizado el muestreo, cumpliendo con los requisitos de volumen, preservación y conservación de la muestra. Los análisis de estudio para CTT y HH se realizó en el Laboratorio Regional del Agua de Cajamarca acreditado por el Organismo Peruano de Acreditación INACAL.

**Tabla 5.** Método de ensayo de CTT y HH

<b>Parámetro</b>	<b>Método de ensayo</b>
<b>Coliformes termotolerantes (NMP)</b>	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 A, B, C, E. 23 <sup>rd</sup> Ed. 2017: Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Fecal Coliform Procedure.
<b>Huevos de helmintos (HH)</b>	NMX-AA-113-SCFI. 2012: Medición del número de huevos de helmintos en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - método de prueba.

Fuente: Laboratorio regional del agua- Cajamarca

## **c) Trabajo de gabinete**

El trabajo de gabinete se basó en el estudio y estructuración de los resultados obtenidos para todos los parámetros de estudio en las diferentes muestras del agua residual; a través de los cuales conseguiremos determinar el porcentaje de remoción de las lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica en el tratamiento de agua residual.

- . La determinación del porcentaje de remoción de indicadores patógenos se determinó de la siguiente manera:

- Primero se calculó los valores promedios de CTT y HH en cada punto de monitoreo establecidos en el sistema de tratamiento.
- Haciendo uso de los valores promedios de CTT y HH, obtenidos en cada punto de monitoreo establecidos del sistema se determinará el porcentaje de remoción aplicando la siguiente fórmula:

$$\% \eta \text{ remoción} = \frac{C \text{ afluente} - C \text{ efluente}}{C \text{ afluente}} * 100$$

Donde:

$\eta$ : Eficiencia de remoción (%)

**C afluente:** Concentración en la entrada

**C efluente:** Concentración en la salida

- Para el procesamiento de datos de CTT, HH, T°, pH, OD y CE se utilizó el análisis de variancia para un factor, ya que es una técnica mediante la cual se prueba las medias de los tratamientos y se observa las fuentes de variabilidad de la variable en respuesta.

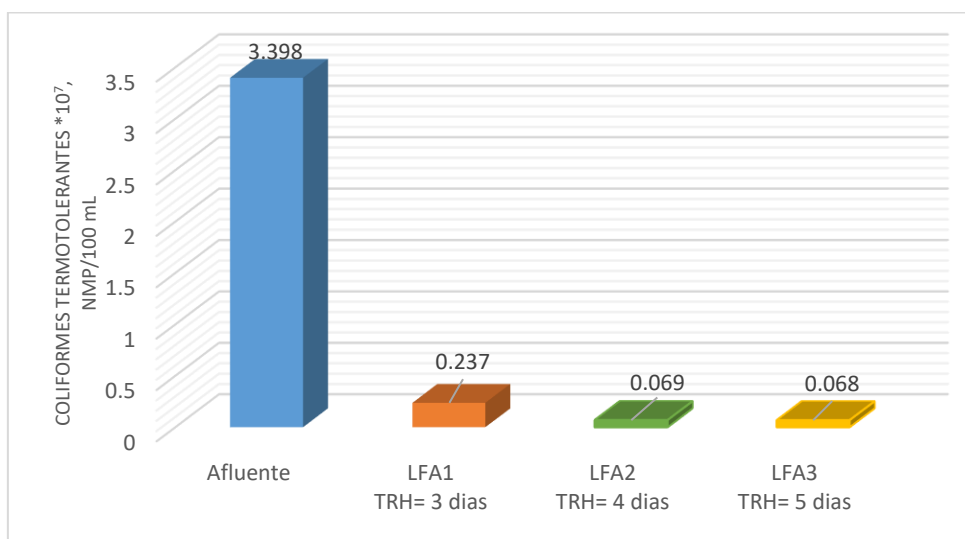
## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 INDICADORES PATÓGENOS

##### 4.1.1 Concentración de coliformes termotolerantes (CTT)

La concentración de CTT fue en promedio de  $3.398 \times 10^7$  NMP/100mL en el afluente, y en los efluentes de  $2.37 \times 10^6$  NMP/100mL en LFA<sub>1</sub>,  $6.96 \times 10^5$  NMP/100mL en LFA<sub>2</sub> y  $6.85 \times 10^5$  NMP/100mL LF<sub>3</sub>, mostrando que el sistema de tratamiento reduce la cantidad de CTT con respecto a su afluente.



**Figura 5.** Promedios de CTT en el afluente y efluentes.

En la figura 5, se observa que la concentración de coliformes termotolerantes en el afluente, es mayor a los efluentes (LFA<sub>1</sub>, LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>3</sub>), evidenciando que a mayor tiempo de retención hidráulica (TRH) hay menor concentración de CTT. A mayor TRH, es posible que ocurran procesos de modificación del pH incrementado por el consumo de CO<sub>2</sub> de las algas; en el sistema de tratamiento se tiene en el afluente un pH de 7.3 y en los efluentes LFA<sub>1</sub>, LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>3</sub> se tiene 9.01, 9.42 y 9.84 pH respectivamente, y las bacterias toleran rangos más cortos de pH (CONAGUA 2007), y también los procesos de floculación biológica se presentan

cuando los microorganismos tienen la oportunidad en el tiempo de entrar en contacto y son removidos por gravedad. Pese a que se observa que en LFA<sub>1</sub>, LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>3</sub> se dio una disminución de las concentraciones de CTT con respecto al afluente, aún en los efluentes se tiene concentraciones que pueden traer problemas a la salud al ser utilizadas para riego y bebida de animales, ya que según LMP para efluentes de plantas de tratamiento se debe tener 10 000 NMP/100mL de CTT.

**Tabla 6.** Análisis de varianza (ANOVA) para los coliformes termotolerantes.

Fuente de variabilidad	Suma de Cuadrado	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P – valor
TRH	4.8 x10 <sup>15</sup>	3	1.6 x10 <sup>15</sup>	6.92	0.0022
Error	4.7 x10 <sup>15</sup>	20	2.2 x10 <sup>15</sup>		
Total	9.5 x10 <sup>15</sup>	23			

$$CV = 46.17 \%$$

En la tabla 6, se muestra los resultados del análisis de varianza para los coliformes termotolerantes, en el cual se ve que, si hay significancia estadística para el tiempo de retención hidráulica, debido a que, el valor de significancia (p-valor: <0.0001) para esta fuente de variación es menor del 0.05 (5 %). Es decir que la diferencia de los niveles de coliformes termotolerantes en los distintos reactores se debe al tiempo de retención hidráulica. A mayor tiempo de retención hidráulica se logra mayor disminución y/o reducción de indicadores patógenos, coincidiendo así con Prado (2015), que indica que a mayor TRH se logra mayor eliminación de contaminantes patógenos.

El coeficiente de variación es 46.17 %, indica alta variabilidad de los resultados (datos) en las concentraciones de coliformes termotolerantes en los reactores, asumido por la variabilidad de las características del agua residual afluente (presencia de días muy lluviosos por tanto mayor dilución y días sin lluvia, agua más concentrada) y que se deben corregir en futuros trabajos utilizando aguas residuales homogéneas. Además, la variación de datos en el afluente es mucho mayor con respecto a los del efluente, haciendo que la media sea menos



representativa y por ende se tenga un alto valor del coeficiente de variación, para este parámetro.

**Tabla 7.** Prueba de significancia de Tukey al 5 % coliformes termotolerantes según el tiempo de retención hidráulica

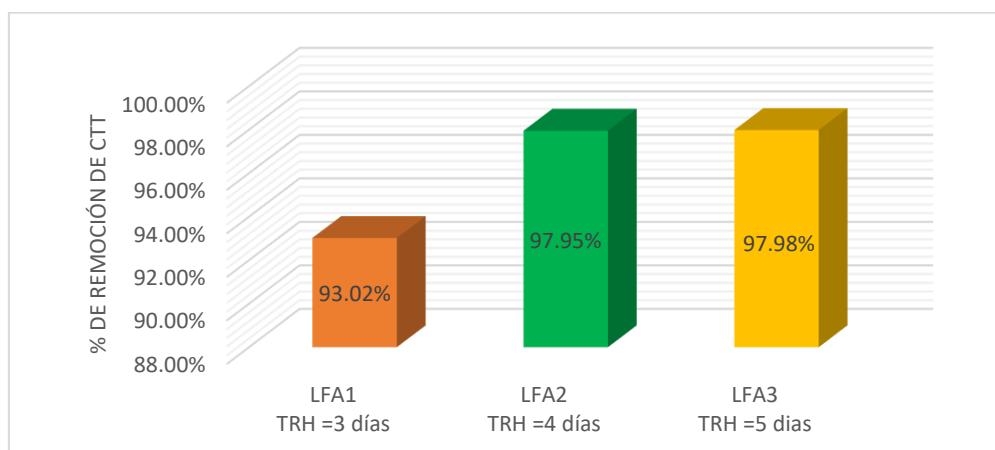
Punto de muestreo	TRH (días)	Coliformes Termotolerantes (NMP/100mL)	Agrupación por Tukey
Afluente	0	$3.398 \times 10^7$	A
LFA <sub>1</sub>	3	$2.37 \times 10^6$	B
LFA <sub>2</sub>	4	$6.69 \times 10^5$	B
LFA <sub>3</sub>	5	$6.68 \times 10^5$	B

En la tabla 7, se muestra los valores arrojados para la prueba de Tukey al 5 % para los coliformes termotolerantes en relación al tiempo de retención hidráulica, en el cual se observa que los resultados obtenidos en el afluente son significativamente diferente y superior al resto. Según la prueba, estos resultados son casi iguales pese a sus diferencias numéricas, mostrando así, que no hay amplia variación por el tiempo de retención hidráulica ya que los caudales también tienen mínimas diferencias.

#### 4.1.2 Porcentaje de remoción de coliformes termotolerantes (CTT)

**Tabla 8.** Porcentaje de remoción de CTT

Puntos de muestreo	Concentración promedio NMP/100mL		Porcentaje de remoción
	Afluente	Efluente	
LFA <sub>1</sub>		$2.37 \times 10^6$	93.02 %
LFA <sub>2</sub>	$3.398 \times 10^7$	$6.96 \times 10^5$	97.95 %
LFA <sub>3</sub>		$6.85 \times 10^5$	97.98 %

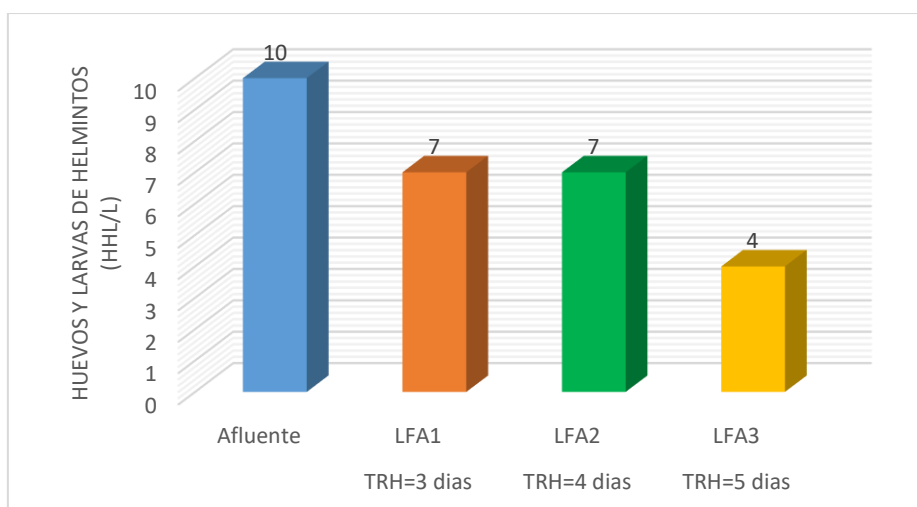


**Figura 6.** Porcentaje de remoción de CTT en las Lagunas facultativas aireadas según el TRH.

En la tabla 8 y figura 6, se observa que el mayor porcentaje de remoción de CTT se obtuvo en la LFA<sub>3</sub> en relación a la LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>1</sub>, esto muestra que el tiempo de retención hidráulica ejerce un efecto significativo en la reducción de los CTT a medida que este es mayor, a pesar que no hay amplia variación y/o rango del TRH en cada laguna facultativa aireada. El porcentaje de remoción de CTT en cada reactor (laguna facultativa aireada) estaría relacionado a factores externos como la T° y el pH, ya que, como manifiestan algunos autores a mayores temperaturas se da mayores procesos de remoción (CENTA 2008), y que un pH alcalino genera la muerte de bacterias y crecimiento de algas y por ende se da el agotamiento de nutrientes (CONAGUA, 2007).

Los porcentajes de remoción de CTT alcanzados en LFA<sub>1</sub>, LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>3</sub> fueron superiores y/o mayores a los alcanzados por Briones (2019) quien obtuvo una eficiencia de 84.70 % de remoción de CTT luego de evaluar el efluente de la laguna facultativa de la PTAR de Celendín, comprobando que es ineficiente ya que se debería obtener una eficiencia de 99.99%; y a los obtenidos por Quispe (2021) quien al evaluar la eficiencia de la PTAR-Cajabamba en la remoción de CTT obtuvo un 71 % pese a que en dicha PTAR cuenta con un sistema de desinfección.

#### 4.1.3 Concentración de huevos de helmintos (HH)



**Figura 7.** Promedio de huevos de helmintos en el afluente y efluentes del sistema de tratamiento

En la figura 7, se observa la concentración de huevos de helmintos que se tiene en el afluente y los efluentes, donde el afluente presenta mayores concentraciones promedio (10 HH/L), también se observa que los valores promedio tanto LFA<sub>1</sub> y LFA<sub>2</sub> son iguales (7 HH/L), esto se debería a que no hubo amplia variación en el TRH y los caudales (diferencias mínimas) y también a que los helmintos son altamente resistentes a los cambios de pH, humedad y temperatura incluso a la desinfección tal como lo indica (Ríos et al. 2017). De los resultados obtenidos también se observa que los efluentes sobrepasan los límites máximos admitidos por la OMS que en el 2006 estableció como permisible una concentración de 1 HH/L y que sería muy riesgoso utilizar estas aguas para riego y/o bebida de animales (OMS 2006, citado por Campos et al 2018).

**Tabla 9.** Análisis de varianza (ANOVA) para los huevos de helmintos

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrado	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P - valor
Lagunas	3.29	3	1.1	5.73 **	0.0054
Error	3.83	20	0.19		
Total	7.12	23			

**CV = 16.7 %**

En la Tabla 9, se evidencia los resultados del análisis de varianza para huevos de helmintos en el que se puede ver la significancia estadística del TRH, en relación al valor de significancia (p-valor: <0.0054) para esta fuente de variación es menor de 0.05 (5 %), o sea, que el TRH tiene un efecto positivo en la reducción de huevos de helmintos.

El coeficiente de variación es 16.7 %, este valor indica la variabilidad de datos de la concentración de huevos de helmintos en cada reactor.

**Tabla 10.** Prueba de significación de Tukey al 5 % para los huevos de helmintos obtenidos según el tiempo de retención hidráulica.

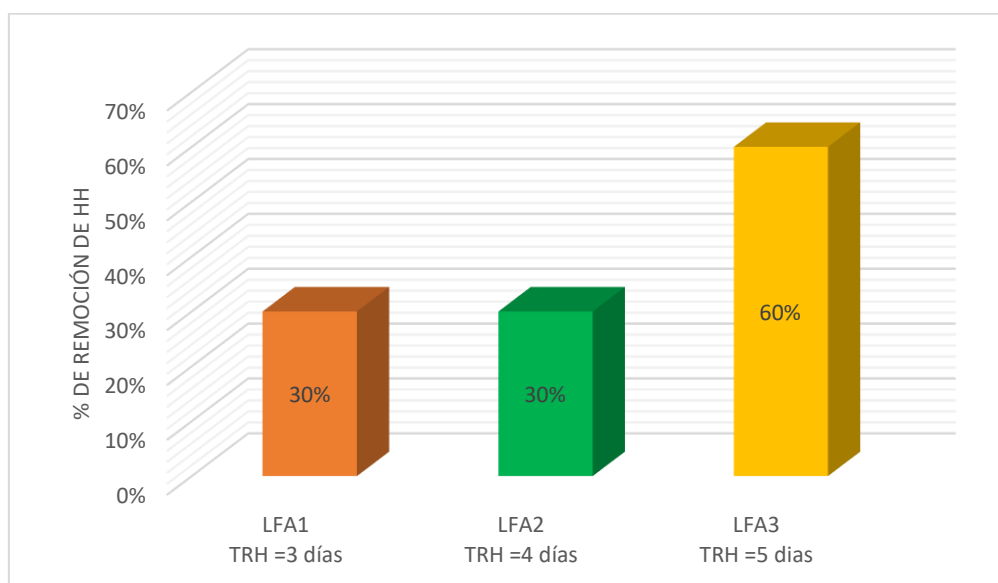
Punto de monitoreo	TRH. días	Huevos helmintos HH/L	Agrupación por Tukey
Afluente	0	10	A
LFA <sub>1</sub>	3	7	B
LFA <sub>2</sub>	4	7	B
LFA <sub>3</sub>	5	4	C

En la Tabla 10, se observa los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para el número de huevos de helmintos en función al tiempo de retención hidráulica, donde los huevos de helmintos obtenidos en los efluentes LFA<sub>1</sub> y LFA<sub>2</sub> son estadísticamente iguales y a la vez superiores al obtenido en el efluente LFA<sub>3</sub>. Mostrando así que a los 5 días de TRH se eliminan mayor cantidad de huevos de helmintos.

#### 4.1.4 Porcentaje de remoción de huevos de helmintos (HH)

**Tabla 11.** Porcentaje de remoción de HH

Puntos de muestreo	Concentración promedio HH/L		Porcentaje de remoción
	Afluente	Efluente	
<b>LFA1</b>		7	30 %
<b>LFA2</b>	10	7	30 %
<b>LFA3</b>		4	60 %



**Figura 8.** Porcentaje de remoción de huevos de helmintos en las lagunas facultativas aireadas según el TRH

En la tabla 11 y figura 8, se aprecia que el porcentaje de remoción alcanzado para HH, en LFA<sub>1</sub> y LFA<sub>2</sub> son igual 30% (no hubo un rango significativo con respecto al TRH) y el mayor porcentaje de remoción de HH se obtuvo la LFA<sub>3</sub> de 60%, pero cabe indicar que a pesar de ello, todos los efluentes del sistema de tratamiento con lagunas facultativas aireadas solo logran una remoción limitada de HH, debido a que se requiere de altos periodos de retención hidráulica para tener mayores porcentajes de remoción y así la concentración del efluente no constituya un riesgo a la salud de la población, ya que el riesgo potencial de adquirir enfermedades con parásitos intestinales humanos es mayor que con bacterias, debido a la alta resistencia de estos organismos a las condiciones ambientales, incluso a la desinfección con cloro tal como lo indica, Quispe (2021), que al evaluar la eficiencia de remoción de HH en la PTAR- Cajabamba, obtuvo una eficiencia de 35 %, pese a que cuenta con un proceso de desinfección. De los resultados obtenidos se podría afirmar que las lagunas facultativas aireadas solo logran una remoción limitada de helmintos; y que los tiempos de retención hidráulica son muy cortos, además de que los HH son altamente resistentes a los cambios de temperatura, pH e incluso a los procesos de desinfección con cloro (Espinoza 2010).

## 4.2 EVALUACIÓN DE PARÁMETROS MEDIDOS IN SITU

### 4.2.1 Temperatura (T°)

**Tabla 12.** Análisis de varianza (ANOVA) para la temperatura (°C)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrado	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P – valor
TRH	0.98	3.00	0.33	0.104	0.9582
Error	<b>331.18</b>	104.00	3.18		
Total	332.16	107.00			

$$CV = 9.41 \%$$

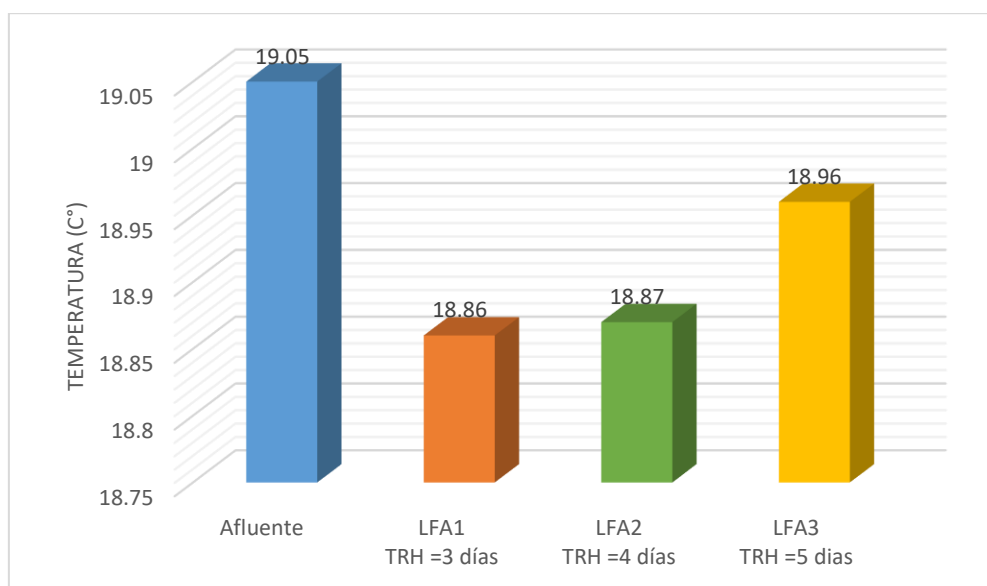
En la Tabla 12, se muestra los resultados del análisis de varianza para la temperatura, en los cuales se aprecia que no hay significancia estadística para el tiempo de retención hidráulica,

debido a que el valor de significancia (p-valor: 0.104) para esta fuente de variación es superior al 0.05 (5 %). Esto debido a que las diferencias de la temperatura obtenida en los distintos tratamientos no se deben al tiempo de retención hidráulica, dicho de otra manera, el tiempo de retención hidráulica no produce un efecto significativo en la temperatura.

El coeficiente de variación es de 9.41 %, este valor indica la variabilidad de datos de la temperatura de los reactores.

**Tabla 13.** Prueba de significación de Tukey al 5 % para la T° obtenidos según el tiempo de retención hidráulica.

Punto de monitoreo	TRH (días)	Temperatura T°	Agrupación por Tukey
<b>Afluente</b>	0	19.05	B
LFA <sub>1</sub>	3	18.86	A
LFA <sub>2</sub>	4	18.87	A
LFA <sub>3</sub>	5	18.96	A



**Figura 9.** Temperatura promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema

En la Tabla 13 y Figura 9, se observa los resultados de la prueba de Tukey al 5 %. En el afluente se tiene una mayor temperatura debido a la procedencia del mismo (efluente con tratamiento anaeróbico), la temperatura en tratamientos anaeróbicos es mayor a la de los tratamientos aeróbicos (Romero 2004); en los efluentes se observa un ligero incremento respecto al tiempo de retención hidráulica, esto puede deberse a que a mayores tiempos de

retención hidráulica las reacciones biológicas aumentan generando un aumento de temperatura (Rolim 1999). La temperatura del agua en los efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) no se vería afectada por la temperatura ambiente ya que durante la ejecución del proyecto se registró una temperatura ambiente con un promedio de 15.8 °C, y un rango de 9 a 23.8 °C, coincidiendo así con (Menéndez y Díaz 2006).

En lagunas facultativas aireadas se establece temperaturas entre 18-26 °C (Shah et al. 2012), por lo que podemos decir que los resultados obtenidos se encuentran dentro de los rangos normales, además de tener temperaturas similares a los análisis de temperatura realizados por (Salazar 2021).

#### 4.2.2 Potencial de hidrógeno según el tiempo de retención hidráulica (TRH)

**Tabla 14.** Análisis de varianza para el pH

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrado	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P – valor
TRH	100.87	3	33.62	90	<0.0001
Error	38.85	104	0.37		
Total	139.73	107			

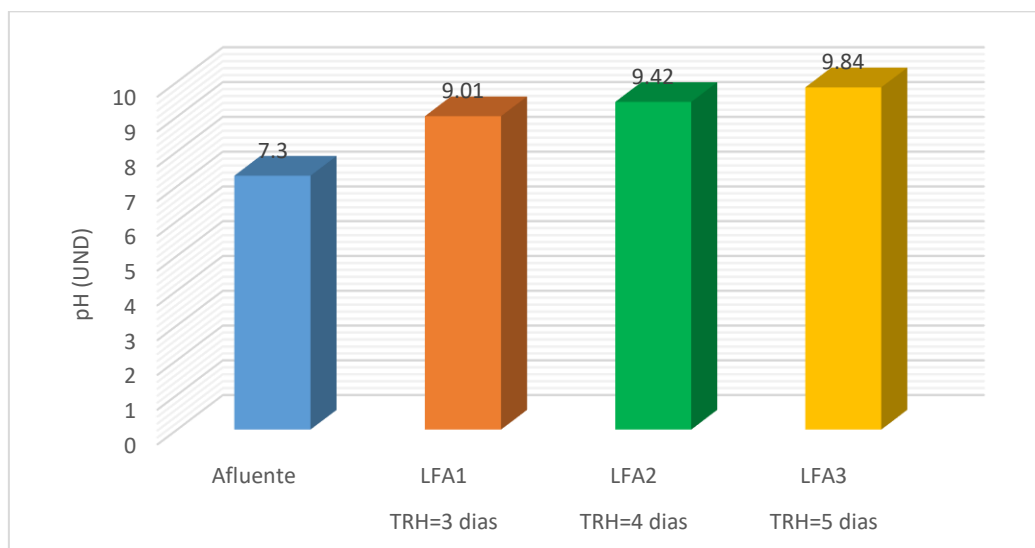
**CV = 6.31 %**

En la Tabla 14, se muestran los valores del análisis de varianza para el pH, en donde se aprecia que, si existe significancia estadística para el tiempo de retención hidráulica, debido a que el valor de significancia (p-valor: <0.0001) para esta variable es inferior al 0.05 (5 %). Esto muestra que los distintos valores del pH obtenido en los tres reactores se deben al efecto del tiempo de retención hidráulica.

El coeficiente de variabilidad es 6.87 %, este valor indica la variación del pH dentro de los reactores.

**Tabla 15.** Prueba de significación de Tukey al 5 % para el pH obtenido según el tiempo de retención hidráulica.

Punto de muestreo	TRH (días)	pH	Agrupación por Tukey
Afluente	0	7.3	C
LFA <sub>1</sub>	3	9.01	B
LFA <sub>2</sub>	4	9.42	A
LFA <sub>3</sub>	5	9.84	A



**Figura 10.** pH en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema

En la tabla 15 y figura 10, se muestran los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para el pH obtenido de acuerdo al TRH, en los cuales se evidencia que a mayor TRH el pH es más alcalino obteniendo valores hasta 9.84 esto se debe a que como consecuencia del TRH los rayos ultravioletas favorecen el crecimiento de las algas, con una intensa actividad fotosintética de las algas presentes en cada reactor de lagunas facultativas aireadas. Las algas pueden incrementar el pH a valores superiores a 11 (Mara 2013, citado por Andrade y Peña 2017). También al tener pH alcalino en el sistema, es por el proceso de digestión aerobia realizado por el sistema de aireación de las lagunas facultativas aireadas, el cual realiza procesos de oxidación de la materia orgánica, tal como lo afirma Velasco (2018). Según Salazar (2021), en su investigación con lagunas facultativas a escala en función al TRH, obtuvo valores promedios que varía entre 8.87 y 10, indicando que a medida que aumenta el TRH aumenta el pH volviéndose más alcalino.



### 4.2.3 Conductividad eléctrica (CE) según el tiempo de retención hidráulica (TRH).

**Tabla 16.** Análisis de varianza (ANOVA) para la conductividad eléctrica (CE)

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrados	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P – valor
TRH	914032.77	3	304677.59	29.3	<0.0001
Error	1081608.8	104	10400.08		
Total	1995641.5	107			

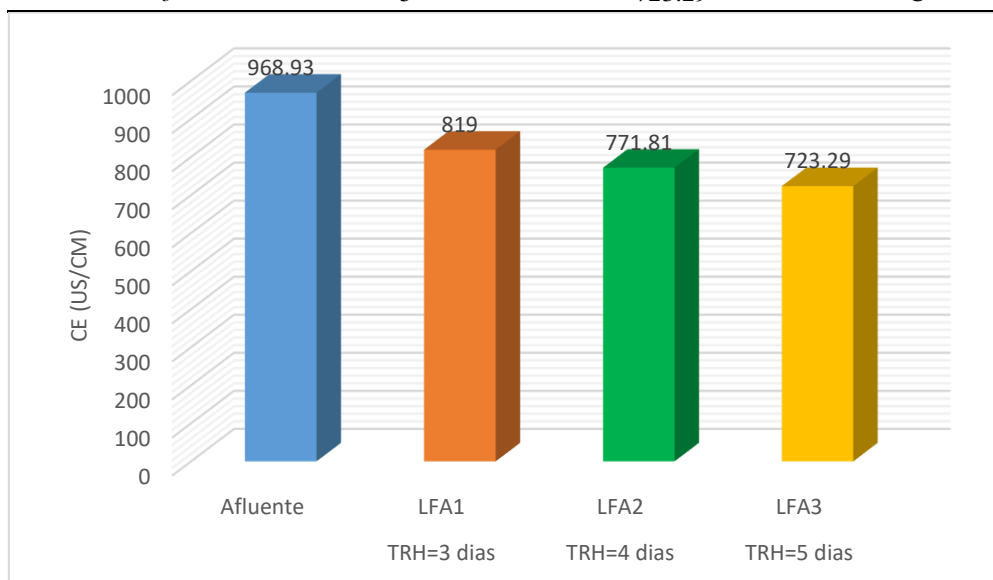
**CV = 12.43 %**

En la tabla 16, se muestran los resultados del análisis de varianza en la conductividad eléctrica, indicando de que existe significancia estadística para el tiempo de retención hidráulica, debido a que el valor establecido (p-valor: <0.0001) para esta variable es inferior al 0.05 (5 %). Esto se debe a, que el tiempo de retención hidráulica favorece la disminución de la CE.

El coeficiente de variabilidad es 12.43 %, este resultado indica la variación de la conductividad eléctrica dentro de los reactores.

**Tabla 17.** Prueba de significación de Tukey al 5 % para la conductividad eléctrica en función al tiempo de retención hidráulica.

Punto de muestreo	TRH (días)	Conductividad eléctrica (CE) $\mu\text{S/cm}$	Agrupación por Tukey
Afluente	0	968.93	A
LFA <sub>1</sub>	3	819	B
LFA <sub>2</sub>	4	771.81	C
LFA <sub>3</sub>	5	723.29	C



**Figura 11.** Conductividad eléctrica en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema.

En la tabla 17 y figura 11, están los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para la conductividad eléctrica según el tiempo de retención hidráulica, en el que se muestra, para el afluente un valor considerablemente mayor y distinto a los efluentes que a medida que se aumenta el TRH, la conductividad eléctrica disminuye. Mostrando así que el TRH tiene efecto significativo en la reducción de la CE, la causa de esta diferencia radica en que la conductividad depende de la cantidad de sales disueltas presentes en un medio líquido, por ello, a medida que los procesos de tratamiento son llevados a cabo, la resistencia de la solución cambia por ende la medida (Prado 2015). Hay diferencia significativa entre afluente y efluentes, pero no entre LFA2 y LFA3.

#### 4.2.4 Oxígeno disuelto (OD) según el tiempo de retención hidráulica (TRH)

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

Fuente de variabilidad	Suma de cuadrado	Grado de libertad	Cuadrado promedio	F calculado	P – valor
TRH	164.16	2	82.08	24.74	<0.0001
Error	258.75	78	3.32		
Total	422.91	80			

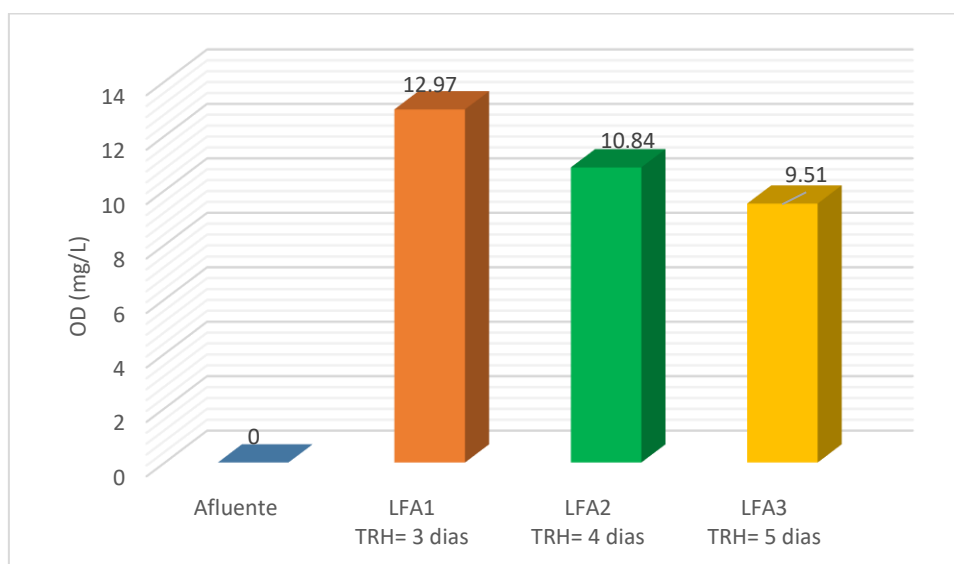
**CV = 16.4 %**

En la Tabla 18, se detalla los resultados del análisis de varianza para oxígeno disuelto, mostrando que, si hay significancia estadística para el tiempo de retención hidráulica, debido a que el valor de significancia (p-valor: <0.0001) para esta variable es inferior al 0.05 (5 %). Esto indica que la variabilidad del oxígeno en los tres reactores se da, debido a la influencia del tiempo de retención hidráulica, mejor dicho, el tiempo de retención hidráulica establece significancia en el oxígeno disuelto.

El coeficiente de variación es 16.4 %, este valor muestra la variabilidad del oxígeno disuelto dentro de los tres reactores.

**Tabla 19.** Prueba de significación de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto obtenido según el tiempo de retención hidráulica.

Punto de monitoreo	TRH	Oxígeno disuelto (mgO/L)	Agrupación por Tukey
Afluente	0	0	D
<b>LFA<sub>1</sub></b>	3	12.97	A
<b>LFA<sub>2</sub></b>	4	10.84	B
<b>LFA<sub>3</sub></b>	5	9.51	C



**Figura 12.** Oxígeno disuelto en promedio en el afluente y efluentes (LFA1, LFA2 y LFA3) del sistema

En la Tabla 19 y Figura 12, se observa los resultados de la prueba de Tukey al 5 % para el oxígeno disuelto según el TRH, en donde se observa que en el afluente no hay presencia de oxígeno disuelto, debido al tratamiento anaeróbico de su procedencia (reactor anaerobio); en los efluentes LFA<sub>1</sub>, LFA<sub>2</sub> y LFA<sub>3</sub> se observa una disminución de la cantidad de OD a medida que se incrementó el TRH. Esto podría deberse a que a mayor TRH la actividad biológica es mayor, ocasionando mayor demanda de OD. Otro factor importante es la difusión del OD y la velocidad con la que el oxígeno es consumido por los microorganismos (Nuñez 2019). Los valores altos de oxígeno disuelto en el sistema de tratamiento también, se deben, a la aireación del sistema y a la interferencia de las algas, según Salazar (2021), en su sistema de tratamiento a mayor TRH el OD disminuyó, pero ante la elevada concentración de OD el autor indica que en su sistema hubo eutrofización.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIÓN

#### 4.1 CONCLUSIONES

- La laguna facultativa aireada con 5 días de tiempo de retención hidráulica presenta mayor porcentaje de remoción de indicadores patógenos, obteniendo un 97.98% en CTT y 60% en HH, en comparación a las lagunas facultativas aireadas con 3 y 4 días de tiempo de retención hidráulica con 93.02% y 97.95% en CTT y 30% y 30% en HH respectivamente.
- El afluente tiene concentraciones de  $3.398 \times 10^7$  NMP/100mL en CTT y 10 HH/L en HH, y en los efluentes de las lagunas facultativas aireadas con 3, 4 y 5 días de tiempo de retención hidráulica se obtuvo  $2.37 \times 10^6$ ,  $6.96 \times 10^5$  y  $6.85 \times 10^5$  NMP/100mL de CTT y 7, 7 y 4 HH/L en HH respectivamente.
- En la evaluación de los parámetros fisicoquímicos de las lagunas facultativas aireadas con tiempos de retención hidráulica (TRH) de 3, 4 y 5 días se tiene: en temperaturas resultados de 18.86, 18.87 y 18.96 °C; en pH se obtuvo valores de 9.01, 9.42 y 9.84; en conductividad eléctrica se obtuvo valores de 819, 771.81 y 723.29 723.29  $\mu\text{S}/\text{cm}$ ; en OD se obtuvo resultados de 12.97, 10.84 y 9.51 mgO/L respectivamente.

## **4.2 RECOMENDACIÓN**

La recomendación es seguir estudiando las lagunas facultativas aireadas a mayores tiempos de retención hidráulica, empleando distintos afluentes y a la vez se evalué la remoción de indicadores patógenos utilizando y/o empleando sistemas de desinfección, filtración, y/o combinación con otros sistemas lagunares.

## CAPÍTULO VI

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANA (Autoridad Nacional del Agua, Perú). 2018. Resolución Jefatural N° 136-2018 ANA. Lineamientos para la identificación y seguimiento de fuentes contaminantes relacionadas con los recursos hídricos. (En línea). Consultado 8 jul. 2019. Disponible en: <https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/R.J.%20136-2018-ANA.pdf>
- Andrade, L. y Peña, M. 2017.” Optimización energética de las lagunas aireadas de la planta de tratamiento de aguas residuales de Ucubamba”. Tesis ing. Ambiental e Civil. Ecuador, Universidad de Cuenca Ecuador. (En línea). Consultado el 20 de oct. 2019. Disponible en: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/27413/1/Trabajo%20de%20Titulaci%3bn.pdf>
- Bejarano, M; Escobar, M. 2015. Eficiencia del uso de microorganismos para el tratamiento de aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento de agua residual. Tesis Ing. Ambiental y Sanitario. Bogotá, Universidad de la Salle. 99 p.
- Botero, L; Zambrano, J; Oliveros, C; León, D; Sarcos, M; Martínez, M. 2002. Calidad microbiológica del agua de un sistema de lagunas de estabilización a ser empleada en irrigación. Revista de la Facultad de Agronomía, 19(4), 312-323. (En línea). Consultado el 12 de dic. 2020. Disponible en: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0378-78182002000400007&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182002000400007&lng=es&tlng=es).
- Briones, G. 2019. Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la remoción de coliformes totales, fecales y Escherichia coli, Celendín – Cajamarca. (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. Consultado 13 de nov. 2021. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3459/TESIS%20LENIN%20BRIONES%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Cabrera, A. y Ortiz, E. 2005. “Propuesta de diseño de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales domesticas para la parroquia San Pablo de Lago”. Tesis Ing. en Ciencias Ambientales y Ecodesarrollo. Ibarra, Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 116 p.
- Campos, M; Beltrán, M; Fuentes, N; Moreno, G. 2018. Huevos de helmintos como indicadores de contaminación de origen fecal en aguas de riego agrícola, biosólidos, suelos y pastos. Colombia. En línea. Consultado el 08 de diciembre del 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/bio/v38n1/0120-4157-bio-38-01-00042.pdf>
- CENTA (Centro de las nuevas tecnologías del agua de Sevilla). 2008. Manual de depuración de aguas residuales. (En línea). Consultado 10 de ag. del 2019. Disponible en <http://alianzaporelagua.org/documentos/MONOGRAFICO3.pdf>
- CONAGUA (Comisión nacional del Agua México). 2007. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de lagunas de estabilización. (En línea). Consultado 8 de ag. 2019 Disponible en: <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Publicaciones/Publicaciones/Libros/10DiseñoDeLagunasDeEstabilización.pdf>
- CONAGUA (Comisión nacional del Agua México). 2015. Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento, operación y mantenimiento de aguas residuales municipales: Lagunas aireadas. (En línea). Consultado 5 de jul. 2019 Disponible en: <http://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2016/04/SGAPDS-1-15-Libro48.pdf>
- CYTED (Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo). s.f. Agua potable para comunidades rurales reusó y tratamientos avanzados de aguas residuales domésticas. Capítulo 20, indicadores de contaminación fecal en aguas. (En línea). Consultado el 10 de jul. 2019. Disponible en: [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_20.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf)
- Dunner, S. 2004. Evaluación integral de plantas de tratamiento de aguas servidas y alternativas de tratamiento en localidades rurales concentradas. Aplicaciones en las regiones R.M Y VII. Tesis de Mg. de la Ing. Medición Recursos y Medio Ambiente. Chile, Universidad de Chile. 175 p.

- Espinoza, P. 2010. Planta de tratamiento de aguas residuales en San Juan de Miraflores. Tesis Mg. en Gestión y Auditorías Ambientales. Piura, Perú, Universidad de Piura. 264 p.
- 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. Cajamarca. Tesis para optar el título de ingeniero ambiental, universidad nacional de Cajamarca. (En línea). Consultado el 02 de nov. 2020. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3378/INFORME%20DE%20TE%20SIS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guevara, V.; León, S. 1996. Propuesta metodológica Evaluación de Lagunas de estabilización. Primera aproximación. OPS/CEPIS. Pág. 66 (En línea). Consultado 8 jul. 2019. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan2/031278/031278-a.pdf>
- Hernández, R.; Fernández, C; Baptista, P. 2008. Metodología de la investigación. 4 ed. México. Editorial McGraw-Hill. (En línea). Consultado el 08 de jun. 2019. Disponible en: [https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n\\_Sampieri.pdf](https://www.uv.mx/personal/cbustamante/files/2011/06/Metodologia-de-la-Investigaci%C3%83%C2%B3n_Sampieri.pdf)
- INDITEX 2015. Lagunas aireadas. Tratamiento secundario, (Serie FT-BIO-011). (En línea). Consultado el 10 de julio de 2019. Disponible en: <https://www.wateractionplan.com/documents/177327/558161/Lagunas+aireadas.pdf/9c714483-d624-b290-42f7-901dc59939b2>
- Larrea, J; Rojas, M; Romeu, B; Rojas, N; Heydrich, M. 2013. Bacterias indicadoras de contaminación fecal en la evaluación de la calidad de las aguas: revisión de la literatura CENIC Ciencias Biológicas (Serie 0122-7483) 44(3):24-34. (En línea). Consultado 10 de jul. 2019. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181229302004.pdf>
- Londoño, L. y Marín, C. 2009. “A Evaluación de la eficiencia de remoción de materia orgánica en humedales artificiales de flujo horizontal subsuperficial alimentados con agua residual sintética”. Tesis Tecnólogo Químico. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira, Facultad de Tecnología.
- Martínez, B. 2016. “Eficiencia en la remoción de la demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y sólidos suspendidos totales en la planta de tratamiento



de aguas residuales de la ciudad de Celendín”. Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca.

Menéndez, G. y Díaz, M. 2006. Lagunas diseño, operación y control. (En línea). Consultado el 8 de jul. 2019. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/284188161\\_Lagunas\\_Diseño\\_Operación\\_y\\_Control](https://www.researchgate.net/publication/284188161_Lagunas_Diseño_Operación_y_Control)

MINAM (Ministerio del Ambiente). Decreto supremo N° 003-2010-MINAM. (En línea). Límites Máximos permisibles (LMP) para efluentes de Plantas de tratamiento de Aguas Residuales Domesticas o Municipales. Lima, Perú. Consultado el 12 de enero del 2021. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/limites-maximos-permisibles-lmp-efluentes-plantas-tratamiento-aguas>

Mondargo, C. y Romani, M. 2015. Determinación experimental de los parámetros biocinéticos de los efluentes de la UNCP necesarios para el diseño de una laguna aireada. Tesis de Ing. Químico, Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Moscoso, C. 2011. Estudio de opiniones de tratamiento y reusó de agua residuales en lima Metropolitana. (En línea). Consultado el 9 de jul. 2019. Disponible en: [http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso\\_informe.pdf](http://www.lima-water.de/documents/jmoscoso_informe.pdf)

MVCS (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, PE). 2006. Reglamento nacional de edificaciones (DS N° 011-2006-VIVIENDA). Norma OS 090. Plantas de tratamiento de aguas residuales. (En línea). Consultado 13 abr. 2015. Disponible en: [http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE\\_Actualizado\\_Solo\\_Saneamiento.pdf](http://ww3.vivienda.gob.pe/Direcciones/Documentos/RNE_Actualizado_Solo_Saneamiento.pdf)

Núñez, M. 2019. Evaluación de la eficiencia del sistema de fitorremediación mediante las especies palustre y flotante, *Zantedeschia aethiopica* y *Eichhornia crassipes* en el tratamiento de aguas residuales domésticas en la zona de la región natural Quechua-Cajamarca. Tesis de Ing. Ambiental, Lima. Universidad Peruana de Unión.

Paredes, P. 2014. “Implementación del protocolo para la determinación de coliformes totales y e. Coli en agar Chromocult para la asociación municipal de acueductos comunitarios

AMAC”. Tesis Tecnóloga Química, Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira. 45 p.

París, R. 2004. Eficiencias de lagunas aireadas aeróbicas durante el período inicial de funcionamiento. (En línea). Consultado 31 de jul. 2019. Disponible en: [https://pdfs.semanticscholar.org/19d9/b35f9d2ddad0118c363f34e2aa87f6e424bd.pdf?\\_ga=2.242220162.1896876806.1564610525-972974392.1564610525](https://pdfs.semanticscholar.org/19d9/b35f9d2ddad0118c363f34e2aa87f6e424bd.pdf?_ga=2.242220162.1896876806.1564610525-972974392.1564610525)

Prado, O. 2015. “Aprovechamiento de aguas residuales en el patio taller de la línea 1 del metro de Lima”. Tesis Ing. Agrícola, Perú. Universidad Nacional Agraria la Molina. 125 p.

Quispe, A. 2021. Eficiencia de remoción de parámetros bacteriológicos y parasitológicos en la planta de tratamiento de arias residuales y su impacto en el río Lalicucho-Cajabamba. (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. Consultado 13 nov. 2021. Disponible en: [https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/4283/Tesis%20Jhener%20Jhone%20Quispe%20Alcántara\\_%20Informe%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/4283/Tesis%20Jhener%20Jhone%20Quispe%20Alcántara_%20Informe%20Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

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. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. Consultado 30 dic. 2019. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/3461/TESIS%20-%20Franklin%20Quispe%20Cotrino.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Quispe, H. 2013. Propuesta metodológica para la evaluación del sistema de tratamiento de aguas residuales domesticas mediante lagunas de estabilización- Azángaro. Tesis Ing. Agrícola. Puno, Perú, Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ingeniería agrícola. 181 p.

Ríos, S.; Agudelo, R.; Gutiérrez, L. 2017. Patógenos e indicadores microbiológicos de calidad del agua para consumo humano. Rev. Fac. Nac. Salud Pública. OI: 10.17533/udea.rfnsp.v35n2a08. (En Línea). Consultado 2012 de ag. del 2020 Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rfnsp/v35n2/0120-386X-rfnsp-35-02-00236.pdf>

- Rodríguez A. 2011. “Análisis de la situación de las agua servidas en zonas rurales de la IV, VI y RM de Chile y proposición de un sistema sustentable para su tratamiento”. Tesis Ing. Civil, Chile, Universidad de Chile. 151 p.
- Rolim, M. 1999 Lagunas Aireadas Mecánicamente. (En línea). Consultado 4 de jul. de 2019 Disponible en: <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/Julio2006/CD1/pdf/spa/doc13078/doc13078-a.pdf>
- Rolim, M. s.f. Guía para el dimensionamiento de un sistema de serie de dos lagunas aireadas, donde la primera es en aerobia con mezcla completa y la segunda facultativa. (En línea). Consultado 4 de julio de 2019 Disponible en: <http://65.182.2.246/docum/crid/Julio2006/CD1/pdf/spa/doc13078/doc13078-b.pdf>
- Romero, J. 2004. Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño. 3 ed. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 1248 p.
- Salazar, R. 2021. Eficiencia de remoción de constituyentes orgánicos en lagunas facultativas a escala en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín – Cajamarca. (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Cajamarca, Perú, Universidad Nacional de Cajamarca. Consultado 13 de nov. 2021. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/4083/SALAZAR%20RODRIGUEZ%20JEANS%20ROY.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Sánchez, M. 2005. Software para diseñar sistemas de lodos activados y lagunas aireadas. Conciencia Tecnológica. (En línea). Consultado 4 de jul. de 2019 Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/944/94403010.pdf>
- SHAH, M., HASHMI H.N., WAHEED, H. (2012). “Determinación de coeficientes cinéticos para el tratamiento biológico de aguas residuales textiles”.Revista Internacional de Ciencias Físicas (Serie 10.5897 / IJPS11.1265). (En línea). Consultado 05 dic. del 2020. Disponible en: <https://translate.google.com/translate?hl=es419&sl=en&u=https://academicjournals.org/journal/IJPS/article-abstract/F502B0B35684&prev=search&pto=aue>
- Valdez, E. Vásquez, G. 2003. Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales. (En línea). Consultado 8 jul. 2019. Disponible en:

[file:///C:/Users/USER/Downloads/ingenieria de los sistemas de tratamiento y disposicion de aguas residuales civilgeeks.pdf](file:///C:/Users/USER/Downloads/ingenieria%20de%20los%20sistemas%20de%20tratamiento%20y%20disposicion%20de%20aguas%20residuales%20civilgeeks.pdf)

Vega, M. s.f. Aguasresiduales.info: concepto de tiempo de retención hidráulico (en línea, sitio web). Consultado 8 jul. 2019. Disponible en <https://www.aguasresiduales.info/expertos/tus-consultas/definiciones-vDQkW>.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1. Matriz de consistencia

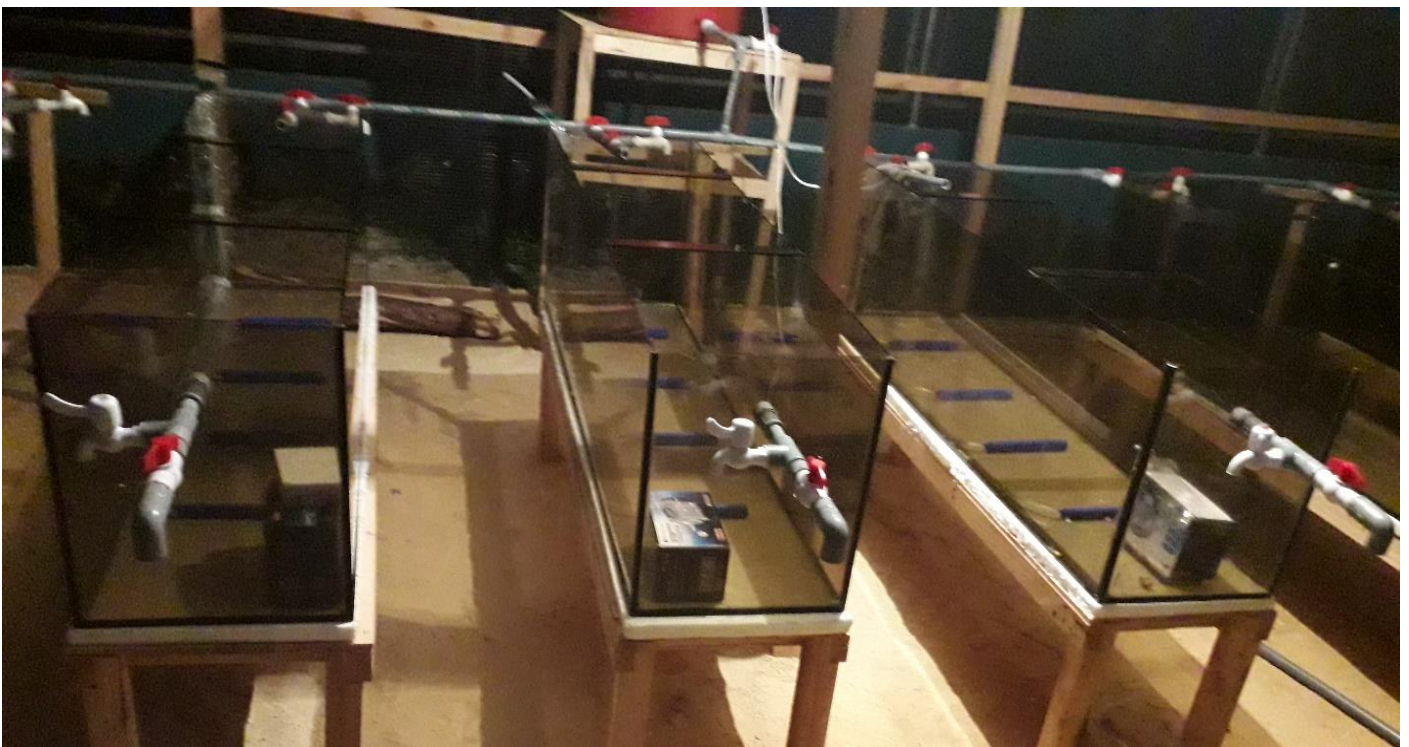
Tabla 20. Matriz de conciencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	UNIDAD DE ANÁLISIS
¿Cuál es el porcentaje de remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín?	<p><b>Objetivo principal</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar el porcentaje remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica.</li> </ul> <p><b>Objetivos específicos</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar la concentración de coliformes termotolerantes y huevos helmintos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica</li> <li>Evaluar los parámetros fisicoquímicos de temperatura, pH, conductividad eléctrica y oxígeno disuelto influyentes en las lagunas facultativas aireadas.</li> </ul>	El porcentaje de remoción de indicadores patógenos en lagunas facultativas aireadas en función al tiempo de retención hidráulica en la planta de tratamiento de aguas residuales de Celendín será superior al 70 %.	<p><b>Variable independiente:</b></p> <p>Tiempo de retención hidráulica</p> <p><b>Variable dependiente:</b></p> <p>Porcentaje de remoción de indicadores patógenos</p> <p><b>Variable influyente</b></p> <p>Propiedades fisicoquímicas del agua residual en el sistema de tratamiento</p>	Agua residual derivada del reactor anaerobio de flujo ascendente (RAFA) de la planta de tratamiento de aguas residuales de del distrito de Celendín.

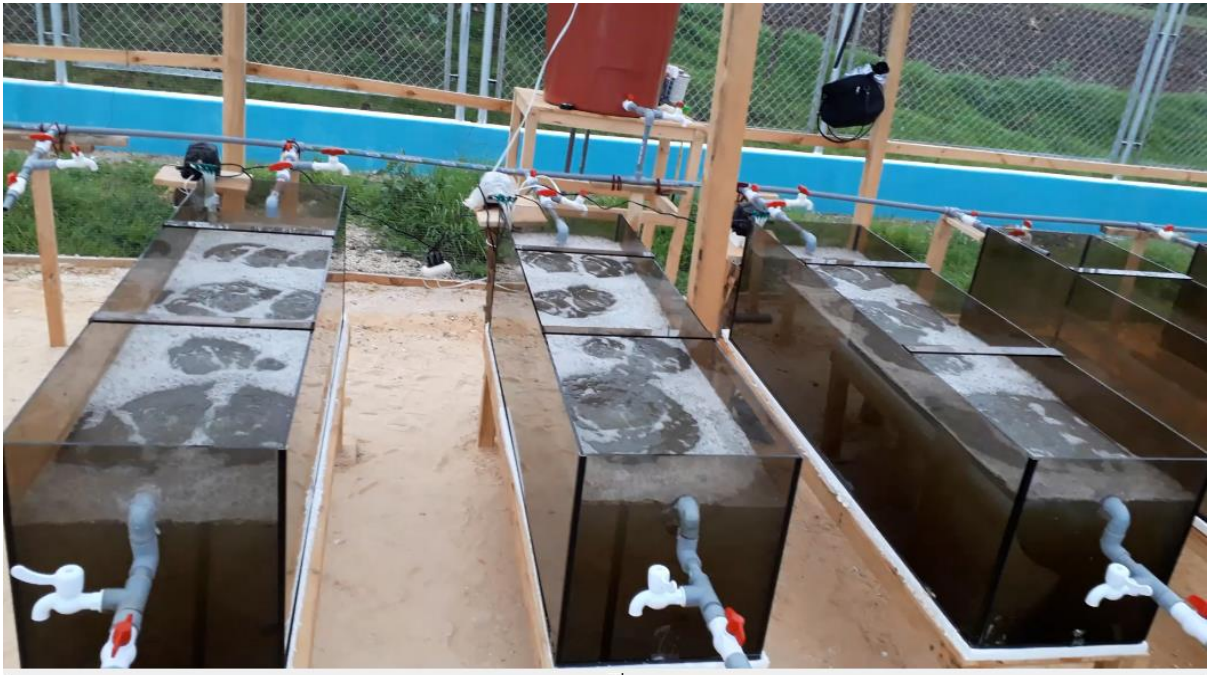
## ANEXO 2. Registro fotográfico del desarrollo de la tesis



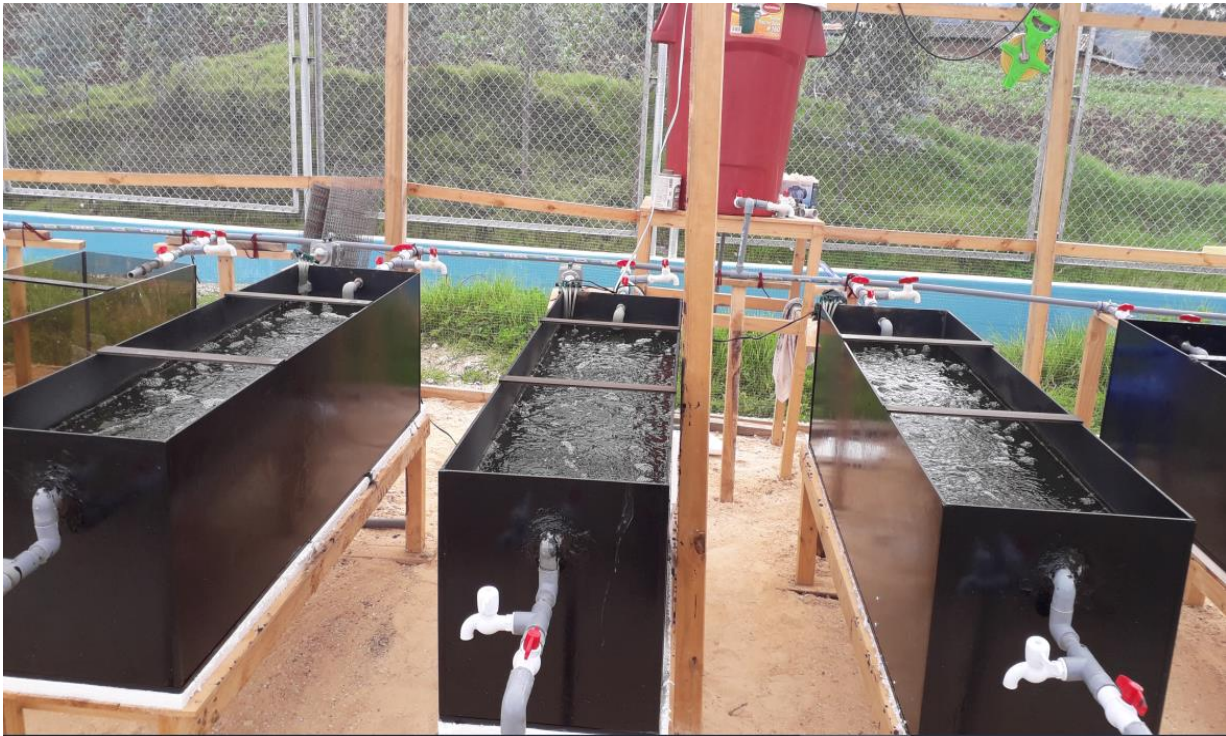
**Imagen 1.** Construcción de la caseta



**Imagen 2.** Instalación de los reactores, y conexiones del sistema



**Imagen 3.** Verificación del sistema de aireación y regulación del mismo.



**Imagen 4.** Arranque del sistema.





**Imagen 5.** Medición de los parámetros in situ.



**Imagen 6.** Recojo y etiquetado de muestras para envío al laboratorio

### ANEXO 3. Datos de temperatura ambiente

**Tabla 21.** Resultados de temperatura ambiente medios a distintas horas del día, durante la ejecución del proyecto.

N° de monitoreo	fecha de monitoreo	TEMPERATURA AMBIENTE DENTRO DE LA caseta		
		7:00 a. m.	12:00 p. m.	7:00 p. m.
1	2/03/2021	9	24	17
2	6/03/2021	11	25	14
3	9/03/2021	8	23	13
4	13/03/2021	8	24	15
5	26/062021	10	22	12
6	30/06/2021	10	25	14