

**UNIVERSIDAD NACIONAL
“SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO”
FACULTAD DE CIENCIAS DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA SANITARIA**



**“DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN DE
FANGOS EN SEDIMENTADORES SECUNDARIOS CON
DIFERENTES CONDICIONES GEOMÉTRICAS, PARA EL
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CLIMAS
ALTOANDINOS - 2019”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO SANITARIO**

Tesista: Br. KENYO GUSTAVO ANICETO MORALES

Asesor: Ing. NINO FRANKLIN ARAUJO JAMANCA

HUARAZ – PERU

2022





**ACTA DE SUSTENTACIÓN Y DEFENSA DE TESIS, PARA OPTAR EL
TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO SANITARIO**

Los Miembros del Jurado en pleno que suscriben, reunidos en la fecha, en el auditorium de la FCAM-UNASAM, para la Ceremonia de Sustentación de la Tesis, que presenta el señor Bachiller: **KENYO GUSTAVO ANICETO MORALES**.

Tesis Titulada: **“DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE PRODUCCIÓN DE FANGOS EN SEDIMENTADORES SECUNDARIOS CON DIFERENTES CONDICIONES GEOMÉTRICAS, PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN CLIMAS ALTOANDINOS - 2019”**

En seguida, después de haber atendida la exposición oral y escuchada las respuestas a las preguntas y observaciones formuladas lo declaramos:

APROBADO

Con el calificativo de:

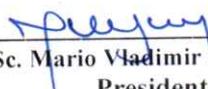
QUINCE (15)

En consecuencia, queda en condiciones de ser **APROBADO** por el Consejo de Facultad y recibir el Título Profesional de:

INGENIERO SANITARIO

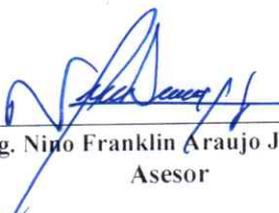
De conformidad con el Art. 113° numeral 113.9 del reglamento General de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario N° 399-2015-UNASAM), el Art. 48° del Reglamento General de Grados y Títulos de la UNASAM (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 761-2017-UNASAM) y el Art. 160° del Reglamento de Gestión de la Programación, Ejecución y Control de las Actividades Académicas (Resolución de Consejo Universitario – Rector N° 432-2016-UNASAM del 28-12-2016).

Huaraz, 20 de Mayo del 2022.


MSc. Mario Vladimir Leyva Collas
Presidente


M.Sc. Kiko Félix Depaz Celi
Primer Miembro


Dra. Judith Isabel Flores Albornoz
Segundo Miembro


Ing. Nino Franklin Araujo Jamanca
Asesor



Anexo de la R.C.U N° 126 -2022 -UNASAM
ANEXO 1
INFORME DE SIMILITUD.

El que suscribe (asesor) del trabajo de investigación titulado:

“Determinación del coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, para el tratamiento de aguas residuales en climas altoandinos – 2019”

Presentado por: Aniceto Morales Kenyo Gustavo

con DNI N°: 46929817

para optar el Título Profesional de:

Ingeniero Sanitario

Informe que el documento del trabajo anteriormente indicado ha sido sometido a revisión, mediante la plataforma de evaluación de similitud, conforme al Artículo 11° del presente reglamento y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de :17%..... de similitud.

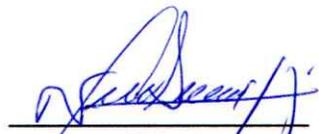
Evaluación y acciones del reporte de similitud de los trabajos de los estudiantes/ tesis de pre grado (Art. 11, inc. 1).

Porcentaje			
Trabajos de estudiantes	Tesis de pregrado	Evaluación y acciones	Seleccione donde corresponda
			<input checked="" type="radio"/>
Del 1 al 30%	Del 1 al 25%	Esta dentro del rango aceptable de similitud y podrá pasar al siguiente paso según sea el caso.	<input checked="" type="radio"/>
Del 31 al 50%	Del 26 al 50%	Se debe devolver al estudiante o egresado para las correcciones con las sugerencias que amerita y que se presente nuevamente el trabajo.	<input type="radio"/>
Mayores a 51%	Mayores a 51%	El docente o asesor que es el responsable de la revisión del documento emite un informe y el autor recibe una observación en un primer momento y si persistiese el trabajo es invalidado.	<input type="radio"/>

Por tanto, en mi condición de Asesor/ Jefe de Grados y Títulos de la EPG UNASAM/ Director o Editor responsable, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera hoja del reporte del software anti-plagio.

Huaraz, 13/03/2024

Apellidos y Nombres:


FIRMA
Araujo Jamanca Mino Franklin

DNI N°:

43848700

Se adjunta:

1. Reporte completo Generado por la plataforma de evaluación de similitud

DEDICATORIA

A mis padres, por brindarme la educación, por guiarme por el buen camino, por sus consejos, por su apoyo incondicional, por ser el motivo de superación para seguir adelante y por todo su amor.

A mis hermanas y hermano por su comprensión y apoyo.

A mis familiares, amigos y personas que aprecio mucho por la motivación que me brindan.

AGRADECIMIENTO

A los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Sanitaria por sus conocimientos brindados.

Al Ing. Nino Franklin Araujo Jamanca, por su apoyo, por sus aportes, y la orientación en el desarrollo de mi tesis.

A mis amigos y amigas que me brindaron su apoyo, y el aliento para terminar la tesis.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
ÍNDICE	iii
RELACIÓN DE TABLAS	vi
RELACIÓN DE CUADROS	vii
RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS	viii
RELACIÓN DE GRÁFICOS	ix
RESUMEN EJECUTIVO	x
ABSTRACT	xii
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivo específico.....	2
1.2. Hipótesis	2
1.2.1. Hipótesis general	2
1.2.2. Hipótesis específicas	3
1.3. Variables	3
1.3.1. Variable Independiente.....	3
1.3.2. Variable dependiente.....	4
1.3.3. Operacionalización de variables.....	5
CAPÍTULO II: MARCO TEORICO.....	7
2.1. Antecedentes	7
2.2. Bases Teóricas	10
2.2.1. Condiciones geométricas en sedimentadores secundarios.....	10



2.2.2.	Condiciones hidráulicas.....	15
2.2.3.	Condiciones fisicoquímicas de las aguas residuales.....	16
2.2.4.	Coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios 19	
2.3.	Definición de términos básicos.....	21
CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO.....		24
3.1.	Tipo de investigación.....	24
3.2.	Diseño de investigación.....	24
3.3.	Métodos y técnicas.....	25
3.3.1.	Fase 1: Diseño e implementación.....	26
3.3.2.	Fase 2: Identificación y toma de muestra.....	27
3.3.3.	Fase 3: Instrumentos y aplicación.....	30
3.3.4.	Fase 4: Organización de datos.....	31
3.3.5.	Fase 5: Análisis e interpretación de datos.....	33
3.4.	Población y muestra.....	33
3.5.	Instrumentos validados de recolección de datos.....	34
3.6.	Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información.....	38
CAPITULO IV: RESULTADOS.....		39
3.1.	Resultados de la remoción de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario.....	39
3.1.1.	Dimensiones del sedimentador secundario.....	39
3.1.2.	Condiciones hidráulicas.....	39
3.1.3.	Condiciones fisicoquímicas en el afluente y efluente de las aguas residuales.....	41
3.1.4.	Eficiencia de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario.....	47
3.1.5.	Coeficiente de producción de fangos.....	49

3.2. Contrastación de hipótesis	50
3.2.1. Contrastación de hipótesis general.....	50
3.2.2. Contrastación de hipótesis específica 01	53
3.2.3. Contrastación de hipótesis específica 02.....	55
CAPITULO V: DISCUSIÓN	57
CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
5.1. CONCLUSIONES.....	60
5.2. RECOMENDACIONES	61
CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	62
ANEXOS	64
ANEXO 1: Diseño e implementación de los sedimentadores secundarios.	64
ANEXO 2: Organización de datos de muestreos.....	68
ANEXO 3: Cálculos para obtener los indicadores.	75
ANEXO 4: Panel fotográfico	78

RELACIÓN DE TABLAS

<i>Tabla 1. Medidas descriptivas del sedimentador secundario (largo, ancho, área, altura, volumen).....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 2. Medidas descriptivas (tiempo de retención hidráulico).....</i>	<i>39</i>
<i>Tabla 3. Medidas descriptivas del caudal de operación (L/S) en el sedimentador secundario.....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 4. Medidas descriptivas del potencial de hidrogeno (PH) en el sedimentador secundario.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5. Medidas descriptivas de la temperatura (°C) en el sedimentador secundario.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 6. Medidas descriptivas de la conductividad (μS/cm) en el sedimentador secundario.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Medidas descriptivas de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Medidas descriptivas solidos suspendidos volátiles (mg/l) en el sedimentador secundario.</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Medidas descriptivas demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) en el sedimentador secundario.</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 11. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) en el sedimentador secundario.</i>	<i>48</i>
<i>Tabla 12. Medidas descriptivas del coeficiente de producción de fangos en el sedimentador secundario.</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 13. Prueba de normalidad de los datos en las condiciones geométricas y la producción de fangos de los sedimentadores para climas altoandinos, 2019.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabla 14. Prueba U de Mann – Whitney en las condiciones geométricas y la producción de fangos de los sedimentadores para climas altoandinos, 2019.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabla 15. Condiciones geométricas y los sólidos suspendidos totales en sedimentadores para climas altoandinos, 2019.</i>	<i>54</i>
<i>Tabla 16. Condiciones geométricas y los sólidos suspendidos volátiles en sedimentadores para climas altoandinos, 2019.</i>	<i>56</i>

RELACIÓN DE CUADROS

Cuadro 1. Operacionalización de variables	5
Cuadro 2. Carga hidráulica en procesos de sedimentación	12
Cuadro 3. Niveles de eliminación de contaminantes (%) según el tipo de tratamiento	18
Cuadro 4. Diseño de investigación.....	25
Cuadro 5. Características geométricas de sedimentadores secundarios.....	26
Cuadro 6. Dimensiones de sedimentadores secundarios.	27
Cuadro 7. Indicadores e instrumentos de obtención de datos.....	30
Cuadro 8. Cronograma de monitoreo de datos de campo.	32
Cuadro 9. Cronograma de análisis de laboratorio.	33

RELACIÓN DE FOTOGRAFÍAS

Fotografía 1. Ubicación de la investigación.	78
Fotografía 2. Proceso constructivo sedimentadores secundarios.	78
Fotografía 3. Implementación de sedimentadores secundarios.	79
Fotografía 4. Sedimentadores listos para entrar en operación del sistema de tratamiento.	79
Fotografía 5. Medición de la conductividad del agua residual.	80
Fotografía 6. Medición del Ph del agua residual.	80
Fotografía 7. Equipos y materiales para medición de parámetros de campo.	81
Fotografía 8. Toma de datos de parámetros de campo.	81
Fotografía 9. Rotulado de envases para toma de muestras.	82
Fotografía 10. Toma de muestras en el afluente y efluente de sedimentadores secundarios.	82
Fotografía 11. Lavado de materiales de laboratorio.	83

RELACIÓN DE GRÁFICOS

Gráfico 1. Procedimiento de la investigación.....	26
Gráfico 2. Esquema del piloto.	28
Gráfico 3. Medidas descriptivas del caudal de operación (L/S) en el sedimentador secundario.....	40
Gráfico 4. Medidas descriptivas del potencial de hidrogeno (PH) en el sedimentador secundario.	41
Gráfico 5. Medidas descriptivas de la temperatura (°C) en el sedimentador secundario.....	42
Gráfico 6. Medidas descriptivas de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el sedimentador.	43
Gráfico 7. Medidas descriptivas de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.	44
Gráfico 8. Medidas descriptivas solidos suspendidos volátiles (mg/l) en el sedimentador secundario.	45
Gráfico 9. Medidas descriptivas demanda bioquímica de oxigeno (mg/l) en el sedimentador secundario.	46
Gráfico 10. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.....	48
Gráfico 11. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) en el sedimentador secundario.	49
Gráfico 12. Medidas descriptivas del coeficiente de producción de fangos en el sedimentador secundario.	50

RESUMEN EJECUTIVO

El propósito de la presente investigación es determinar el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, se ha desarrollado una unidad experimental a escala piloto conformada 12 sedimentadores secundarios, que varían en su relación largo sobre ancho, se trabajó con tres relaciones de variación largo y ancho las cuales son $L/a=4.5$, $L/a=4$, $L/a=3.5$.

La investigación tuvo 3 procesos, el primero es Diseño, implementación e instalación de los prototipos (Sedimentadores secundarios), el segundo es la toma de muestras, medición en campo y análisis en el laboratorio para obtener mediante cálculos el coeficiente de producción de fangos y el tercero es realizar el tratamiento de los datos estadísticamente con la prueba U de Mann-Whitney y redacción de la investigación.

En función a los resultados obtenidos, se ha logrado determinar que el promedio de mayor coeficiente de producción de fangos es en el sedimentador 02 con un valor de 1.27. Así mismo, el menor coeficiente de producción de fangos es 1.01 en el sedimentador 11.

En resultados de eficiencia de remoción de sólidos suspendidos totales se ha logrado determinar que el mayor promedio de eficiencia de sólidos suspendidos totales es de 50% en el Sedimentador 11. Así mismo, la de menor eficiencia de estas es el sedimentador 2 con solo el 28%. La eficiencia global de sólidos suspendidos totales es del 41%.

En resultados de eficiencia de remoción de sólidos suspendidos volátiles se ha logrado determinar que el mayor promedio de eficiencia de sólidos suspendidos volátiles es de 53% en el Sedimentador 06. Así mismo, la de menor eficiencia de estas es el sedimentador 10 con solo el 23%. La eficiencia global de sólidos suspendidos volátiles es del 37%.

En resultados de los sólidos suspendidos totales se ha logrado determinar que el promedio de mayor frecuencia de sólidos suspendidos totales en el efluente es del sedimentador 02 con 15.75mg/L, así mismo, el efluente de menor promedio de los sólidos suspendidos totales es de 9.84mg/L y se obtiene del sedimentador 07.

En resultados de sólidos suspendidos volátiles se ha logrado determinar que el promedio de mayor frecuencia de sólidos suspendidos volátiles en el efluente es del sedimentador 03 con 8.65mg/L, así mismo, el efluente de menor promedio de sólidos suspendidos volátiles es de 5.29 mg/L y se obtiene en el sedimentador 11.

La presente investigación aportara a diseñar sedimentadores secundarios a escala real, también aportara nuevos conocimientos en cuanto a parámetros y comportamiento de este tipo de sistema de tratamiento para climas altoandinos.

Palabras clave: sedimentador secundario, sólidos suspendidos totales, sólidos suspendidos volátiles, eficiencia.

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the coefficient of sludge production in secondary settlers with different geometric conditions. An experimental unit has been developed on a pilot scale consisting of 12 secondary settlers, which vary in their length over width ratio. Three ratios were worked on. length and width variation which are $L/a=4.5$, $L/a=4$, $L/a=3.5$. The investigation had 3 processes, the first is Design, implementation and installation of the prototypes (Secondary Settlers), the second is the taking of samples, measurement in the field and analysis in the laboratory to obtain through calculations the coefficient of sludge production and the third is to carry out the treatment of the data statistically with the Mann-Whitney U test and to write the research.

Based on the results obtained, it has been possible to determine that the average of the highest coefficient of sludge production is in settler 02 with a value of 1.27. Likewise, the lowest coefficient of sludge production is 1.01 in settler 11. In total suspended solids removal efficiency results, it has been determined that the highest average efficiency of total suspended solids is 50% in settler 11. Likewise, the least efficient of these is settler 2 with only 28%. The global efficiency of total suspended solids is 41%. In results of removal efficiency of volatile suspended solids, it has been possible to determine that the highest average efficiency of volatile suspended solids is 53% in Settler 06. Likewise, the least efficient of these is Settler 10 with only 23 %. The overall efficiency of volatile suspended solids is 37%.

In results of total suspended solids, it has been possible to determine that the highest frequency average of total suspended solids in the effluent is from settler 02 with 15.75mg/L, likewise, the effluent with the lowest average of total suspended solids is 9.84 mg/L and is obtained from settler 07. In results of volatile suspended solids, it has been possible to determine that the highest frequency average of volatile suspended solids in the effluent is from settler 03 with 8.65mg/L, likewise, the effluent with the lowest The average volatile suspended solids is 5.29 mg/L and is obtained in settler 11.

This research will contribute to the design of secondary settlers on a real scale, it will also provide new knowledge regarding parameters and behavior of this type of treatment system for high Andean climates.

Keywords: secondary settler, total suspended solids, volatile suspended solids, efficiency.



CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

La presente investigación que se presenta, cuyo objetivo es determinar el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas para el tratamiento de aguas residuales en climas altoandinos.

El estudio tendrá una variable independiente y una variable dependiente, la variable independiente será las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, se trabajó con tres relaciones de variación largo y ancho las cuales son $L/a=4.5$, $L/a=4$, $L/a=3.5$. La variable dependiente será el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios.

Los tanques de sedimentación suelen ser redondos, pero también están disponibles formas rectangulares, cuadradas, hexagonales y octogonales. Los mecanismos de extracción más utilizados son las cadenas y las paletas metálicas, preferentemente de plástico, que retiran los sólidos de forma continua. (Romero, 1999).

Los lodos son un producto residual producido por las plantas de tratamiento de agua y son mezclas de agua y sólidos separados del agua tratada. Las propiedades de los lodos y las cantidades producidas se pueden expresar como masa (base seca) o volumen (base húmeda) y dependen de varios factores, como el tipo y caudal del agua tratada, el clima y especialmente si proviene de un tipo de proceso. (Amador et al., 2014).

La presente investigación consta de 7 capítulos. En el Capítulo I, Introducción, se plantea los objetivos, las hipótesis y las variables de la investigación. En el Capítulo II, Marco Teórico, se presenta los antecedentes, bases teóricas y definición de términos básicos. En el Capítulo III, Marco metodológico, lleva a cabo el desarrollo metodológico, en el que se describe el tipo de investigación, su planificación y los procedimientos que se deben realizar para

alcanzar los objetivos planteados. En el capítulo IV, Resultados, todos los resultados se presentan mediante diagramas de caja y bigotes. En el capítulo V, Discusiones, se realizó la comparación de los resultados obtenidos con los antecedentes y se constató los resultados. Las preguntas de investigación planteadas se responden al final en el capítulo VI, Conclusiones y todos los estudios que respaldan la investigación se citan en las referencias en el capítulo VII, Referencias bibliográficas.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- ✓ Determinar el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, para el tratamiento de aguas residuales en climas altoandinos – 2019.

1.1.2. Objetivo específico

- ✓ Evaluar la remoción de sólidos suspendidos totales en el sedimentador secundario con diferentes condiciones geométricas.
- ✓ Evaluar la remoción de sólidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario con diferentes condiciones geométricas.

1.2. Hipótesis

1.2.1. Hipótesis general

- Hi: Las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, **SI AFECTAN** directamente en la determinación del coeficiente de producción de fangos, para Climas Altoandinos – 2019.

1.2.2. Hipótesis específicas

- He-1: La remoción de sólidos suspendidos totales si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para Climas Altoandinos – 2019.
- He-2: La remoción de sólidos suspendidos volátiles si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para Climas Altoandinos – 2019.

1.3. Variables

La investigación tiene una variable independiente y una variable dependiente, y tiene como objetivo investigar el efecto de las condiciones geométricas en la eliminación de contaminantes de diferentes tanques de sedimentación secundaria en la localidad de Tuyururi-2019.

1.3.1. Variable Independiente

La variable independiente viene a ser las condiciones geométricas en sedimentadores secundarios.

➤ Definición conceptual

Es la variación de la relación largo sobre ancho de los sedimentadores secundarios. Generalmente, los sedimentadores tienen un flujo horizontal y forma circular, aunque algunas instalaciones utilizan sedimentadores rectangulares. La unidad está equipada con un limpiador de fondo y un limpiador superficial para eliminar los lodos acumulados durante la sedimentación y los lodos flotantes, respectivamente. (Metcalf & Eddy, 1995).

➤ Definición operacional

Es definido como el caudal aplicado por unidad de área, cuyas unidades en el sistema decimal son m³ de agua aplicados por m² de superficie del medio de soporte por día (m³/m². d). (CONAGUA, 2015).

➤ **Definición de dimensiones**

Las dimensiones son el área de cada sedimentador, las condiciones hidráulicas, en los sedimentadores secundarios.

➤ **Indicadores**

- Ancho
- Largo
- Área superficial del sedimentador
- Tiempo de retención hidráulico
- Caudal de operación
- Temperatura
- PH
- Conductividad

1.3.2. Variable dependiente

La variable dependiente viene a ser el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios.

➤ **Definición conceptual**

Es la relación entre la producción de fangos en el afluente del sedimentador sobre la producción de fangos en el efluente del sedimentador secundario.

Los lodos son un subproducto del tratamiento primario y secundario de aguas residuales, tienen un alto contenido de materia orgánica y deben

estabilizarse para obtener un nuevo producto llamado “biosólidos” y así reciclarse como acondicionador de la tierra. (Conagua, 2015).

➤ **Definición operacional**

Peso de Sólidos Suspendidos Totales sobre peso de Demanda Bioquímica de Oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1996).

➤ **Definición de dimensiones**

Las dimensiones son la demanda bioquímica de oxígeno, sólidos suspendidos totales, en los sedimentadores secundarios.

➤ **Indicadores**

- Temperatura
- PH
- Conductividad
- Demanda bioquímica de oxígeno
- Sólidos suspendidos totales
- Sólidos suspendidos volátiles

1.3.3. Operacionalización de variables

Cuadro 1. Operacionalización de variables

VARIABLE INDEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
Condiciones geométricas en sedimentadores secundarios.	Es la variación de la relación largo sobre ancho de los sedimentadores secundarios. Usualmente, se usan sedimentadores de forma circular y flujo horizontal, aun cuando en	Es definido como el caudal que pasa por unidad de área. Cuyas unidades son m ³ de agua aplicados por m ² de área sobre un medio de soporte por día (m ³ /m ² . d).	Dimensiones del sedimentador secundario.	Ancho	Numérica
				Largo	Numérica
				Profundidad	Numérica
			Condiciones Hidráulicas.	Área superficial del sedimentador	Numérica
				TRH	Numérica
				Caudal de operación	Numérica
			Condiciones fisicoquímicas en el	Potencial de Hidrógeno	Numérica
				Temperatura	Numérica

	algunas instalaciones se utilizan sedimentadores rectangulares. (Metcalf & Eddy, 1996).	(CONAGUA, 2015).	AFLUENTE de las aguas residuales	Conductividad	Numérica
				Sólidos suspendidos totales	Numérica
				Sólidos suspendidos volátiles	Numérica
				Demanda Bioquímica de Oxígeno	Numérica
VARIABLE DEPENDIENTE	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN
Coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios.	Es la relación entre la producción de fangos en el efluente sobre la producción de fangos en el afluente. (CONAGUA,2015)	Peso de Sólidos Suspendidos Totales sobre peso de Demanda Bioquímica de Oxígeno. (Metcalf & Eddy, 1996).	Condiciones fisicoquímicas en el EFLUENTE de las aguas residuales.	Potencial de Hidrógeno	Numérica
				Temperatura	Numérica
				Conductividad	Numérica
				Sólidos suspendidos totales	Numérica
				Sólidos suspendidos volátiles	Numérica
				Demanda Bioquímica de oxígeno	Numérica
				Coeficiente de producción de fangos	Numérica

CAPÍTULO II: MARCO TEORICO

2.1. Antecedentes

Según Margarita Jover Smet (2015), en su tesis de investigación titulada **“Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación”**, se estudió el efecto de la carga hidráulica superficial o la tasa ascensional sobre el rendimiento de separación de contaminantes de centrífugas decantadoras primarias y secundarias en plantas de tratamiento de lodos activados de mediana carga.

Se realizó en Rincón de León, Alicante-España, utilizando una planta piloto en una estación depuradora de tratamiento convencional de fangos activos con mediana carga. Se utilizó aguas pretratadas y aguas del licor de mezcla, debido a que este reactor genera un gran volumen, se consideraron variables y parámetros como el tiempo de retención hidráulico, demanda biológica de oxígeno, sólidos en suspensión, carga hidráulica superficial, demanda química de oxígeno y temperatura.

En el sedimentador secundario, se operó en tres fases que corresponden con tres diferentes caudales, a su vez con diferentes valores de carga hidráulica superficial y se analizó los sólidos en suspensión, demanda biológica de oxígeno y la demanda química de oxígeno en el afluente y efluente de los sedimentadores; donde se obtuvo datos de la temperatura del agua en el afluente y efluente del proceso, temperatura ambiente, demanda biológica de oxígeno, sólidos en suspensión, demanda química de oxígeno en cada una de las fases, durante el periodo de experimentación.

Se determinó la eliminación de contaminantes, con los datos obtenidos en cada fase. Donde la temperatura ambiente es irrelevante con respecto a la temperatura de las muestras, cuyos valores alcanzados están

entre 21°C y 24°C en la sedimentación primaria, y valores de 25.5°C y 27°C en la sedimentación secundaria, a pesar de haber una mayor variación de las temperaturas ambiente medidas.

Se concluyó que a temperaturas por encima de 20°C y con variaciones entre 1°C y 3°C, esta no influye en el funcionamiento de las decantaciones. El rendimiento de eliminación de sólidos en suspensión en sedimentación secundaria, a las distintas profundidades del tanque, demuestran una considerable mejora a medida que disminuye la carga hidráulica o velocidad ascensional.

Según Juan José Bullón Rosas (2016), en su tesis de investigación titulada, “**Calidad y caudal de aguas residuales en la planta de tratamiento de la ciudad de Jauja**”, cuyos objetivos fueron determinar el impacto en la calidad y caudal de las aguas residuales en las plantas de tratamiento de la ciudad de Jauja, para determinar los límites máximos permisibles de aguas residuales de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas (D.S. N°003-2010-MINAM-LMP), y evaluar los estándares de calidad ambiental para agua tipo III (D.S. N°002-2008-MINAM) y evaluar los caudales tanto del efluente y efluente de las instalaciones de tratamiento de aguas residuales de Jauja.

El tipo de investigación fue aplicada, descriptiva y longitudinal, según fue evaluada en las siguientes fechas: 23/04/2014, 11/07/2014, 25/08/2014, 17/12/2014 y 02/03/2015. Los parámetros físicos y químicos incluyen temperatura, conductividad, sólidos suspendidos, pH, demanda bioquímica de oxígeno, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto; los parámetros biológicos son: Coliformes totales y Coliformes fecales.

De los resultados más importantes se obtuvieron que, de los valores promedios de los parámetros físicos, químicos y biológicos del ingreso M1 son mayores que los valores promedios de la salida M4 a excepción de la temperatura y el oxígeno disuelto.

Asimismo, los valores de los parámetros sólidos en suspensión, la demanda bioquímica de oxígeno, la demanda química de oxígeno y los Coliformes fecales no se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, mientras que sólo los valores del pH y la temperatura se encuentran dentro de los límites máximos permisibles.

Se encuentran dentro de los Estándares de Calidad ambiental – Categoría III, el efluente M4 de la planta de tratamiento, en los parámetros de Ph, conductividad y oxígeno disuelto, mientras que la demanda química de oxígeno, demanda bioquímica de oxígeno, Coliformes fecales y totales están fuera de los ECA para la Categoría III. En cantidad de caudal promedio al ingreso y salida de la PTAR fueron similares.

Según García Ortiz Juan (2018), en su tesis de investigación titulada, **“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”**, cuyo objetivo fue la determinación de la eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, de los parámetros de temperatura, variación de oxígeno disuelto, y remoción de sólidos suspendidos totales, en Celendín – Cajamarca; donde se tomó las muestras en el afluente y efluente; se realizaron cuatro repeticiones de cada 22 días calendarios entre muestra y muestra; las muestras fueron recolectadas y etiquetadas debidamente, para luego ser analizadas en el Laboratorio Regional del Agua del Gobierno Regional de Cajamarca (laboratorio acreditado), donde se determinó la concentración de oxígeno disuelto, temperatura, y solidos suspendidos totales.

Se obtuvo como resultado promedio de los análisis realizados, lo siguiente: oxígeno disuelto (OD) afluente 0.00 mgO₂/l y efluente 1.6975 mgO₂/l; sólidos suspendidos totales (SST), afluente 211.5 mg/l y efluente 59.475 mg/l; temperatura (T°) afluente 15.25°C y efluente 16°C; estos resultados promedios al ser comparados con la normatividad vigente, se obtuvo un 71.88% de eficiencia en solidos suspendidos totales , respecto a

un 84% de eficiencia que debería tener normalmente, siendo ineficiente para este parámetro; en cuanto a oxígeno disuelto se obtuvo 1.6975 mgO₂/l referente a un 3 mgO₂/l mínimo que debería tener, siendo muy bajo la generación de oxígeno disuelto; en cuanto a la temperatura se obtuvo una variación de 15.25°C – 16°C, el cual es aceptable respecto a la normativa y a los parámetros existentes.

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Condiciones geométricas en sedimentadores secundarios

Es la variación de la relación largo sobre ancho de los sedimentadores secundarios. los sedimentadores tienen un flujo horizontal y forma circular generalmente, aunque algunas instalaciones utilizan sedimentadores rectangulares. (Metcalf & Eddy, 2016).

2.2.1.1. Sedimentadores secundarios

Los sedimentadores secundarios remueven los sólidos suspendidos y la biomasa, en procesos de filtros percoladores y lodos activados. Estos sedimentadores secundarios son por lo general de dos tipos, rectangulares o cilíndricos. Por su geometría el sedimentador rectangular aprovecha mejor los espacios. Las rastras de tracción transversal usadas para remover el lodo son más proclives a fallas mecánicas y estructurales siendo una limitante, en comparación con los sedimentadores circulares. (Romero, 1999).

❖ Sedimentadores rectangulares

Se logra una mejor distribución en lo ancho del sedimentador secundario, cuando el efluente sea distribuido al afluyente mediante baffles, vertederos sumergidos o placas perforadoras. Para la salida del efluente se realiza mediante agujeros sumergidos o vertederos.

Se usan piezas de madera con espesor de 5cm y una profundidad de 15 a 20 cm para la remoción de sólidos (rastras). (Romero, 1999).

❖ **Sedimentadores cilíndricos**

Estos sedimentadores son alimentados del centro hacia fuera, o también se consideran de afuera hacia adentro. En la parte inferior del sedimentador se almacenan los lodos en una tolva para luego ser removidos. Para la salida del efluente se realiza mediante vertedores triangulares, que están ubicados cercanos al perímetro del sedimentador. Depende del tamaño del sedimentador para que se pueda instalar o no, un mecanismo de remoción de natas en la superficie. (Romero, 1999).

Estos sedimentadores debido a su geometría requieren mayor área para su construcción en comparación al de tipo rectangular. Su eficiencia aumenta al disminuir la velocidad media del agua por su flujo radial. (Romero, 1999).

2.2.1.2. Consideraciones de diseño en sedimentadores secundarios

Según el reglamento nacional de edificaciones, en la OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales, establece lo siguiente:

- a) Se determinarán criterios de diseño experimentalmente.
- b) Si no se cuenta con pruebas de sedimentación se debe seguir algunas recomendaciones:
 - Su diseño se realizará para caudales máximos horarios.
 - En procesos de lodos activados (excluyendo aeración prolongada) es recomendable usar los siguientes parámetros.

Cuadro 2. Carga hidráulica en procesos de sedimentación

TIPO DE TRATAMIENTO	CARGA DE SUPERFICIE m ³ /m ² .d		CARGA kg/m ² .h		PROFUNDIDAD D (m)
	Media	Máx.	Media	Máx.	
Sedimentación a continuación de lodos activados (excluida la aeración prolongada)	16-32	40-48	3,0-6,0	9,0	3,5-5
Sedimentación a continuación de aeración prolongada	8-16	24-32	1,0-5,0	7,0	3,5-5

En el cuadro 2, las cargas hidráulicas son basadas en el caudal del agua residual sin considerar la recirculación.

c) En sedimentadores de tipo circular se debe considerar algunas recomendaciones:

- Si el sedimentador tiene un volumen de hasta 300m³ este puede diseñarse sin el mecanismo de barrido de lodos, y puede ser del tipo piramidal o cónico, debe tener una inclinación de 60° de la tolva (Tipo Dormund). Se usará tubería de 200mm de diámetro como mínimo para la remoción de lodos.
- En sedimentadores circulares que tengan instalación de barrido de lodos serán diseñadas con una tolva central de 0.60m de diámetro mínimo, una inclinación mínima de 60° y 4m máximo en profundidad.
- La inclinación del fondo de los sedimentadores secundarios será de alrededor de 1:12 (vertical: horizontal).
- El diámetro de la zona del afluente en el centro del sedimentador se considerará entre un 15 a 20% del diámetro del sedimentador.

Para evitar el arrastre de lodos en el ingreso las paredes del pozo no deberán profundizarse a más de 1m.

- El barredor de lodos debe tener una velocidad periférica de 1.5 a 2.5 m/min y no debe exceder a 3 revoluciones por hora.
- d) Se tomará como segunda opción a los sedimentadores secundarios de forma rectangular, para el cual se recomienda lo siguiente:
- Se considerará una relación de 4/1 mínimamente, en cuanto a largo/ancho.
 - Se considerará entre 1 y 2, la relación de ancho/profundidad.
 - Se diseñará sedimentadores rectangulares sin instalación de barrido de lodos en caso de volúmenes pequeños (hasta 300m³) y constará de pirámides invertidas con una inclinación mínima de 60°.
- e) Se admitirá el diseño de sedimentador secundario en las zanjas de oxidación, el criterio de diseño será justificado debidamente por el proyectista.
- f) Tener en cuenta las siguientes recomendaciones, para facilitar el retorno de lodos:
- Se podrá usar bombas centrifugas o de desplazamiento positivo en sedimentadores circulares y el retorno de lodos será de manera continua. La capacidad de instalación de la estación de bombeo de lodos de retorno será al menos un 100% superior a la capacidad de operación. La capacidad de bombeo será lo suficientemente flexible (ya sea con motores de velocidad variable o con un número de bombas) para permitir que la planta opere en todas las condiciones durante toda su vida útil.

- En sedimentadores rectangulares que usen el mecanismo de barrido con movimiento longitudinal, se considerará la remoción de lodos periódicamente durante la operación de la planta.
- Se usará compuertas manuales para la separación del lodo excedente proveniente del lodo de retorno que debe ser bombeado a una cámara de repartición.
- Alternativamente, el proceso se puede controlar descargando el exceso de lodo directamente del tanque de aireación, utilizando la edad del lodo como parámetro de control. Por ejemplo, si el lodo tiene 20 días, se debe desechar cada día $1/20$ del volumen del tanque de aireación. Sólo así se puede operar una zanja de oxidación con trampa incorporada. En este caso, el líquido mezclado deberá ser bombeado periódicamente (6 a 8 bombeos) a un tanque de concentración (en el caso de zanja de oxidación) o a un tanque de concentración (en el caso de otros sistemas de baja edad de lodos).

2.2.1.3. Carga hidráulica

Es definido como el caudal que pasa por unidad de área. Cuyas unidades son metros cúbicos de agua aplicados por metros cuadrados de área sobre un medio de soporte por día ($m^3/m^2 \cdot d$). (CONAGUA, 2015).

2.2.1.4. Carga orgánica

Es definido como el peso de la materia orgánica biodegradable, medido como la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) a 5 días a $20^\circ C$, aplicada por unidad de volumen de medio de soporte utilizado por día. Cuyas unidades son Kilogramos de Demanda Bioquímica de Oxígeno aplicados por metros cúbicos por día ($Kg \text{ DBO}/m^3 \text{ d}$). (CONAGUA, 2015).

2.2.2. Condiciones hidráulicas

Las aguas residuales se caracterizan por sus condiciones hidráulicas que a continuación se describen.

2.2.2.1. Tiempo de retención hidráulico (TRH)

El tiempo de residencia de las aguas residuales en el sistema se denomina tiempo de retención hidráulica (TRH), y este tiempo deberá ser el suficiente para que permita el contacto entre la materia orgánica disuelta y los microorganismos. En los sistemas tradicionales tienen un tiempo de retención hidráulica de 3 a 10 horas, mientras que los sistemas de aireación extendida tienen un tiempo de retención hidráulica de 12 a 36 horas. (Metcalf & Eddy, 1995).

El corto tiempo de residencia y la baja concentración de oxígeno disuelto en un ambiente aeróbico favorecen el desarrollo de organismos filamentosos. Las características de sedimentación dependen del tipo de organismo. Los lodos que contienen organismos filamentosos (bulking) también resultan de desequilibrios de nutrientes u otras condiciones que afectan la sedimentación. (CONAGUA, 2015).

El tiempo de suspensión de sólidos afecta el rendimiento de sólidos porque afecta la degradabilidad de la materia orgánica en el agua de alimentación. Un aumento en el tiempo de retención hidráulica, aumenta la respiración endógena, lo que permite una mayor degradación de los biosólidos sintéticos. El resultado de la respiración endógena es la conversión de biosólidos sintetizados en dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O). (CONAGUA, 2015).

En la biosíntesis, los sólidos no se oxidan completamente porque todavía hay residuos no biodegradables presentes. Por lo tanto, la producción de lodos no puede ser cero debido al tiempo de retención, en los

sistemas biológicos. El tiempo de residencia del lodo o el tiempo de residencia de la celda afecta la degradación de las partículas del agua entrante. Los tiempos de retención cortos (menos de tres días) producen pequeñas cantidades de degradación de la materia orgánica particulada. La materia orgánica se degradará en caso de dejarlo por encima de los tres días, dejando solo residuos no biodegradables. (CONAGUA, 2015).

Las características de los sistemas biológicos de aguas residuales afectan directamente las características de la producción de biosólidos. La degradabilidad de la materia orgánica del agua entrante puede afectar la conversión de materia orgánica en biosólidos y la posterior oxidación debido al mayor tiempo de retención. Las características de los sistemas biológicos influyen en las tasas de producción y degradación de los biosólidos. (CONAGUA, 2015).

2.2.3. Condiciones fisicoquímicas de las aguas residuales

2.2.3.1. Potencial de hidrogeno (PH)

El valor de pH adecuado para diversos procesos y mayormente la vida biológica puede tener límites importantes y condiciones críticas, pero suele estar entre 6,5 y 8,5. (Romero, 1999).

2.2.3.2. Temperatura

Las bajas temperaturas aumentan la densidad del agua, lo que a su vez reduce la tasa de sedimentación y, por tanto, la concentración de sólidos. La baja temperatura también afecta las propiedades físicas de los lodos. (CONAGUA, 2015).

2.2.3.3. Conductividad

La conductividad refleja la concentración de sales en el agua natural y caracteriza los cambios en los sólidos. La conductividad será directamente proporcional a la cantidad de sólidos o sales disueltos. (CONAGUA, 2015).

Debido a que medir la conductividad de una muestra de agua es rápido y relativamente fácil, la conductividad también se usa ampliamente para conocer la cantidad total de sólidos disueltos. (Gómez, 1995).

2.2.3.4. Demanda bioquímica de oxígeno (DBO5)

(López y Herrera, 2015) definieron como el parámetro de contaminación orgánica más utilizado es la DBO de 5 días. Este análisis implica la medición del oxígeno disuelto que será consumido por los microorganismos durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica. Los resultados de la prueba DBO5 se utilizan para:

1. Determinar la cantidad aproximada de oxígeno necesaria en la estabilización biológica de la materia orgánica existente.
2. Determinar las dimensiones de la planta de tratamiento de aguas residuales.
3. evaluar la eficiencia en la planta de tratamiento y verificar con cumplir con los valores de límites de emisión.

2.2.3.5. Sólidos Suspendidos Totales

Partículas sólidas suspendidas en agua como coloides. Las propiedades de los lodos interferidas en la cantidad de sólidos en suspensión son: densidad, color y viscosidad. (Metcalf & Eddy, 1995).

2.2.3.6. Sólidos Suspendidos Volátiles

Son sólidos que se vaporizan y arden durante la combustión ST (500 ± 50 °C), es decir, son sólidos que se evaporan al ser colocados en un horno de mufla a temperatura de 550°C. su determinación indica el contenido orgánico de muestras de aguas residuales y lodos. (Torres, 2013).

2.2.3.7. Niveles de eliminación de contaminantes según el tipo de tratamiento

Para su definición muestra la necesidad, en primer lugar, de evaluar las características en residuos líquidos crudos y, en segundo lugar, de determinar de antemano las características que deben tener las aguas residuales tratadas para no tener impacto en el medio ambiente (CEPIS/OPS-OMS, 2002). Por lo tanto, la recolección y tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales generalmente requiere el cumplimiento de regulaciones ambientales y el cumplimiento de LMP y ECA (Junín, 2010). Para cubrir estas necesidades, en función de los objetivos a alcanzar, se pueden encontrar procesos primarios, secundarios y terciarios (Red ALFA TECSPAR) como resultado de una combinación de procesos y actividades unitarias.

Cuadro 3. Niveles de eliminación de contaminantes (%) según el tipo de tratamiento

Parámetro	Tratamiento Primario	Tratamiento Secundario	Tratamiento Terciario
DBO5	35	90	99.9
DQO	30	80	99.8
Sólidos suspendidos	60	90	100
Nitrógeno	20	50	99.5
Fosforo	10	30	99.3

Fuente: (Ramalho R., 1996)

2.2.4. Coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios

Es la relación entre la producción de fangos en el efluente sobre la producción de fangos en el afluente. (CONAGUA, 2015).

2.2.4.1. Lodos

A. Definición

En el Decreto Supremo del MVCS del Perú N° 015-2017 el lodo se define como un subproducto del tratamiento primario y secundario de aguas residuales con alto contenido orgánico, el cual debe estabilizarse para poder transformarse a un subproducto llamado “biosólido” y reutilizarse de esta manera como abono para el suelo.

B. Tipos de lodos

La Comisión Nacional del Agua identifica los 3 tipos de lodos más comunes:

- **Lodos primarios:**

Está formado por sólidos sedimentados procedentes del tratamiento primario de aguas residuales y contiene una gran cantidad de material fibroso, celulosa, sólidos inorgánicos y arena. El espesamiento y la deshidratación suelen ser más fáciles en este tipo de lodos. El lodo se espesará hasta alcanzar entre un 2% y un 7% de sólidos. (CONAGUA, 2015).

- **Lodos secundarios:**

Se produce cuando las aguas residuales entran en contacto con microorganismos, y compuestos orgánicos insolubles. Su deshidratación resulta de mayor dificultad que la del lodo primario

debido a un alto contenido de agua, produciendo sólo de 0.5 y 3% de sólidos. (CONAGUA, 2015).

- **Lodos terciarios o tratamiento químico:**

La separación de nutrientes y el tratamiento fisicoquímico producen lodos químicos que consisten en floculantes y precipitantes químicos como polímeros orgánicos, sales de aluminio (sulfato de aluminio) y sales de hierro (cloruro de hierro (III) y sulfato férrico). Este tipo de lodos es difícil de concentrar y deshidratar. (CONAGUA, 2015).

C. Característica de los lodos

Los lodos tienen como característica principal su contenido orgánico; estas sustancias orgánicas a menudo se descomponen y producen los mismos efectos negativos que las aguas residuales originales. Cada tipo de lodo tiene propiedades diferentes según de dónde viene, cuándo viene, y qué proceso pasa. (Romero, 1999).

D. Tasa de acumulación de lodo

La tasa de acumulación de lodos se expresa en L/hab. año, cuyo valor se debe tener en cuenta en el cálculo del intervalo requerido entre sucesivas actividades de remoción de lodos, expresado en años, el periodo mínimo en remoción de lodos es 1 año. El parámetro de volumen de sedimentación requerido para el sedimentador primario ha de ser (70 L/hab. año) y si es diferente requerirá justificarlo. (RNE, 2006).

E. Cantidad de sólidos producidos

La producción de sólidos, que se expresa en kg/día, es un parámetro importante a la hora de calcular los lodos producidos. (CONAGUA, 2015).

F. Concentración de solidos

La materia seca que se expresa como (%) es un parámetro importante para calcular la producción de lodos. (CONAGUA, 2015).

2.3. Definición de términos básicos

✓ **Afluente:**

Líquido que ingresa a un proceso. (RNE, 2006)

✓ **Agua residual:**

Líquido utilizado por un grupo humano o industrias que contiene materia orgánica o inorgánica disuelta o suspendida. (RNE, 2006)

✓ **Agua residual doméstica:**

Líquido utilizado en actividades domésticas, en comercios e instituciones con contenido de desechos fisiológicos y otros desechos creados por el ser humano. (RNE, 2006)

✓ **Análisis:**

El examen de una sustancia para identificar sus componentes. (RNE, 2006)

✓ **Demanda bioquímica de oxígeno (DBO):**

Es el oxígeno requerido por los microorganismos utilizada para estabilizar la materia orgánica en determinada temperatura y tiempo (mayormente 5 días y a 20°C). (RNE, 2006)

✓ **Biodegradación:**

La conversión de sustancias orgánicas en compuestos menos complejos por acción de microorganismos. (RNE, 2006)

✓ **Eficiencia del tratamiento:**

La relación de la calidad removida con respecto a la calidad aplicada en un proceso y parámetros específicos. Se expresa generalmente en porcentajes. (RNE, 2006)

✓ **Efluente:**

Agua saliente de un proceso. (RNE, 2006)

✓ **Sedimentación secundaria:**

Mecanismo de separación de la biomasa suspendida obtenida en el tratamiento biológico. (RNE, 2006)

✓ **Tratamiento:**

Es un proceso o serie de procesos que llevan a cabo las aguas residuales para reducir o eliminar las propiedades nocivas de las aguas residuales que están sujetos a normas técnicas de calidad ambiental. (Bruce, 2017)

✓ **Tratamiento secundario:**

Tratamiento que consiste en la eliminación de materia orgánica biodegradable y sólidos en suspensión. (RNE, 2006)

✓ **Tratamiento secundario Convencional:**

Está diseñado principalmente para eliminar sólidos suspendidos y residuos biodegradables. (Metcalf & Eddy,1995)

Es definido como una mezcla de varias técnicas comúnmente utilizados en eliminar estos componentes, incluidos lodos activados, reactores de lecho fijo, sistemas lagunares y tratamiento biológico en sedimentos. (Metcalf & Eddy,1995)

✓ **Criterios de diseño:**

Directrices técnicas que especifican los objetivos, resultados o restricciones que se deben cumplir al diseñar procesos, estructuras o componentes de un sistema. (RNE, 2006)

✓ **Planta piloto:**

Planta de procesamiento a escala que permite determinar las constantes cinéticas y parámetros de diseño de procesos. (RNE, 2006)

✓ **Caudal de operación:**

Se refiere a la cantidad de aguas residuales que ingresan al sistema de tratamiento por unidad de tiempo. (SUNASS, 2017)

CAPITULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Tipo de investigación

La investigación se utiliza según su propósito o aplicación, el propósito es obtener nuevos conocimientos y el propósito es encontrar soluciones, estas son investigaciones aplicadas. Por su propia naturaleza, profundidad y/o alcance, la investigación es explicativa, porque implica recopilar datos a través de experimentos para evaluar un fenómeno definido por el investigador. (Hernández et al., 2014).

En la investigación “Determinación del coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, para el tratamiento de aguas residuales en climas altoandinos – 2019”, busca resolver problemas, obteniendo datos experimentales proporcionados por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios.

3.2. Diseño de investigación

Durante el estudio, se realizarán una serie de pruebas experimentales para cambiar la variable independiente, que son las condiciones geométricas del tanque de sedimentación secundario, para obtener el coeficiente de producción de fangos en Tuyururi.

Como diseño de investigación explicativo, se propondrán hipótesis causales basadas en análisis estadístico a nivel de estudio y, según el cual se utilizará un método de diseño estadístico de bloques completamente aleatorios.

Los bloques 01, 02, 03; corresponden a diferentes condiciones geométricas del sedimentador secundario de las aguas residuales que provienen de la salida de los filtros percoladores 01, 02, 03 respectivamente.

En cada bloque, se tuvo 03 unidades de análisis (S) con diferente condición geométrica. La medición será de forma semanal, como se indica en el siguiente cuadro (Cuadro 4).

Cuadro 4. Diseño de investigación

BLOQUE 01 (CARGA HIDRAULICA 01)	Unidad de análisis (G)	S1:M1X1, M2, M3, M4, ... , Mn
	Tratamiento (X)	S2:M1X2, M2, M3, M4, ... , Mn
	Medición (M)	S3:M1X3, M2, M3, M4, ... , Mn
BLOQUE 02 (CARGA HIDRAULICA 02)	Unidad de análisis (G)	S1:M1X1, M2, M3, M4, ... , Mn
	Tratamiento (X)	S2:M1X2, M2, M3, M4, ... , Mn
	Medición (M)	S3:M1X3, M2, M3, M4, ... , Mn
BLOQUE 03 (CARGA HIDRAULICA 03)	Unidad de análisis (G)	S1:M1X1, M2, M3, M4, ... , Mn
	Tratamiento (X)	S2:M1X2, M2, M3, M4, ... , Mn
	Medición (M)	S3:M1X3, M2, M3, M4, ... , Mn
BLOQUE 04 (CARGA HIDRAULICA 04)	Unidad de análisis (G)	S1:M1X1, M2, M3, M4, ... , Mn
	Tratamiento (X)	S2:M1X2, M2, M3, M4, ... , Mn
	Medición (M)	S3:M1X3, M2, M3, M4, ... , Mn

Leyenda:

- S1, S2, S3: sedimentador secundario de tipo 1 (1.20x0.22m), tipo 2 (1.14x0.24m), tipo 3 (1.08x0.25m).
- M: medición de cada indicador en función de la variable en el afluente y efluente del sedimentador secundario.
- X: tasa hidráulica.

En el cuadro 4 se muestra el diseño de la investigación, que se limitó en la construcción de 12 unidades de tratamiento secundario (sedimentador secundario) debido al área que se tenía en el proyecto de investigación, en el cual se usó tres condiciones geométricas los cuales varían en su relación de largo ancho como son, L/A=4.5, L/A=4, L/A=3.5, que se replican 4 veces.

3.3. Métodos y técnicas

El método de esta investigación sigue las siguientes fases:

Gráfico 1. Procedimiento de la investigación.



3.3.1. Fase 1: Diseño e implementación

Dimensionamos los sedimentadores secundarios teniendo el dato del $Q_{\text{máx}}$ de $0.0178\text{m}^3/\text{h}$ y las relaciones largo sobre ancho, $L/A=4.5$, $L/A=4$, $L/A=3.5$, (Véase anexo 1.2).

Cuadro 5. Características geométricas de sedimentadores secundarios.

		SEDIMENTADOR 01	SEDIMENTADOR 02	SEDIMENTADOR 03
RELACION	L/A	4.5	4	3.5
ANCHO	A (cm)	22	24	25
LARGO	L (cm)	120	114	108

En el cuadro 5, se aprecia las relaciones largo sobre ancho de cada sedimentador secundario, también se aprecia las dimensiones constructivas largo y ancho de cada unidad de tratamiento secundario.

Para la ejecución y establecimiento de los bloques de sedimentadores secundarios, realizamos la construcción con mortero de cemento y agregado fino e implementación de accesorios en el afluente y efluente.

Luego de la construcción de las unidades se hizo a la limpieza, y se dejó ingresar el agua residual. Cada sedimentador secundario tiene dos puntos de muestreo, uno en el afluente que será la salida que serán los filtros percoladores y otro en el efluente que serán la salida de los sedimentadores secundarios que servirán para sacar las muestras.

Los 12 sedimentadores secundarios provenientes de filtros percoladores serán de acuerdo al siguiente cuadro.

Cuadro 6. Dimensiones de sedimentadores secundarios.

SEDIMENTADORES	LARGO (cm)	ANCHO (cm)	ALTURA (cm)
S1	120	22	20
S2	114	24	20
S3	108	25	20
S4	120	22	20
S5	114	24	20
S6	108	25	20
S7	120	22	20
S8	114	24	20
S9	108	25	20
S10	120	22	20
S11	114	24	20
S12	108	25	20

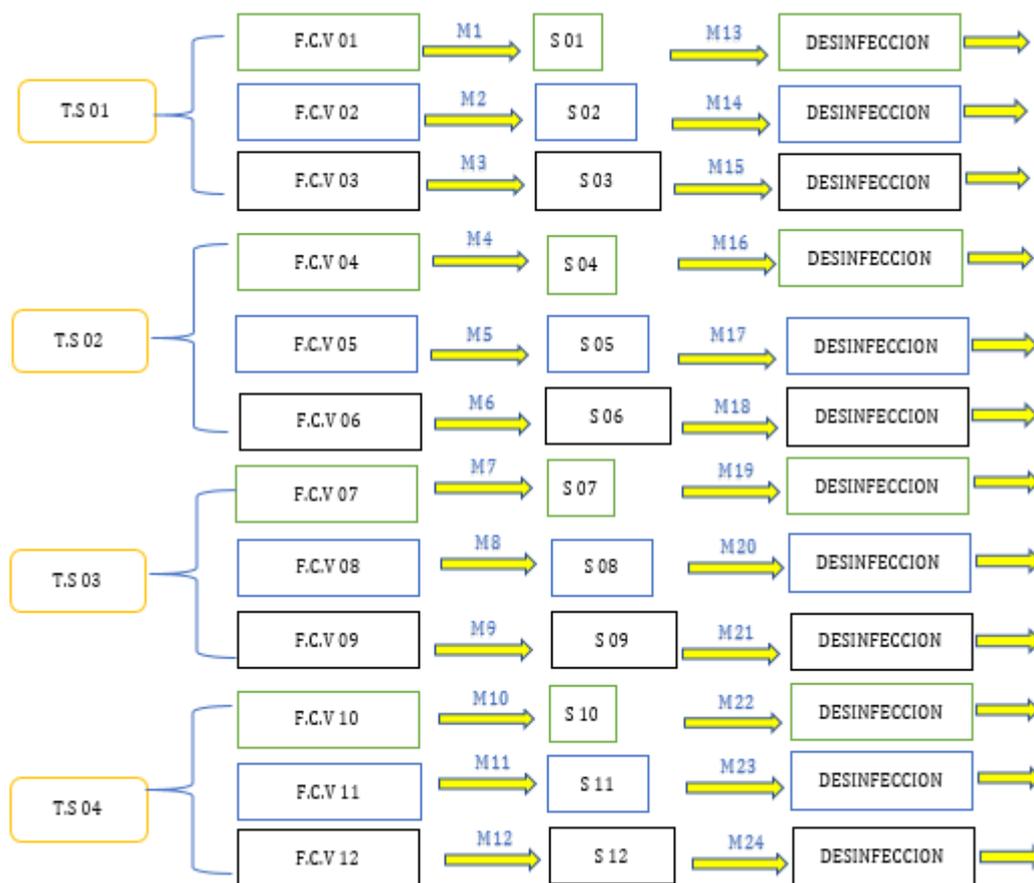
En el cuadro 6, se aprecia las dimensiones constructivas largo, ancho y altura de los 12 sedimentadores secundarios.

La implementación y construcción de los sedimentadores secundarios se realizó con las medidas mostradas en el cuadro 6. Se puso en marcha los sedimentadores secundarios con la salida del agua residual proveniente de los filtros percoladores.

3.3.2. Fase 2: Identificación y toma de muestra

La toma de muestra se realizará en el ingreso de cada sedimentador secundario y en la salida de los sedimentadores secundarios, estos puntos de monitoreo garantizan una muestra representativa del agua residual, a continuación, se muestra el esquema del piloto.

Gráfico 2. Esquema del piloto.



Nota: T.S= Tanque séptico; F.C.V= Filtro de carbon vegetal; S= sedimentador secundario.

Las mediciones se realizaron en el ingreso (12 puntos) y salida (12 puntos) en el cual se tomaron muestras puntuales.

Los parámetros en el afluente fueron:

- Caudal de agua residual (m³/h)
- Potencial de hidrogeno
- Temperatura (°C)
- Conductividad (μS/cm)
- Demanda Bioquímica de Oxigeno (mg/L)
- Solidos suspendidos totales (mg/L)
- Solidos suspendidos volátiles (mg/L)

Los parámetros en el efluente son:

- Potencial de hidrogeno
- Temperatura (°C)
- Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
- Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
- Solidos suspendidos totales (mg/L)
- Solidos suspendidos volátiles (mg/L)

Estos parámetros de medición en la entrada y salida de los sedimentadores secundarios, se eligieron para poder determinar el coeficiente de producción de fangos, y las eficiencias de remoción.

Para la tesis el monitoreo se realizó semanalmente y el muestreo fue puntual, el monitoreo fue realizado por el propio Tesista aplicando las recomendaciones de la RM 273-2013 VIVIENDA tomando en consideración que no se debe tomar las muestras cerca de la superficie o en el fondo, evitar partículas grandes, sedimentos o material flotante acumulado en los puntos de muestreo.

Se emplearon materiales como: registro de datos de campo mediante fichas, piceta con agua destilada, solución amortiguadora de pH, vasos descartables y frascos de plástico de 1 litro.

Se emplearon los siguientes equipos: cronómetro, cámara y PH metro con función de registro de temperatura.

La indumentaria usada fue: Guardapolvo, guantes quirúrgicos, Lentes; Mascarillas descartables.

Se determinó la DBO5 mediante el método APHA 5210B, para los SST por el método APHA 2540D, y para los SSV por el método APHA 2540E.

3.3.3. Fase 3: Instrumentos y aplicación

Se realizó los análisis en el laboratorio del centro experimental de Tuyururi que está ubicado a una distancia de 50 m aproximadamente del lugar monitoreo, cuya implementación fue realizada por los tesisistas para sus investigaciones.

Cuadro 7. Indicadores e instrumentos de obtención de datos.

VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES	TECNICA	INSTRUMENTO	DESCRIPCIÓN
Condiciones geométricas en sedimentadores secundarios.	Ancho	Observación	Condiciones geométricas CEPIS	Método que consiste en determinar las dimensiones de las unidades de tratamiento.
	Largo	Observación	Condiciones geométricas CEPIS	Método que consiste en determinar las dimensiones de las unidades de tratamiento.
	Profundidad	Observación	Condiciones geométricas CEPIS	Método que consiste en determinar las dimensiones de las unidades de tratamiento.
	Área superficial del sedimentador	Observación	Condiciones geométricas CEPIS	Método que consiste en determinar las dimensiones de las unidades de tratamiento.
	TRH	Observación	Método volumétrico	Método que consiste en tomar una muestra de agua en un recipiente de determinado volumen, midiendo el tiempo de llenado.
	Caudal de operación	Observación	Método volumétrico	Método que consiste en tomar una muestra de agua en un recipiente de determinado volumen, midiendo el tiempo de llenado.
	Sólidos suspendidos totales	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 D, 23a edición. Sólidos.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de sólidos suspendidos totales, secados 103 - 105 °C.
	Sólidos suspendidos volátiles	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 E, 23a edición. Sólidos.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de sólidos fijos y volátiles encendidos a 550 °C.
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 5210 B, 22a Edición.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD). Prueba de DBO a 5 días.

VARIABLE DEPENDIENTE	INDICADOR	ESCALA DE MEDICIÓN		
Coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios.	Potencial de Hidrógeno	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 4500-H+ B, 23a Edición.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método del Valor de PH - Método electrométrico.
	Temperatura	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2550 B, 23a Edición.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de Temperatura de laboratorio y de campo
	Conductividad	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2510 B, 23a Edición.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de Conductividad de laboratorio.
	Sólidos suspendidos totales	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 D, 23a edición. Sólidos.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de sólidos suspendidos totales, secados 103 - 105 °C.
	Sólidos suspendidos volátiles	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 E, 23a edición. Sólidos.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de sólidos fijos y volátiles encendidos a 550 °C.
	Demanda Bioquímica de Oxígeno	Prueba estandarizada	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 5210 B, 22a Edición.	Métodos estándar para el examen de agua y aguas residuales, Edición 23rd 2017. Método de Demanda Bioquímica de Oxígeno (BOD). Prueba de DBO a 5 días.

3.3.4. Fase 4: Organización de datos

Elaboramos cuadros, tablas, y gráficos de los indicadores de manera semanal y analizamos e interpretamos los datos de los parámetros de monitoreo.

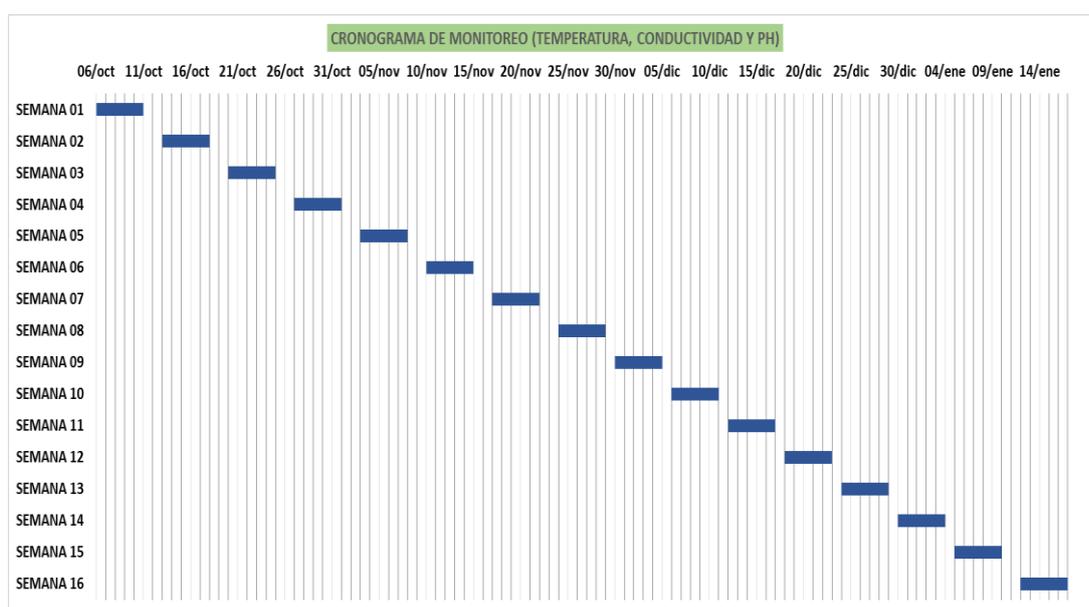
Organizamos los datos de Caudal (m³/h), Temperatura (°C), Conductividad, PH, DBO5 (mg/L), SST (mg/L), SSV (mg/L) y se muestra en el Anexo 2, de las 16 semanas de monitoreo. Se hizo el cálculo de indicadores que se presenta en el Anexo 3, Coeficiente de producción de fangos (Véase el anexo 3.1), Remoción de sólidos suspendidos totales

(Véase el anexo 3.2), Remoción de solidos suspendidos volátiles (Véase el anexo 3.3).

A continuación, se presentan los cronogramas de monitoreo de datos de campo y cronograma de análisis de laboratorio.

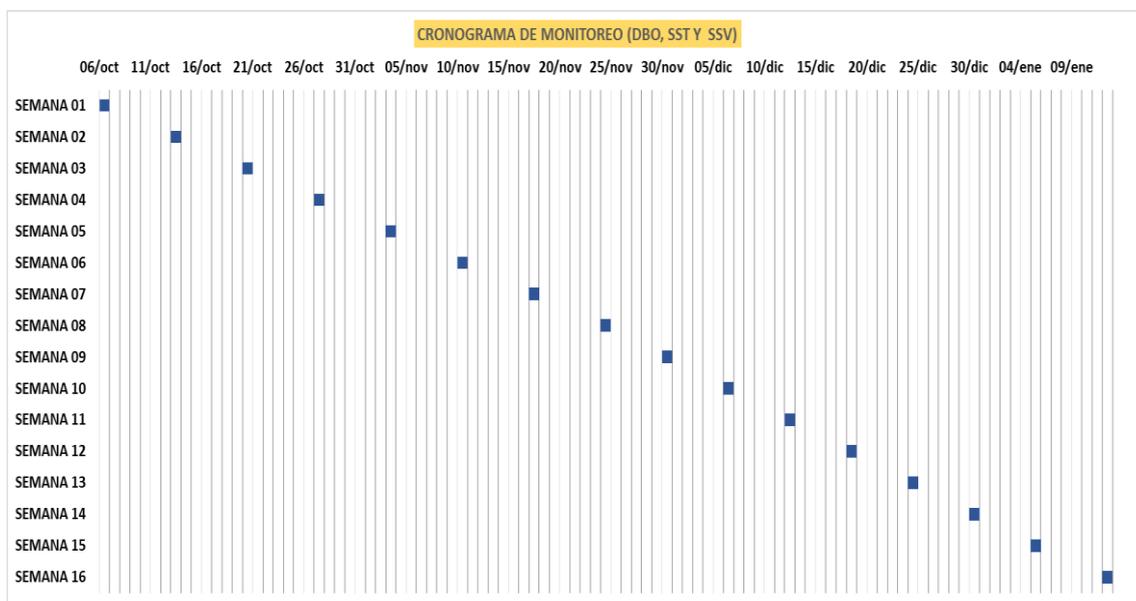
a) Cronograma de monitoreo

Cuadro 8. Cronograma de monitoreo de datos de campo.



En el cuadro 8 se muestra el cronograma de monitoreo de los datos de campo en el sedimentador secundario, como son la temperatura, la conductividad, y el potencial de hidrogeno (Ph), durante las 16 semanas de monitoreo.

Cuadro 9. Cronograma de análisis de laboratorio.



En el cuadro 9 se muestra el cronograma de monitoreo de los parámetros de análisis en el sedimentador secundario, como la DBO5, SST, SSV, durante las 16 semanas de monitoreo.

3.3.5. Fase 5: Análisis e interpretación de datos

Se realizó el análisis y procesamiento de datos utilizando el método de U de Mann-Whitney.

3.4. Población y muestra

- **Población:**

La población será el ingreso de las aguas residuales al prototipo que son tratados en decantadores primarios con diferentes cargas hidráulicas en la salida, que tiene un caudal de diseño es 5.16 m³/día. Estas son aportadas por los usuarios de la localidad Tuyururi.

- **Muestra:**

La muestra será los efluentes de las aguas residuales tratadas mediante doce filtros percoladores, que según el caudal de diseño es 0.43 m³/día.

- **Muestreo:**

Se hará un muestreo no probabilístico porque se desconoce la probabilidad de que se seleccione un elemento de la población. El método de muestreo es el muestreo por cuotas, tomando muestras del efluente de cada filtro percolador; el cual será cuantificado en función del caudal de diseño de 0.43 m³/día calculado para el trabajo de cada batería de sedimentadores secundarios.

- **Unidad de análisis:**

Se utilizó los diferentes sedimentadores secundarios con distintas cargas hidráulicas.

3.5. Instrumentos validados de recolección de datos

Los datos obtenidos se basan en las variables identificadas en el estudio, realizamos la medición de los parámetros de campo utilizando equipos calibrados insitu, por otro lado los análisis de laboratorio se desarrollaran en el laboratorio del centro experimental de Tuyururi mediante la aplicación de métodos estandarizados (Método APHA - Standard Methods 5210 B, Método APHA - Standard Methods 2540 D, Método APHA - Standard Methods 2540 E) utilizando los equipos debidamente calibrados, estos análisis se realizaron con la guía y supervisión de analistas capacitados del laboratorio de calidad ambiental de la UNASAM.

A. Pruebas estandarizadas

Según investigadores actualmente para la medición de un gran número de variables existen diversas pruebas e inventarios desarrollados. Las pruebas tienen sus propios procedimientos de aplicación, codificación e interpretación, y están disponibles en diversas fuentes secundarias y terciarias, a su vez en centros de investigación y difusión del conocimiento.

Al utilizar pruebas estandarizadas como herramientas de medición, se recomienda elegir pruebas válidas y confiables que hayan sido desarrolladas o adaptadas por investigadores para el mismo contexto en el que estamos estudiando (esta información la debemos tener).

Si elegimos una prueba desarrollada en otros contextos, será necesario adaptarla y aplicar pruebas piloto para calcular su validez y fiabilidad, adaptándola a las condiciones de nuestro estudio. Un instrumento o prueba debe demostrar que es válido y confiable en el contexto en el que se utiliza. (Hernández et al., 2014).

Los instrumentos que se han utilizado según las técnicas de recolección están estandarizados y se han adaptado con equipos calibrados y arrojan datos confiables según los siguientes métodos.

a) Método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 5210 B, 23a Edición (DBO5)

❖ **Descripción**

Es la medición del oxígeno disuelto consumido por los microorganismos durante la oxidación bioquímica de la materia orgánica, esta medición es de gran importancia en el tratamiento de aguas residuales ya que permite determinar la cantidad aproximada de oxígeno necesaria para la estabilización biológica de la materia orgánica. Para su determinación se sigue el siguiente procedimiento:

❖ Procedimiento

Transfiera la muestra al nivel del líquido en un matraz Winkler DBO de 300 ml. Utilizando el mismo método, agregue agua disuelta como blanco a un matraz de DBO de 300 ml. Los frascos se cubren con sus propias tapas. Utilice el medidor de oxígeno disuelto (después de la calibración) para medir la cantidad de oxígeno disuelto en una de las botellas de muestra preparadas (D1) y la botella vacía (B1). Luego, las botellas se incubaron a 20 °C durante 5 días antes de tomar lecturas de oxígeno disuelto para la muestra (D2) y el blanco (B2).

❖ Materiales y equipos

- Botellas winkler
- Agua destilada

b) Método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 D, 23a edición. (SST)

❖ Descripción

La muestra bien mezclada se filtra a través de un filtro estándar y el residuo retenido en él se seca hasta peso constante a 103-105°C. El aumento en el peso del filtro representa la cantidad total de sólidos en suspensión.

❖ Procedimiento

Ensamble el aparato filtrante, cree un vacío, coloque el papel de filtro previamente pesado en el embudo y humedezca con una pequeña cantidad de agua destilada para acondicionar el filtro. Mida 100 ml de la muestra bien mezclada y absorba lentamente el agua a través del papel de filtro. Lavar dos veces con 10 ml de agua destilada para vaciar completamente el filtro. Separar con cuidado el filtro del

aparato y secar en un horno a 103 °C y calentar a 105 °C1 durante 1 hora, colocar en un desecador para enfriar hasta el equilibrio y pesar hasta obtener peso constante.

❖ **Materiales y equipos**

- Filtro de fibra de vidrio 47 mm de diámetro
- Agua destilada
- Estufa
- Desecador

c) Método SMEWW-APHA-AWWA-WEF Parte 2540 E, 23ª edición. (SSV)

❖ **Descripción**

Esta determinación es útil para monitorear plantas de tratamiento de aguas residuales porque proporciona una estimación aproximada de la cantidad de sólidos, lodos activados y materia orgánica en los desechos industriales.

❖ **Procedimiento**

Calentar el horno de mufla a 550°C. Coloque el filtro que contiene el residuo de SSV en el horno. Calentar a 550°C durante al menos 15 minutos, enfriar a temperatura ambiente en un desecador y pesar. Repita este ciclo (iniciar, enfriar, secar, pesar) hasta obtener un peso constante.

❖ **Materiales y equipos**

- Filtro de fibra de vidrio 47 mm de diámetro
- agua destilada
- desecador

3.6. Plan de procesamiento y análisis estadístico de la información

El análisis estadístico utilizado en este marco es la prueba U de Mann-Whitney: es utilizada para probar H_0 de dos poblaciones iguales o 2 muestras independientes de la misma población cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad, que son medidos en mínimo en escala ordinal.

Es consistente con la prueba H de Kruskal-Wallis de 2 grupos y la prueba de suma de rangos de Wilcoxon. Esta prueba es una alternativa no paramétrica a la prueba t de Student paramétrica, que compara promedios, mientras que la U de Mann-Whitney compara la diferencia entre dos medianas y, por lo tanto, se basa en rangos.

CAPITULO IV: RESULTADOS

3.1. Resultados de la remoción de solidos suspendidos totales y solidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario.

3.1.1. Dimensiones del sedimentador secundario

Tabla 1. Medidas descriptivas del sedimentador secundario (largo, ancho, área, altura, volumen)

Sedimentador	Largo (m)	Ancho (m)	Área(m ²)	Altura (m)	Volumen (m ³)
1	1.20	0.22	0.264	0.2033	0.0537
2	1.14	0.24	0.274	0.2033	0.0556
3	1.08	0.25	0.270	0.2033	0.0549
4	1.20	0.22	0.264	0.2033	0.0537
5	1.14	0.24	0.274	0.2033	0.0556
6	1.08	0.25	0.270	0.2033	0.0549
7	1.20	0.22	0.264	0.2033	0.0537
8	1.14	0.24	0.274	0.2033	0.0556
9	1.08	0.25	0.270	0.2033	0.0549
10	1.20	0.22	0.264	0.2033	0.0537
11	1.14	0.24	0.274	0.2033	0.0556
12	1.08	0.25	0.270	0.2033	0.0549

De la tabla 1, las dimensiones del sedimentador secundario fueron notadas en su mayor nivel: largo de 1.20 m, ancho 0.25 m, área 0.274 m², altura 0.2033 m, volumen 0.0556 m³.

3.1.2. Condiciones hidráulicas

a) Tiempo de retención hidráulico

Tabla 2. Medidas descriptivas (tiempo de retención hidráulico)

Sedimentador	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
TRH (Hrs)	2.57	2.76	2.82	2.66	2.76	2.68	2.66	2.76	2.72	2.62	2.76	2.77

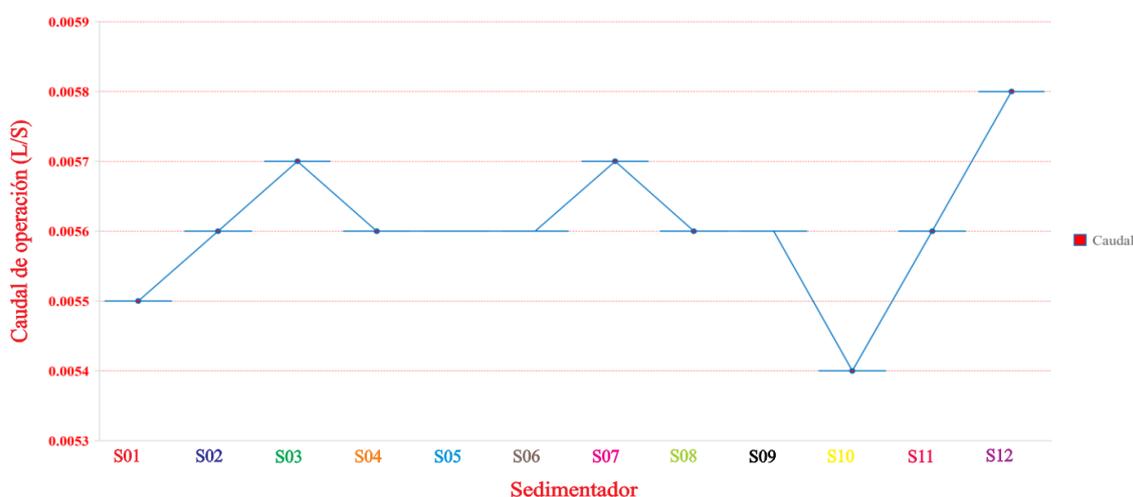
De la tabla 2, las condiciones hidráulicas del tiempo de retención hidráulica del sedimentador secundario varían entre 2.57Hrs - 2.77Hrs.

b) Caudal de operación

Tabla 3. Medidas descriptivas del caudal de operación (L/S) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	0.0055	0.0000	0.0000	0.0000	0.0055	0.0055	0.0055
02	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
03	0.0057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	0.0057	0.0057
04	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
05	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
06	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
07	0.0057	0.0000	0.0000	0.0000	0.0057	0.0057	0.0057
08	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
09	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
10	0.0054	0.0000	0.0000	0.0000	0.0054	0.0054	0.0054
11	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0056	0.0056	0.0056
12	0.0058	0.0000	0.0000	0.0000	0.0058	0.0058	0.0058

Gráfico 3. Medidas descriptivas del caudal de operación (L/S) en el sedimentador secundario.



De la tabla 3 y gráfico 3, se observa que el promedio de caudal de operación con mayor frecuencia es el sedimentador 12 a un 95% de confianza. Finalmente, el caudal de operación de menor frecuencia es el sedimentador 10 a un 95% de confianza.

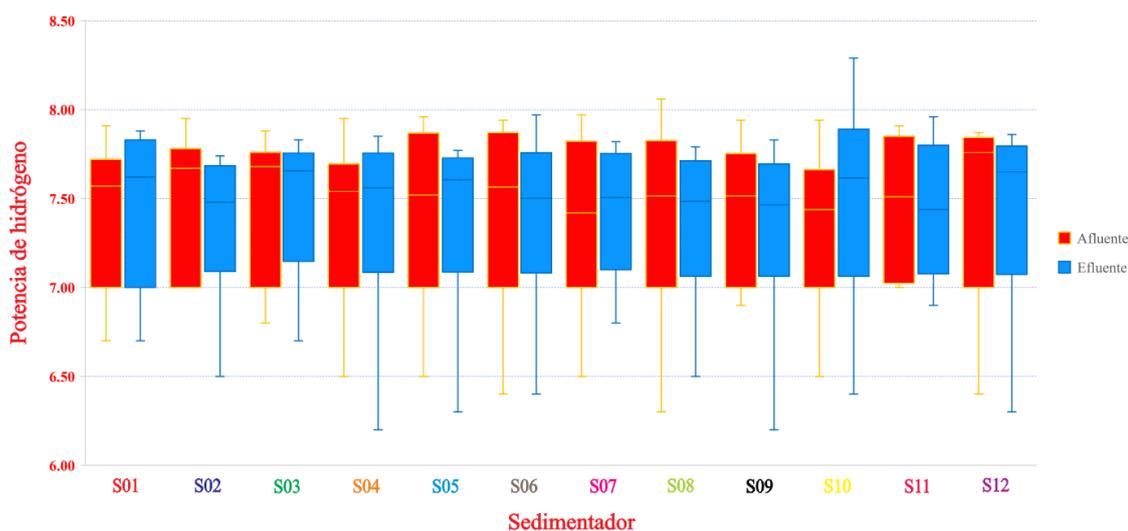
3.1.3. Condiciones fisicoquímicas en el afluente y efluente de las aguas residuales

a) Potencial de hidrogeno

Tabla 4. Medidas descriptivas del potencial de hidrogeno (PH) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	7.74	0.96	7.88	11.01	7.73	7.16	7.86
02	7.67	0.98	7.87	11.05	7.54	7.26	7.78
03	7.74	0.94	7.85	10.99	7.69	7.38	7.82
04	7.68	0.99	7.87	11.00	7.59	7.36	7.81
05	7.78	0.99	8.01	10.94	7.71	7.43	7.79
06	7.79	1.00	8.07	10.96	7.64	7.37	7.92
07	7.83	0.97	8.09	10.95	7.61	7.42	7.94
08	7.71	0.94	7.92	10.90	7.62	7.32	7.85
09	7.74	1.01	7.99	10.91	7.60	7.33	7.86
10	7.74	0.97	8.00	10.94	7.67	7.34	7.87
11	7.72	0.92	7.85	10.93	7.57	7.34	7.83
12	7.70	0.96	7.86	10.96	7.65	7.36	7.80

Gráfico 4. Medidas descriptivas del potencial de hidrogeno (PH) en el sedimentador secundario.



De la tabla 4 y gráfico 4, se observa que el promedio de mayor frecuencia del potencial de hidrogeno (PH) en el efluente es de 7.83 y se obtiene en el sedimentador 07, pudiendo variar entre 8.09ph – 10.95ph a un 95% de

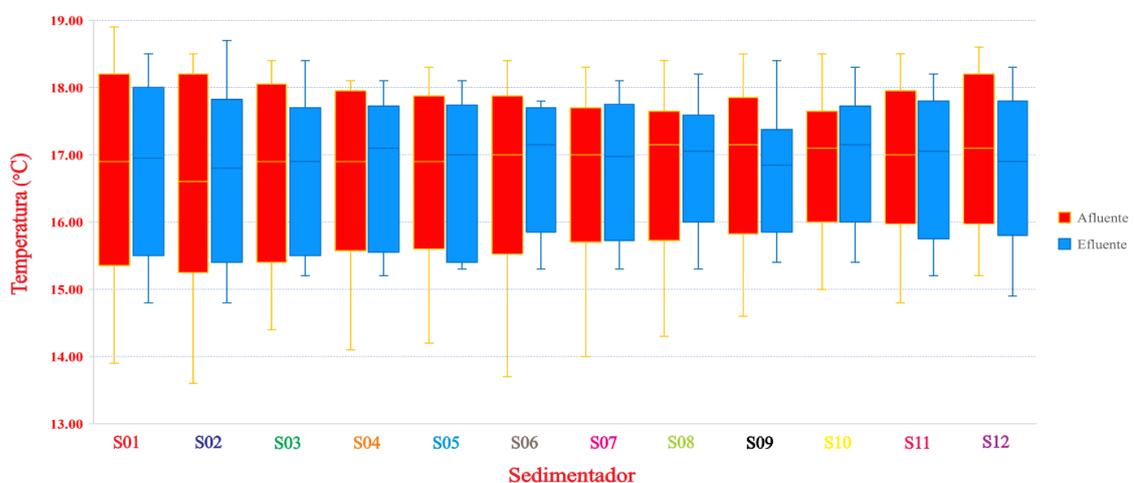
confianza. Así mismo, el efluente de menor promedio en potencial de hidrogeno es de 7.67ph y se obtiene en el sedimentador 02, variando entre 7.87ph a 11.05ph a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

b) Temperatura

Tabla 5. Medidas descriptivas de la temperatura (°C) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	16.83	1.44	18.10	18.90	17.23	15.50	18.00
02	16.78	1.41	18.10	18.90	17.10	15.40	17.83
03	16.77	1.27	18.00	18.80	16.95	15.50	17.70
04	16.79	1.32	18.10	19.20	17.10	15.40	17.85
05	16.20	2.76	17.80	19.30	17.00	15.30	17.78
06	16.83	1.22	17.80	19.20	17.15	15.55	17.75
07	16.76	1.10	17.90	18.10	16.98	15.45	17.75
08	16.81	1.02	17.80	18.20	17.05	15.75	17.70
09	16.74	0.96	17.70	18.40	16.85	15.75	17.60
10	16.88	1.00	17.90	18.30	17.15	16.00	17.80
11	16.84	1.04	17.90	18.20	17.05	15.70	17.80
12	16.81	1.11	17.90	18.30	16.90	15.75	17.80

Gráfico 5. Medidas descriptivas de la temperatura (°C) en el sedimentador secundario.



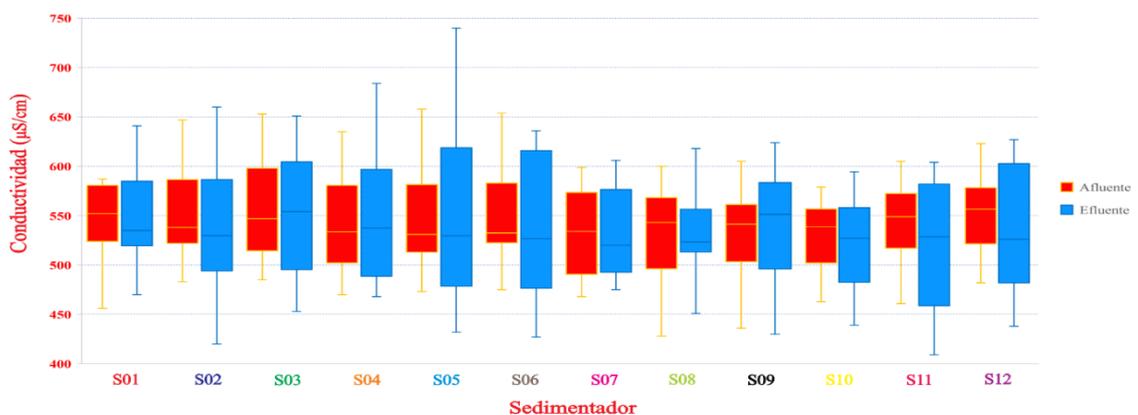
De la tabla 5 y grafico 5, se observa que el promedio de mayor frecuencia de la temperatura en el efluente es del sedimentador 10 con 16.88°C, pudiendo variar entre 17.90°C a 18.30°C a un 95% de confianza. Así mismo, el efluente de menor promedio de la temperatura es de 16.20°C y se obtiene en el sedimentador 05, variando entre 17.80°C a 19.30°C a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

c) Conductividad

Tabla 6. Medidas descriptivas de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	540	48	590	641	531	509	568
02	532	61	599	660	530	490	562
03	541	59	623	651	537	496	580
04	536	61	607	684	526	486	557
05	536	79	628	740	504	480	580
06	529	62	623	636	513	486	570
07	524	42	579	606	508	494	566
08	522	42	564	618	520	495	534
09	530	54	587	624	524	488	573
10	509	45	564	595	501	478	540
11	511	65	584	604	501	458	578
12	526	61	605	627	506	480	584

Gráfico 6. Medidas descriptivas de la conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) en el sedimentador.



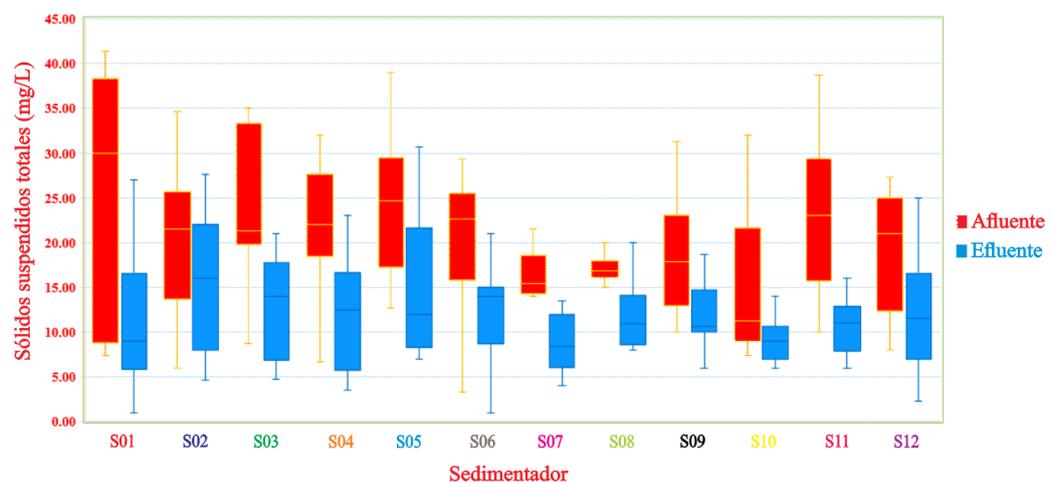
De la tabla 6 y grafico 6, se observa que el promedio de mayor frecuencia de la conductividad en el efluente es del sedimentador 03 con $541\mu\text{S}/\text{cm}$, pudiendo variar entre $623\mu\text{S}/\text{cm}$ a $651\mu\text{S}/\text{cm}$ con 95% de confianza. Así mismo, el efluente de menor promedio de la conductividad es de $509\mu\text{S}/\text{cm}$ y se obtiene en el sedimentador 10, variando entre $564\mu\text{S}/\text{cm}$ a $595\mu\text{S}/\text{cm}$ a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

d) Sólidos suspendidos totales

Tabla 7. Medidas descriptivas de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	11.57	8.13	20.00	28.00	9.00	5.80	16.50
02	15.75	7.95	25.00	28.00	16.34	8.25	22.00
03	14.58	6.67	20.00	30.00	14.75	9.18	19.25
04	12.14	5.70	16.67	23.00	12.25	7.50	15.25
05	13.54	7.54	22.00	30.67	10.00	8.00	19.17
06	12.22	5.82	18.00	22.00	13.34	8.65	14.99
07	9.84	5.81	13.50	26.00	8.35	5.75	12.67
08	14.64	11.11	20.00	50.00	10.89	8.42	15.00
09	12.77	5.61	18.45	29.00	10.59	10.00	14.50
10	10.14	3.49	13.00	20.00	9.77	7.00	11.25
11	12.55	6.08	21.00	27.00	11.67	8.25	14.50
12	12.57	6.34	20.00	25.00	12.00	7.50	16.50

Gráfico 7. Medidas descriptivas de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.



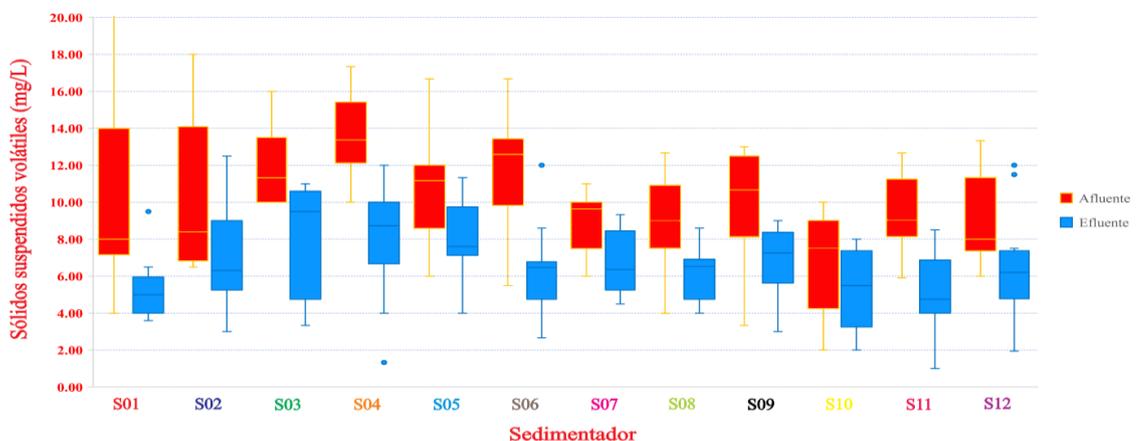
De la tabla 7 y grafico 7, se observa que el promedio de mayor frecuencia de los sólidos suspendidos totales en el efluente es del sedimentador 02 con 15.75mg/L, pudiendo variar entre 25mg/L a 28mg/L a un 95% de confianza. Así mismo, el efluente de menor promedio de los sólidos suspendidos totales es de 9.84mg/L y se obtiene del sedimentador 07, variando entre 13.50mg/L a 26mg/L a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

e) Sólidos suspendidos volátiles

Tabla 8. Medidas descriptivas sólidos suspendidos volátiles (mg/l) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	5.47	2.39	10	10	5.00	4	6
02	7.52	2.81	12	13	6.65	6	9
03	8.65	3.45	11	15	9.75	5	11
04	7.40	2.97	10	12	7.34	6	10
05	7.44	2.40	10	11	7.60	6	9
06	6.67	3.33	10	14	6.59	5	8
07	6.08	2.00	9	9	6.00	5	8
08	5.82	1.38	7	9	6.25	4	7
09	6.82	1.72	9	9	7.00	6	8
10	5.38	2.18	8	9	5.00	4	7
11	5.29	2.61	8	11	5.00	4	7
12	7.18	2.94	12	12	6.45	6	9

Gráfico 8. Medidas descriptivas sólidos suspendidos volátiles (mg/l) en el sedimentador secundario.



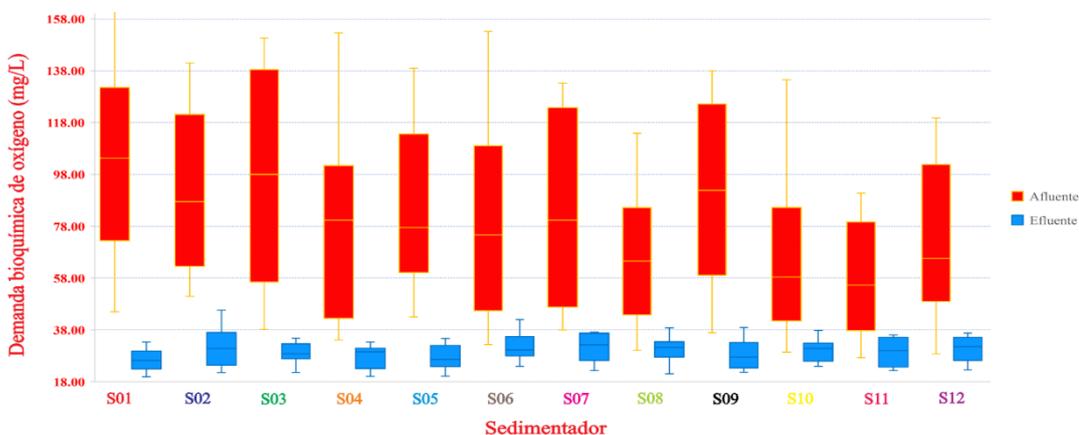
De la tabla 8 y grafico 8, se observa que el promedio de mayor frecuencia de sólidos suspendidos volátiles en el efluente es del sedimentador 03 con 8.65mg/L, pudiendo variar entre 11mg/L a 15mg/L. Así mismo, el efluente de menor promedio de sólidos suspendidos volátiles es de 5.29 mg/L y se obtiene en el sedimentador 11, variando entre 8mg/L a 11 mg/L a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

f) Demanda bioquímica de oxígeno

Tabla 9. Medidas descriptivas demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	25.69	4.38	29.87	33.34	25.65	21.31	29.38
02	31.22	9.12	45.63	46.88	30.87	23.37	37.03
03	28.60	3.56	33.01	34.74	28.57	26.90	30.89
04	27.64	4.63	31.34	36.92	27.78	24.36	30.95
05	27.52	4.78	33.34	34.71	26.61	23.91	31.99
06	32.31	5.06	37.12	42.01	32.23	28.04	36.06
07	32.53	5.93	38.25	40.89	33.72	26.73	37.19
08	31.22	5.44	38.79	40.07	32.13	27.69	33.43
09	27.85	4.98	33.18	38.94	27.56	23.37	32.19
10	30.86	4.95	37.83	38.89	31.12	26.47	34.08
11	30.27	5.52	36.06	37.12	31.05	23.93	35.15
12	31.10	5.11	36.82	38.10	31.82	27.26	35.13

Gráfico 9. Medidas descriptivas demanda bioquímica de oxígeno (mg/l) en el sedimentador secundario.



De la tabla 9 y gráfico 9, observamos el promedio de mayor frecuencia de demanda bioquímica de oxígeno en el efluente es del sedimentador 07 con 32.53mg/L, pudiendo variar entre 38.25mg/L a 40.89mg/L a un 95% de confianza. Así mismo, el efluente de menor promedio de demanda bioquímica de oxígeno es de 25.69mg/L y se obtiene en el sedimentador 01, variando entre 29.87mg/L a 33.34mg/L a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores afluente es muy variable comparado con los valores de los efluentes.

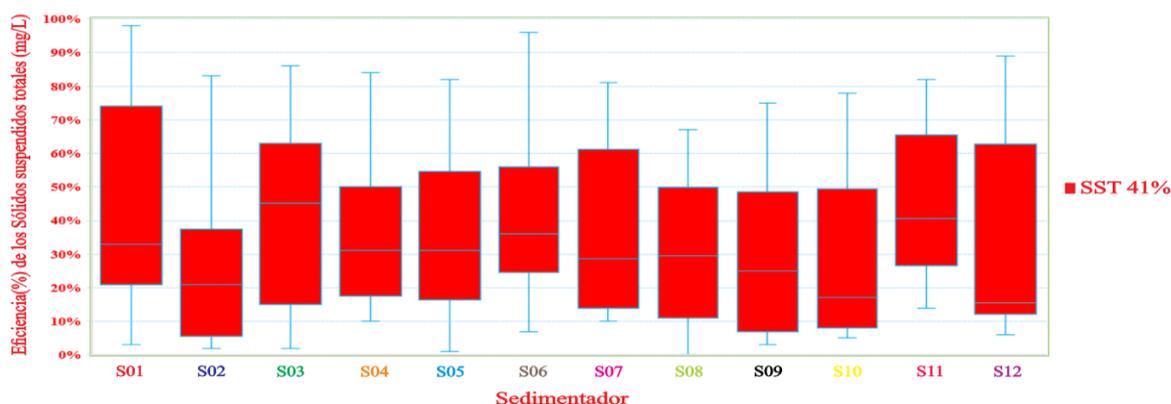
3.1.4. Eficiencia de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario

a. Eficiencia de sólidos suspendidos totales

Tabla 10. *Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.*

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	45%	0.32	0.86	0.98	0.39	0.21	0.74
02	28%	0.23	0.50	0.83	0.21	0.12	0.41
03	41%	0.26	0.65	0.86	0.44	0.18	0.61
04	45%	0.26	0.78	0.90	0.45	0.22	0.68
05	44%	0.27	0.74	0.90	0.42	0.21	0.66
06	46%	0.27	0.84	0.96	0.43	0.26	0.62
07	45%	0.29	0.79	0.97	0.46	0.14	0.71
08	35%	0.26	0.67	0.89	0.30	0.13	0.51
09	36%	0.26	0.75	0.77	0.28	0.14	0.56
10	29%	0.23	0.53	0.78	0.19	0.13	0.52
11	50%	0.22	0.78	0.82	0.48	0.32	0.69
12	42%	0.32	0.77	0.89	0.29	0.13	0.74

Gráfico 10. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) en el sedimentador secundario.



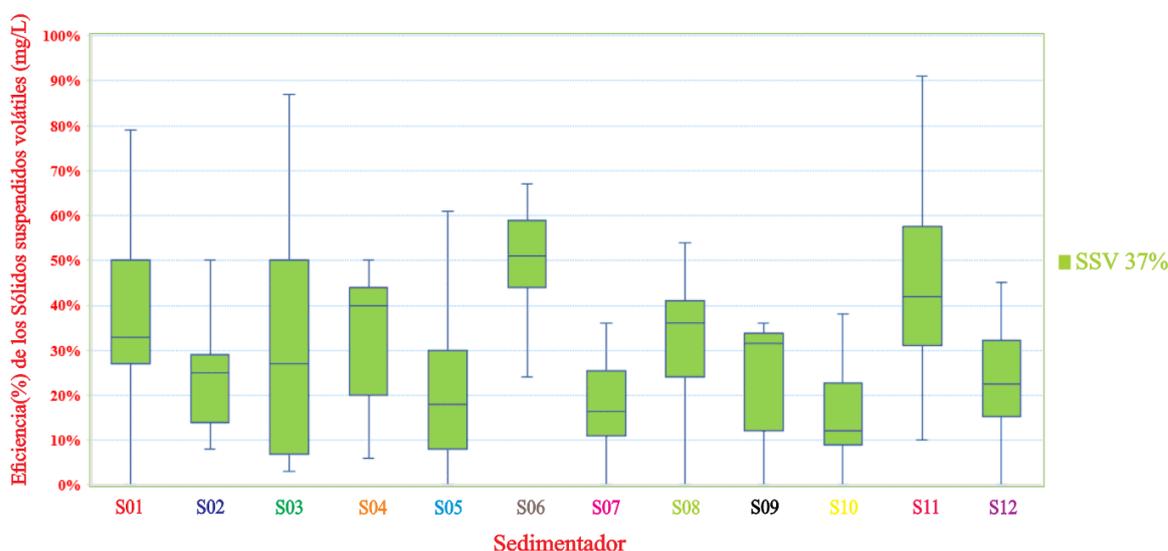
De la tabla 10 y gráfico 10, observamos que el mayor promedio de eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) es de 50% (sedimentador 11) y se estima que al 95% de confianza sus valores varíen entre el 78% al 82%. Así mismo, la de menor eficiencia (%) de estas es del sedimentador 2 con solo el 28%. Finalmente, la eficiencia (%) de sólidos suspendidos totales (mg/L) es del 41% global.

b. Eficiencia de sólidos suspendidos volátiles

Tabla 11. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	43%	0.28	0.79	0.96	0.35	0.26	0.66
02	28%	0.20	0.48	0.83	0.25	0.14	0.37
03	33%	0.27	0.67	0.87	0.30	0.08	0.53
04	42%	0.26	0.68	0.92	0.43	0.20	0.58
05	29%	0.26	0.61	0.79	0.22	0.08	0.44
06	53%	0.22	0.74	0.94	0.52	0.45	0.65
07	35%	0.29	0.69	0.96	0.22	0.13	0.62
08	40%	0.23	0.59	0.87	0.40	0.31	0.51
09	36%	0.23	0.60	0.76	0.33	0.17	0.52
10	23%	0.23	0.42	0.79	0.16	0.08	0.34
11	49%	0.23	0.75	0.91	0.46	0.32	0.70
12	33%	0.24	0.64	0.85	0.26	0.18	0.45

Gráfico 11. Medidas descriptivas de la eficiencia (%) de sólidos suspendidos volátiles (mg/L) en el sedimentador secundario.



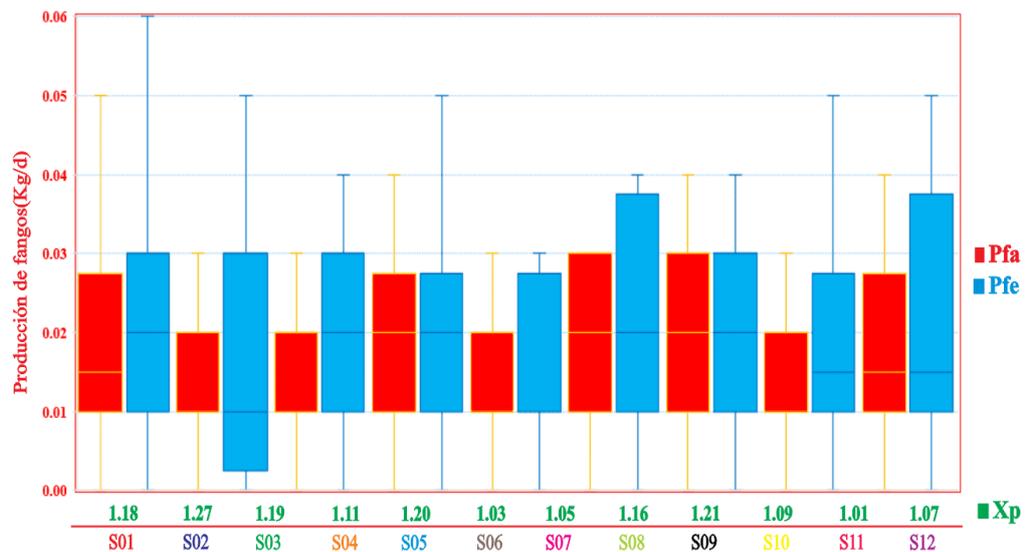
De la tabla 11 y gráfico 11, se observa que el mayor promedio de eficiencia (%) de los sólidos suspendidos volátiles (mg/L) es de 53% (sedimentador 06) y se estima que al 95% de confianza sus valores varían entre el 74% al 94%. Así mismo, la de menor eficiencia (%) de es del sedimentador 10 con solo el 23%. Finalmente, la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos volátiles (mg/L) es del 37% global.

3.1.5. Coeficiente de producción de fangos

Tabla 12. Medidas descriptivas del coeficiente de producción de fangos en el sedimentador secundario.

Sedimentador	Media	Desviación estándar	Intervalo de confianza al 95%		Mediana	Percentil 25	Percentil 75
			Inferior	Superior			
01	1.18	0.2584	1.4550	1.6090	1.1960	1.0445	1.3645
02	1.27	0.2651	1.5680	1.7920	1.2390	1.0595	1.4720
03	1.19	0.2319	1.3870	1.7070	1.1455	1.0135	1.3240
04	1.11	0.2536	1.4170	1.5600	1.1115	0.9110	1.2710
05	1.20	0.2740	1.5280	1.8020	1.1345	0.9845	1.3370
06	1.03	0.1952	1.2090	1.3200	1.0850	0.8425	1.1870
07	1.05	0.1840	1.2410	1.2490	1.0945	0.9875	1.1605
08	1.16	0.3093	1.2140	2.1160	1.1190	1.0320	1.1940
09	1.21	0.1773	1.3560	1.6570	1.1970	1.1025	1.3020
10	1.09	0.1262	1.2340	1.3140	1.0720	1.0160	1.1430
11	1.01	0.1952	1.1930	1.3630	1.0095	0.8545	1.1355
12	1.07	0.1979	1.2770	1.4990	1.0175	0.9445	1.2185

Gráfico 12. Medidas descriptivas del coeficiente de producción de fangos en el sedimentador secundario.



De la tabla 12 y gráfico 12, se observa que el promedio de mayor coeficiente de producción de fangos es en el sedimentador 02 con 1.27, pudiendo variar entre 1.568 a 1.792 a un 95% de confianza. Así mismo, el menor coeficiente de producción de fangos es de 1.01 y se obtiene en el sedimentador 11, variando entre 1.193 a 1.363, a un 95% de confianza. Por otro lado, la variabilidad entre sedimentadores respecto al coeficiente de producción de fangos no es muy variable respecto a los demás sedimentadores.

3.2. Contrastación de hipótesis

3.2.1. Contrastación de hipótesis general

I. Hipótesis de Investigación

Las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, si afectan directamente en la determinación del coeficiente de producción de fangos, para Climas Altoandinos – 2019.

II. Hipótesis Estadística

H_0 : Las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios no afectan en la producción de fangos para climas altoandinos, 2019.

H_1 : Las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios afectan en la producción de fangos para climas altoandinos, 2019.

III. Nivel de Significación

Se trabajará con una significancia teórica de $\alpha = 0.05$, correspondiente a un nivel de confiabilidad del 95%.

IV. Función de Prueba

Esto se hizo mediante una prueba no paramétrica llamada prueba U de Mann-Whitney porque ninguno de los conjuntos de datos se ajusta a una distribución normal.

Tabla 13. *Prueba de normalidad de los datos en las condiciones geométricas y la producción de fangos de los sedimentadores para climas altoandinos, 2019.*

Variable/dimensión/indicador		Shapiro-Wilk			Resultado
		Estadístico	gl	Sig.	
CONDICIONES GEOMÉTRICAS		0.73	192	0.0034	No normal
Dimensiones del sedimentador secundario	Ancho	0.43	192	0.0012	No normal
	Largo	0.445	192	0.0015	No normal
	Profundidad	0.449	192	0.0019	No normal
	Área superficial del sedimentador	0.448	192	0.0029	No normal
Condiciones hidráulicas	TRH	0.69	192	0.0021	No normal
	Caudal de operación	0.84	192	0.0002	No normal
Condiciones fisicoquímicas en el afluente de las aguas residuales	Potencial de Hidrógeno	0.894	192	0.0023	No normal
	Temperatura	0.936	192	0.001	No normal
	Conductividad	0.947	192	0.0023	No normal
	Sólidos suspendidos totales	0.752	192	0.004	No normal
	Sólidos suspendidos volátiles	0.76	192	0.0067	No normal
	Demanda bioquímica de oxígeno	0.961	192	0.001	No normal
COEF. DE PRODUCCIÓN DE FANGOS EN SED. SECUND.		0.92	192	0.004	No normal
Condiciones fisicoquímicas en el efluente de las aguas residuales	Potencial de Hidrógeno	0.691	192	0.0017	No normal
	Temperatura	0.853	192	0.0015	No normal
	Conductividad	0.969	192	0.001	No normal
	Sólidos suspendidos totales	0.909	192	0.001	No normal
	Sólidos suspendidos volátiles	0.982	192	0.013	No normal
	Demanda bioquímica de oxígeno	0.979	192	0.005	No normal

Fuente: base de datos.

En la tabla 13 indica la prueba de normalidad aplicada a las variables, dimensiones, e indicadores de estudio, el cual es realizada para determinar el tipo de tratamiento estadístico que tendrá la investigación.

V. Reglas de decisión

- ✓ Se rechaza H_0 cuando el nivel de significancia observada “p” es menor que α .
- ✓ No se rechaza H_0 cuando el nivel de significancia observada “p” es mayor que α .

VI. Cálculos

Tabla 14. *Prueba U de Mann – Whitney en las condiciones geométricas y la producción de fangos de los sedimentadores para climas altoandinos, 2019.*

Estadístico	Coefficiente de producción de fangos
U de Mann-Whitney	456,561
Z	-0,356
Sig. (bilateral)	0,0034

Fuente: base de datos.

La tabla 14 indica la prueba estadística de U de Mann – Whitney aplicada a las condiciones geométricas y a la producción de fangos de los sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas para climas altoandinos.

VII. Conclusión

Dado que el valor de significancia observado de la prueba U de Mann-Whitney de $p = 0.0034$ es menor que el valor de significancia teórica de $\alpha =$

0.05, se rechaza la hipótesis nula. Quiere decir que las condiciones geométricas afectan en la producción de fangos de los sedimentadores para climas altoandinos, 2019.

Por el cual, aceptamos la hipótesis general de la investigación con un intervalo de 95% de confianza.

3.2.2. Contrastación de hipótesis específica 01

I. Hipótesis de Investigación

La remoción de sólidos suspendidos totales si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos –2019.

II. Hipótesis Estadística

H₀ : La remoción de sólidos suspendidos totales no se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos, 2019.

H₁ : La remoción de sólidos suspendidos totales si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos, 2019.

III. Nivel de Significación

Se trabajará con una significancia teórica de $\alpha = 0.05$, correspondiente a un nivel de confiabilidad del 95%.

IV. Función de Prueba

Cuando los datos están cerca de la distribución normal, se utiliza el análisis de varianza paramétrico (prueba F), cuando los datos no están cerca de la distribución normal, se utiliza la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

V. Regla de decisión

- ✓ Se rechaza H0 cuando el nivel de significancia observada “p” es menor que α .
- ✓ No se rechaza H0 cuando el nivel de significancia observada “p” es mayor que α .

VI. Cálculos

Tabla 15. *Condiciones geométricas y los sólidos suspendidos totales en sedimentadores para climas altoandinos, 2019.*

Condiciones geométricas/ Sólidos suspendidos totales	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	542.892	11	49.354	1.030	0.422
Dentro de grupos	8626.105	180	47.923		
Total	9168.998	191			

Fuente: base de datos.

En la tabla 15 se muestra el nivel de significancia de las condiciones geométricas y los sólidos suspendidos totales en los sedimentadores secundarios para climas altoandinos.

VII. Conclusión

Dado que el valor de significancia observado de la prueba de análisis de varianza (ANVA) con $F = 1.030$, $p = 0.422$ es mayor que el valor de significancia teórica de $\alpha = 0.05$, no se rechaza la hipótesis nula. Esto significa que, la remoción de sólidos suspendidos totales no está influenciada por la condición geométrica del sedimentador secundario.

Entonces, rechazamos la primera hipótesis específica de investigación con un intervalo de 95% de confianza.

3.2.3. Contrastación de hipótesis específica 02

I. Hipótesis de Investigación

La remoción de sólidos suspendidos volátiles si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos –2019.

II. Hipótesis Estadística

H₀ : La remoción de sólidos suspendidos volátiles no se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos, 2019.

H₁ : La remoción de sólidos suspendidos volátiles si se verá afectada por las condiciones geométricas de los sedimentadores secundarios, para climas Altoandinos, 2019.

III. Nivel de Significación

Se trabajará con una significancia teórica de $\alpha = 0.05$, correspondiente a un nivel de confiabilidad del 95%.

IV. Función de Prueba

Cuando los datos están cerca de la distribución normal, se utiliza el análisis de varianza paramétrico (prueba F), cuando los datos no están cerca de la distribución normal, se utiliza la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

V. Regla de decisión

- ✓ Se rechaza H_0 cuando el nivel de significancia observada “p” es menor que α .
- ✓ No se rechaza H_0 cuando el nivel de significancia observada “p” es mayor que α .

VI. Cálculos

Tabla 16. *Condiciones geométricas y los sólidos suspendidos volátiles en sedimentadores para climas altoandinos, 2019.*

Condiciones geométricas/ Sólidos suspendidos volátiles	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	194.082	11	17.644	2.639	0.004
Dentro de grupos	1203.501	180	6.686		
Total	1397.583	191			

Fuente: base de datos.

En la tabla 16 se muestra el nivel de significancia de las condiciones geométricas y los sólidos suspendidos volátiles en los sedimentadores secundarios para climas altoandinos.

VII. Conclusión

Dado que el valor de significancia observado de la prueba de análisis de varianza (ANVA) con $F = 2.639$ y $p = 0.004$ es menor que el valor de significancia teórica de $\alpha = 0,05$, rechazamos la hipótesis nula. Esto significa que, la remoción de sólidos volátiles en suspensión se verá afectada por la geometría del sedimentador secundario.

Entonces, aceptamos la segunda hipótesis específica de investigación con un intervalo de 95% de confianza.

CAPITULO V: DISCUSIÓN

Según el objetivo general determinar el coeficiente de producción de fangos en el sedimentador secundario, los resultados mostrados en el grafico 10 observamos que el promedio de mayor coeficiente de producción de fangos es en el sedimentador 02 con 1.27, pudiendo variar entre 1.568 a 1.792. Así mismo, el menor coeficiente de producción de fangos es de 1.01 y se obtiene en el sedimentador 11, variando entre 1.193 a 1.3663. De acuerdo a (CONAGUA, 2015), Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Tratamiento y disposición de lodos; producción de lodos en procesos de crecimiento suspendido en la tabla indica lodos activados sin clarificación primaria (estabilización por contacto) un valor de coeficiente de producción de fangos 1.0, que al ser comparado con nuestros resultados los valores encontrados están por encima, demostrándose que las condiciones geométricas y los tipos de tratamiento de agua residual influyen en la determinación del coeficiente de producción de fangos.

Según el objetivo específico calcular la remoción de solidos suspendidos totales en el sedimentador secundario, los resultados mostrados en el grafico 8, se observa que el mayor promedio de eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) es de 50% (sedimentador 11) y se estima que sus valores varíen entre el 78% al 82%. Así mismo, la de menor eficiencia (%) de estas es del sedimentador 2 con solo el 28%. Finalmente, la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos totales (mg/L) es del 41% global; datos que al ser comparados con lo encontrado en Margarita Jover-Smet (2015), en su tesis de investigación titulada ““Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación”, teniendo como conclusión, que el rendimiento de eliminación de solidos de suspensión en decantación secundaria, a las distintas profundidades del tanque, indican una considerable mejora a medida que disminuye la carga hidráulica o velocidad ascensional, se contradice que las condiciones geométricas tengan

influencia en la remoción de sólidos suspendidos totales. Así mismo en otra investigación según García Ortiz Juan (2018) en su tesis de investigación titulada “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”, se concluyó que para sólidos suspendidos totales obtuvimos una eficiencia de 71.88%, respecto a un 84% que debería tener normalmente, datos que al ser comparado con los resultados coinciden en sus valores de variación en porcentajes de eficiencia.

Según el objetivo específico calcular la remoción de sólidos suspendidos volátiles en el sedimentador secundario, los resultados mostrados en el gráfico 9, se observa que el mayor promedio de eficiencia (%) de los sólidos suspendidos volátiles (mg/L) es de 53% (sedimentador 06) y se estima que sus valores varían entre el 74% al 94%. Así mismo, la de menor eficiencia (%) es del sedimentador 10 con solo el 23%. Finalmente, la eficiencia (%) de los sólidos suspendidos volátiles (mg/L) es del 37% global; datos que al ser comparados con Torres (2013), representar gráficamente la cantidad de partículas suspendidas es útil para el control de procesos porque nos da una estimación aproximada de la cantidad de materia orgánica en la fracción sólida de las aguas residuales.

En la tabla 2, se observa valores de tiempo de retención hidráulica en el sedimentador secundario que varían entre 2.57 – 2.82 horas; datos que tienen relación con el área transversal, la profundidad, y volumen de los sedimentadores secundarios. Según (CONAGUA, 2015), los tiempos de residencia cortos y las bajas concentraciones de oxígeno disuelto en ambientes aeróbicos permiten el crecimiento de organismos filamentosos, y este tipo de organismos pueden afectar las propiedades de sedimentación. Los lodos que contienen organismos filamentosos (abultamiento de lodos) también resultan de desequilibrios de nutrientes u otras condiciones que afectan la sedimentación. El tiempo de retención afecta el rendimiento de materia seca porque afecta la descomposición de la materia orgánica en el agua del afluente.

En el grafico 2, se observa que el promedio de mayor frecuencia del potencial de hidrogeno (PH) en el efluente es de 7.83 y se obtiene en el sedimentador 07, pudiendo variar entre 8.09ph – 10.95ph. Así mismo, el efluente de menor promedio en potencial de hidrogeno es de 7.67ph y se obtiene en el sedimentador 02, variando entre 7.87ph a 11.05ph. Que al ser comparado con Romero (1999) están fuera del rango adecuado para diferentes procesos tratamientos de 6.5 a 8.5.

Dentro del grafico 3, observamos que el promedio de mayor frecuencia de la temperatura en la salida es la del sedimentador 10 con 16.88°C, pudiendo variar entre 17.90°C a 18.30°C. Así mismo, el efluente de menor promedio de la temperatura es de 16.20°C y se obtiene en el sedimentador 05, variando entre 17.80°C a 19.30°C; datos que al ser comparados con Margarita Jover-Smet (2015), en su tesis de investigación titulada “Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminación”, Se concluyó que la temperatura no afecta el rendimiento de decantación por encima de 20°C y varía entre 1°C y 3°C. Además (CONAGUA, 2015), demostró que las bajas temperaturas aumentan la densidad del agua y, por tanto, reducen la velocidad de sedimentación a su vez a la concentración de sólidos. La baja temperatura también afecta las propiedades físicas del lodo.

CAPITULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

En este trabajo se determinó el coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, lo más importante de esta investigación son los valores encontrados de coeficiente de producción de fangos que en promedio se encuentran superiores a 1 pero inferiores a 2, comparado con sistemas de lodos activados el valor encontrado es de 1. Lo que me ayudo a determinar dichos valores de coeficiente de producción de fangos fueron los siguientes parámetros; DBO5, SST, porque tienen relación directa con la determinación del coeficiente de producción de fangos.

En este trabajo se calculó la remoción de sólidos suspendidos totales en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, lo más importante de esta investigación son valores encontrados de remoción de sólidos suspendidos totales en global que es del 41%. Podemos decir que es ineficiente en la remoción de sólidos suspendidos totales.

En este trabajo se calculó la remoción de sólidos suspendidos volátiles en sedimentadores secundarios con diferentes condiciones geométricas, lo más importante de esta investigación son valores encontrados de remoción de sólidos suspendidos volátiles en global que es del 37%. Podemos decir que no es eficiente en la remoción de sólidos suspendidos volátiles.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda el mantenimiento constante de la cámara de rejas para evitar obstrucciones que impidan el ingreso del agua residual.

Se recomienda instalar un desarenador para evitar obstrucciones en las unidades de tratamiento, así garantizar el ingreso de un caudal constante.

Es recomendable utilizar trazadores para hallar el tiempo de retención real en la unidad de tratamiento (sedimentadores secundarios).

Se recomienda monitorear los parámetros de campo constantemente para detectar anomalías en el funcionamiento del sistema de tratamiento.

Se recomienda realizar el mantenimiento periódico de todas las unidades de tratamiento, para evitar la acumulación de sólidos que impidan el ingreso continuo de agua residual.

CAPITULO VI: REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Anisley Amador Diaz, Eliet Veliz Lorenzo, Mayra Bataller Venta. (2014). Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones.
- APHA, AWWA, WPCF. (1992). *Metodos normalizados para e analisis de aguas potables y residuales* (Decimoseptima ed.).
- Aqualia. (s.f.). *Informe de Sostenibilidad 2021*.
- Bruce, H. (2017). Guia de referencia de sistemas de tratamiento de aguas residuales utilizados en centro america. *Estados Unidos: Agencia de los estados unidos para el desarrollo*.
- CEPIS/OPS-OMS. (2002). Curso internacional "Gestion Integral de Tratamiento de Aguas Residuales". *Sistema de Tratamiento de Aguas Residuales*.
- Chamorro, J. (2016). Depuración para principiantes V-2: Tratamiento biológico con fangos activos. Obtenido de <https://www.iagua.es/blogs/jorge-chamorro/depuracion-principiantes-v-2-tratamiento-biologico-fangos-activos>
- CONAGUA. (2016). *Manual de agua potable, Alcantarillado y saneamiento, Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales: Tratamiento y disposición de lodos*.
- DSN°015, MVCS. (2017). Decreto Supremo que aprueba el Reglamento para el Reaprovechamiento de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales.
- Garcia, J. O. (2018). *Eficiencia de la planta de tratamiento de aguas residuales, en la variacion de oxigeno disuelto, temperatura, y remoción de solidos suspendidos totales, en Celendin-Cajamarca*.
- Gomez, G. (1995). *Manual de analisis de agua*. Manizales: universidad nacional de colombia.
- Hernandez S.R, Fernandez C.C, & Baptista L.M. (2014). *Metodologia de la investigación* (sexta ed.). McGraw-Hill.
- Junin, G. R. (Octubre de 2010). Manual de diseño, Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales. Copyrighth Gobierno Regional Junin.

- Lopez R.A, & Herrera K.L. (2015). *Planta de tratamiento de aguas residuales para reuso en riego de parques y jardines en el distrito de la esperanza, Provincia de Trujillo, La libertad.*
- Metcalf & Eddy. (1995). *Ingenieria de aguas residuales, tratamiento, Vertido y Reusó: Vol. I* (Tercera edicion ed.). McGraw-Hill.
- Ramalho, R. S. (1996). *Tratamiento de aguas residuales.* Editorial Reverte.
- RM 273, MVCS. (2013). Aprobar el Protocolo de Monitoreo de la Calidad de los Efluentes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales - PTAR.
- RNE. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. *D.S N° NORMA OS.090 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.*
- Romero, J. A. (1999). *Tratamiento de aguas residuales, Teroria y principios de diseño.*
- Rosas, J. J. (2016). *Calidad y caudal de aguas residuales en la planta de tratamiento de jauja.*
- Saneamiento, O. (2013). *Protocolo de monitoreo de la calidad de los efluentes de las plantas de tratamiento de las aguas residuales domesticas o municipales - PTAR.*
- Smet, M. J. (2015). *Estudio sobre los rendimientos de las decantaciones con aguas residuales con diferentes concentraciones de contaminacion.*
- SUNASS. (2017). Diagnostico de las plantas de tratamiento de aguas residuales en el ambito de operacion de las entidades prestadoras de servicios de saneamiento. *Lima-Peru: Superintendencia Nacional de Servicios de Saneamiento/Programa de Modernizacion y Fortalecimiento del Sector Agua y Saneamiento.*
- Tecspar, R. A. (s.f). Manual de Tecnologias Sostenibles en tratamiento de Aguas Residuales. (G. Peñuela, & J. Morato , Edits.)
- Torres, A. (2013). *Analisis de aguas residuales.* Granada: Laboratotio de Medio Ambiente. Obtenido de analisis de Aguas Residuales.

ANEXOS

ANEXO 1: Diseño e implementación de los sedimentadores secundarios.

Anexo 1.1. Caracterización de aguas residuales (Líquidos I – 2020)

Parámetro	Unidad de medida	Método	Cantidad	Lugar de análisis
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l DBO	APHA 5219 B	75	Calidad Ambiental Unasam
Demanda bioquímica de oxígeno	mg/l DBO	APHA 5219 B	150	Calidad Ambiental Unasam

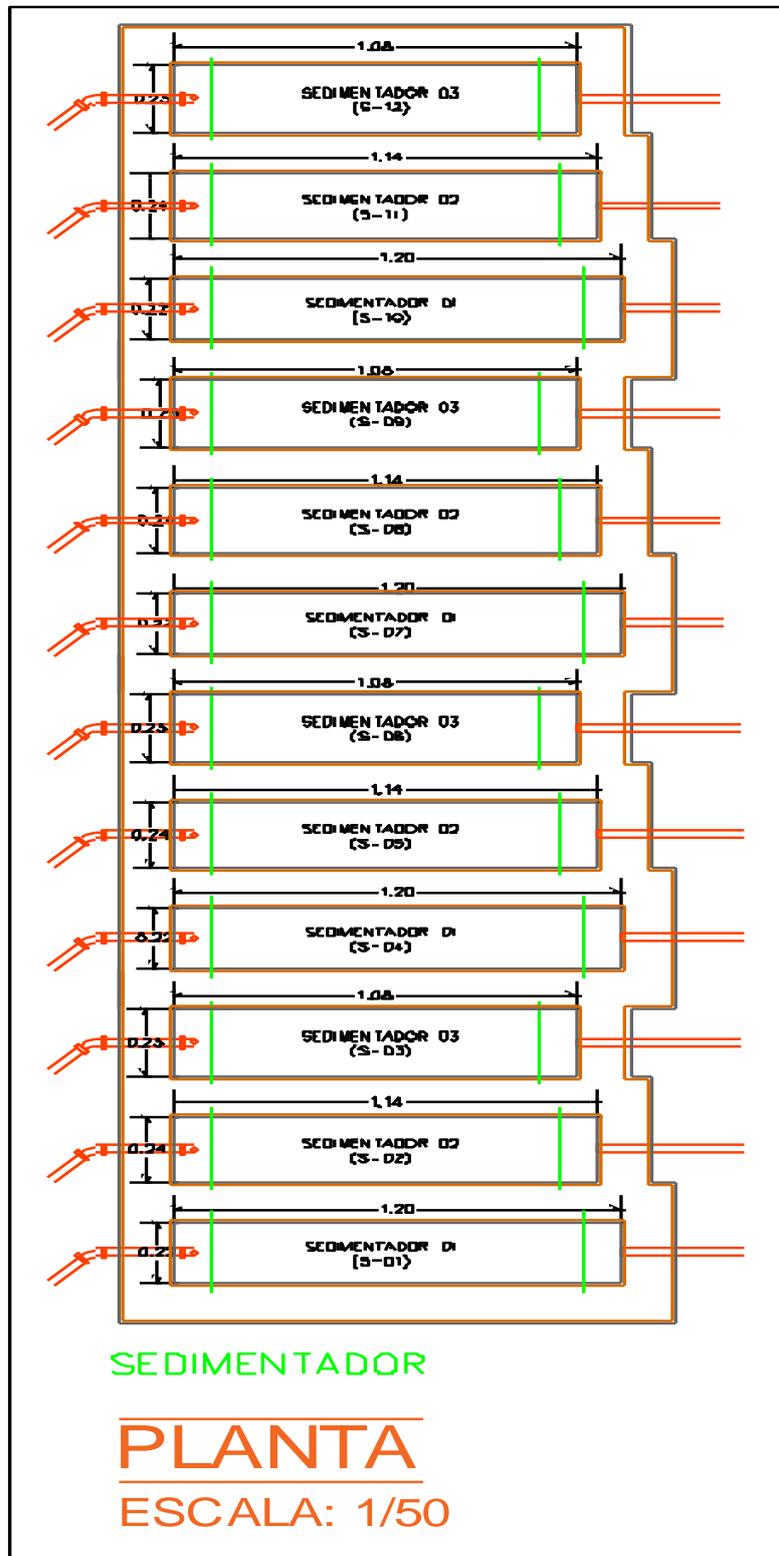
Fuente: caracterización de aguas residuales en el buzón de ingreso al centro experimental de tuyururi realizado el 1 y 3 de octubre del año 2019 por los alumnos del curso de residuos líquidos I de la EPIS – UNASAM.

Anexo 1.2. Memoria de cálculos de los sedimentadores secundarios.

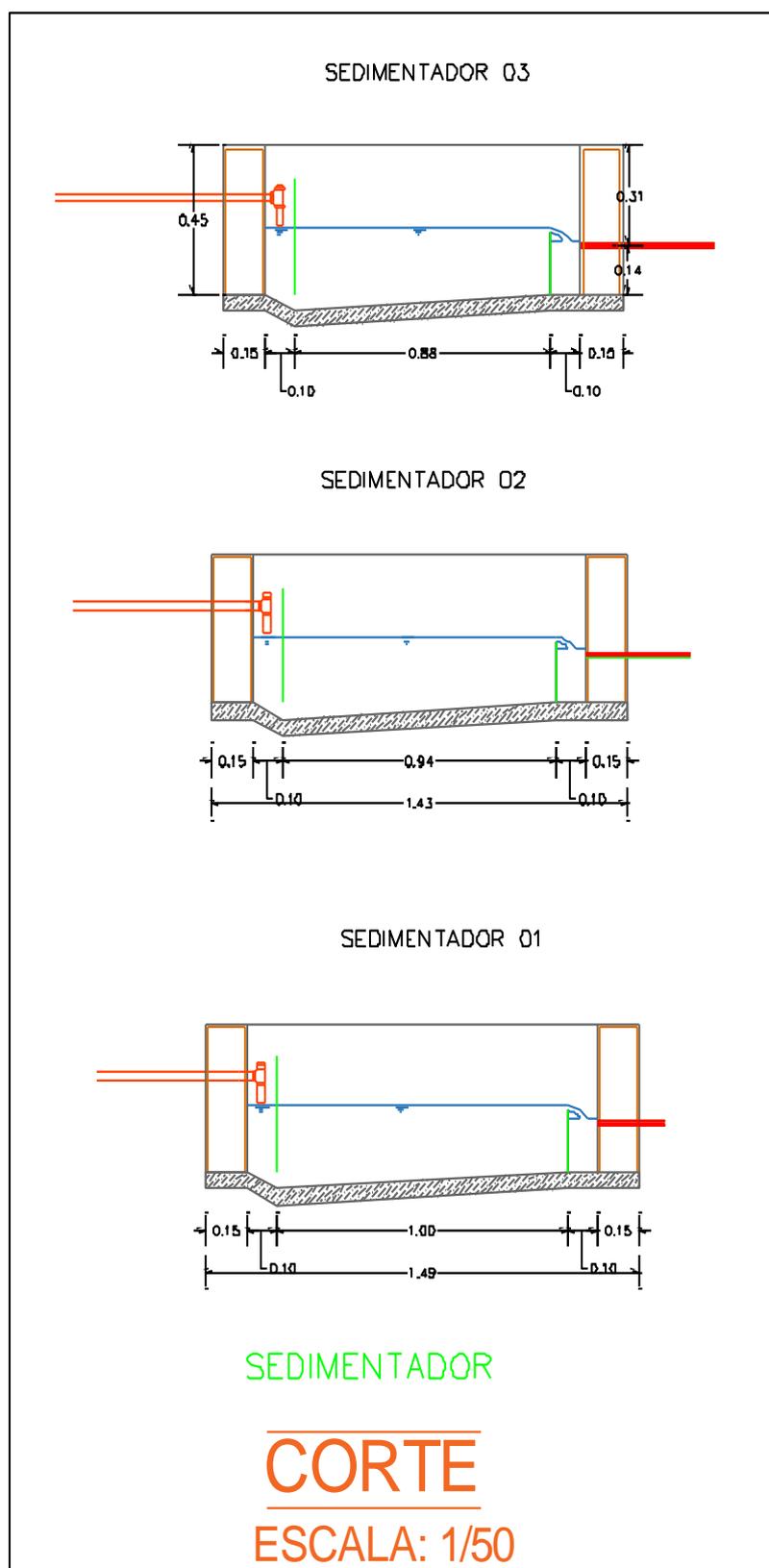
SEDIMENTADOR SECUNDARIO							
DESCRIPCION		SEDIMENTADOR 01		SEDIMENTADOR 02		SEDIMENTADOR 03	
DATOS							
CAUDAL DE DISEÑO	Qmax	0.0178	m3/h	0.0178	m3/h	0.0178	m3/h
TASA (MAXIMO "2m/h")	Vasc	0.080	m/h	0.080	m/h	0.080	m/h
AREA SUPERFICIAL	As	0.2222	m2	0.2222	m2	0.2222	m2
RELACION (LARGO/ANCHO)	L/A	4.50		4.00		3.50	
TIEMPO DE RETENCION	Tr	2.50	h	2.50	h	2.50	h
RESULTADOS							
ANCHO	A	22	cm	24	cm	25	cm
LARGO	L	120	cm	114	cm	108	cm
ALTURA	H	0.20	m	0.20	m	0.20	m
AREA	As	0.2222	m2	0.2222	m2	0.2222	m2
VOLUMEN	V	0.0444	m3	0.0444	m3	0.0444	m3

Fuente: elaboración propia.

Anexo 1.3. Plano en planta de sedimentadores secundarios.



Anexo 1.4. Plano en corte longitudinal de sedimentadores secundarios.



ANEXO 2: Organización de datos de muestreos.

Datos de temperatura afluente y efluente de sedimentadores secundarios.

	TEMPERATURA °C (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	16.90	18.40	16.00	16.90	13.90	17.40	18.10	15.50	18.30	18.90	15.80	15.20	14.90	17.90	14.80	18.80
S02	17.20	18.40	16.50	16.60	13.60	17.40	18.20	15.60	18.20	18.50	15.70	14.90	14.90	17.80	14.90	18.70
S03	17.40	18.00	16.50	16.90	14.40	17.80	18.40	15.70	18.10	18.30	15.80	15.10	15.00	17.80	14.40	18.50
S04	17.20	17.80	16.30	16.60	14.10	17.80	18.00	15.50	18.00	18.10	15.80	15.50	15.10	18.00	14.80	18.40
S05	17.50	17.30	16.50	16.50	14.20	17.30	18.00	15.50	18.30	18.10	15.90	15.40	14.90	18.00	14.90	18.40
S06	17.20	17.40	16.50	16.80	13.70	17.80	18.40	15.40	17.90	18.10	15.90	15.40	14.60	18.20	14.70	18.50
S07	17.30	17.40	16.20	16.70	14.00	17.30	18.10	15.70	17.80	18.30	15.70	15.50	14.70	18.10	14.80	18.40
S08	17.40	17.40	16.60	16.90	14.30	17.50	18.10	15.70	17.70	18.40	15.80	15.20	14.60	18.10	14.80	18.60
S09	17.40	17.40	16.90	16.80	14.60	17.70	17.90	15.90	18.10	18.50	15.80	14.90	14.70	18.00	14.90	18.80
S10	17.30	17.50	16.80	16.90	15.00	17.90	17.70	16.00	17.50	18.50	16.00	15.30	14.50	18.10	15.10	18.70
S11	17.20	18.00	16.70	16.80	14.80	18.30	17.80	16.20	17.40	18.50	15.90	15.40	14.60	18.00	15.90	18.80
S12	17.20	18.40	17.00	16.90	15.20	18.20	18.20	16.20	17.50	18.60	15.90	15.60	14.80	18.10	15.90	19.00

	TEMPERATURA °C (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	14.80	18.00	18.00	16.20	16.95	18.10	18.50	14.80	16.50	18.00	15.60	17.50	15.40	17.50	14.60	18.90
S02	14.90	17.60	17.50	16.00	16.80	18.05	18.70	14.80	16.70	18.10	15.50	17.60	15.30	17.40	14.70	18.90
S03	15.20	17.50	17.00	16.10	16.80	18.00	18.40	15.50	16.90	17.90	15.50	17.40	15.40	17.40	14.50	18.80
S04	15.30	17.40	17.10	16.40	17.10	18.10	18.10	15.20	16.00	17.80	15.40	17.50	15.40	17.90	14.70	19.20
S05	15.70	17.20	7.00	16.20	17.10	17.75	18.10	15.30	16.90	17.80	15.30	17.70	15.30	17.80	14.80	19.30
S06	15.70	17.00	17.30	16.50	17.80	17.40	17.80	15.40	16.30	17.70	15.30	17.70	15.20	17.80	15.10	19.20
S07	15.50	17.00	17.50	16.60	16.95	18.10	17.90	15.30	16.40	17.80	15.40	17.60	15.20	17.70	15.30	17.90
S08	15.90	17.30	17.20	16.30	16.80	17.55	18.20	15.30	16.90	17.60	15.40	17.80	15.40	17.90	15.60	17.80
S09	15.70	17.00	16.90	16.30	16.70	17.00	18.40	15.40	16.80	17.50	15.50	17.70	15.50	17.90	15.80	17.70
S10	15.50	17.00	17.40	16.40	17.30	18.00	18.30	15.90	16.30	17.50	15.40	17.80	15.50	17.80	16.10	17.90
S11	15.50	17.00	17.30	16.60	17.10	17.90	18.20	15.20	16.50	17.80	15.50	17.80	15.60	17.90	15.80	17.80
S12	15.70	17.20	16.10	16.50	17.50	17.80	18.30	14.90	16.60	17.80	15.30	17.90	15.80	17.80	15.70	18.00

Datos de Conductividad afluyente y efluente de sedimentadores secundarios.

	CONDUCTIVIDAD (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	565	566	727	587	529	552	580	520	528	581	456	517	536	461	487	521
S02	569	536	721	580	521	647	593	523	498	536	483	538	539	458	496	516
S03	583	549	725	590	503	653	606	525	510	532	485	547	519	460	505	540
S04	585	544	635	612	535	567	520	470	499	532	490	512	491	490	535	504
S05	583	516	658	623	527	577	535	483	512	542	473	521	502	491	546	495
S06	553	527	654	620	534	593	527	475	521	551	431	531	509	489	550	501
S07	537	519	586	599	551	550	527	481	531	581	478	468	500	490	527	520
S08	546	522	540	600	562	573	570	492	428	563	481	509	492	481	538	517
S09	555	535	526	605	559	575	548	498	513	562	436	500	489	488	535	510
S10	540	505	544	530	544	579	538	481	575	561	463	501	499	501	472	513
S11	547	538	570	542	573	605	583	510	551	560	461	504	486	505	482	533
S12	560	535	553	573	580	623	586	537	517	571	482	500	491	512	490	540

	CONDUCTIVIDAD (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	580	555	535	590	621	524	641	542	524	515	502	470	528	475	499	534
S02	599	550	530	574	619	550	660	530	515	420	478	476	510	465	501	542
S03	624	542	574	586	623	564	651	554	531	453	493	480	498	471	502	516
S04	684	500	530	633	607	545	566	548	521	481	485	468	487	482	534	510
S05	740	505	503	629	591	628	568	554	483	432	477	476	475	483	530	496
S06	625	490	503	636	623	595	544	546	509	427	471	472	490	481	532	517
S07	570	522	495	588	579	606	561	518	508	481	492	475	500	486	507	500
S08	564	520	534	618	534	524	591	523	511	520	451	469	492	490	509	498
S09	573	530	540	624	605	563	587	430	489	517	573	472	486	470	512	504
S10	570	490	540	564	595	539	538	439	497	516	448	480	485	476	460	504
S11	593	537	520	576	584	560	604	409	421	481	453	476	476	450	463	580
S12	614	522	530	596	605	556	627	438	489	482	482	465	478	481	474	572

Datos de PH afluyente y efluente de sedimentadores secundarios.

	PH (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	7.74	6.70	7.00	7.00	7.00	7.91	7.83	7.57	7.48	7.53	7.65	7.65	7.70	7.80	7.54	7.72
S02	7.67	7.00	7.00	7.00	7.00	7.95	7.89	7.81	7.39	7.48	7.73	7.73	7.75	7.85	7.44	7.83
S03	7.74	6.80	7.00	7.00	7.00	7.88	7.88	7.77	7.52	7.52	7.75	7.75	7.68	7.63	7.69	7.64
S04	7.44	6.50	7.00	7.00	7.00	7.92	7.95	7.70	7.45	7.63	7.68	7.68	7.62	7.78	7.60	7.85
S05	7.88	6.50	7.00	7.00	7.00	7.81	7.83	7.61	7.27	7.43	7.96	7.96	7.81	7.95	7.79	7.90
S06	7.94	6.40	7.00	7.00	7.00	7.78	7.81	7.58	7.55	7.51	7.89	7.89	7.74	7.85	7.81	8.00
S07	7.89	6.50	7.00	7.00	7.00	7.97	7.89	7.49	7.58	7.62	7.35	7.35	7.65	7.90	7.92	8.01
S08	8.06	6.30	7.00	7.00	7.00	7.89	7.94	7.51	7.63	7.43	7.52	7.52	7.69	7.81	7.89	8.05
S09	7.94	6.90	7.00	7.00	7.00	7.79	7.82	7.64	7.48	7.45	7.55	7.55	7.68	7.82	7.89	8.06
S10	7.16	6.50	7.00	7.00	7.00	7.84	7.94	7.39	7.71	7.52	7.49	7.49	7.73	7.85	7.95	8.01
S11	7.91	7.10	7.00	7.00	7.00	7.86	7.89	7.41	7.82	7.62	7.51	7.51	7.81	7.90	8.44	7.83
S12	7.85	6.40	7.00	7.00	7.00	7.87	7.85	7.54	7.71	7.81	7.82	7.82	7.76	7.91	7.35	7.99

	PH (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	11.01	6.70	7.00	7.00	7.88	7.00	7.80	7.70	7.86	7.31	7.76	7.60	7.62	7.91	7.85	7.83
S02	11.05	6.50	7.00	7.00	7.58	7.18	7.74	7.69	7.33	7.42	7.48	7.50	7.68	7.82	7.87	7.91
S03	10.99	6.70	7.00	7.00	7.66	7.30	7.83	7.69	7.45	7.81	7.51	7.68	7.70	7.90	7.85	7.81
S04	11.00	6.20	7.00	7.00	7.77	7.34	7.85	7.71	7.52	7.37	7.62	7.60	7.58	7.87	7.97	7.53
S05	10.94	6.30	7.00	7.00	7.71	7.35	7.70	7.77	7.72	7.51	7.73	7.50	7.62	8.76	8.01	7.81
S06	10.96	6.40	7.00	7.00	7.68	7.33	7.78	7.69	7.97	7.40	7.51	7.49	7.60	8.89	7.87	8.07
S07	10.95	6.80	7.00	7.00	7.82	7.40	7.80	7.60	7.53	7.48	7.43	7.61	7.72	8.93	8.06	8.09
S08	10.90	6.50	7.00	7.00	7.74	7.40	7.79	7.63	7.25	7.39	7.61	7.57	7.68	7.92	7.90	8.10
S09	10.91	6.20	7.00	7.00	7.51	7.25	7.83	7.68	7.47	7.41	7.46	7.70	7.80	7.89	8.77	7.99
S10	10.94	6.40	7.00	7.00	7.25	7.50	8.29	7.58	7.91	7.83	7.65	7.68	7.68	7.74	7.43	8.00
S11	10.93	6.90	7.00	7.00	7.31	7.48	7.96	7.37	7.83	7.42	7.46	7.71	7.65	7.81	7.85	7.83
S12	10.96	6.30	7.00	7.00	7.76	7.30	7.86	7.71	7.81	7.41	7.65	7.65	15.80	7.56	7.57	7.90

Datos de Caudal de operación en sedimentadores secundarios.

	CAUDAL DE OPERACIÓN L/s															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055	0.0055
S02	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S03	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057
S04	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S05	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S06	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S07	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057	0.0057
S08	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S09	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S10	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054	0.0054
S11	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056	0.0056
S12	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058	0.0058



Datos de DBO5 afluente y efluente de sedimentadores secundarios.

	DBO5 mg/L (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	79.13	104.26	65.74	86.34	53.54	131.13	197.75	132.01	100.01	45.00	125.03	126.60	143.06	78.72	102.07	101.05
S02	66.32	123.68	66.04	95.17	63.75	117.63	118.55	126.51	51.01	61.36	61.28	87.52	141.06	41.06	101.15	72.80
S03	56.73	137.36	50.38	94.34	56.25	147.13	120.41	38.23	98.01	73.22	121.03	150.60	139.56	63.25	128.57	72.80
S04	50.33	113.64	39.78	96.26	38.94	152.63	99.41	34.18	80.51	71.95	80.00	102.10	147.56	57.81	141.87	105.38
S05	61.53	107.66	44.24	68.32	43.06	137.63	84.75	59.68	139.01	70.34	115.53	88.10	117.98	89.39	224.07	79.72
S06	113.63	95.51	40.54	68.14	42.30	153.13	117.58	61.01	86.01	32.35	54.78	81.09	125.06	100.89	152.07	64.88
S07	124.63	121.00	50.34	74.18	130.20	106.88	133.16	38.49	38.01	45.67	74.03	86.39	161.06	88.39	152.07	128.05
S08	113.88	88.01	38.60	65.56	39.98	76.65	63.58	30.19	107.51	55.40	62.78	72.32	164.06	137.89	216.07	87.05
S09	119.13	88.01	66.34	74.34	43.30	124.13	95.75	36.94	138.01	135.59	125.53	56.70	139.56	166.64	91.74	126.55
S10	57.33	108.34	39.56	53.96	59.52	87.41	75.88	29.41	134.51	29.62	78.70	47.35	117.16	187.79	54.32	90.38
S11	66.88	90.76	37.94	63.94	32.86	55.73	54.88	37.73	46.68	27.29	84.03	152.10	121.06	99.89	86.74	99.05
S12	116.21	108.19	39.77	52.57	47.86	71.38	65.48	65.68	53.34	28.76	82.70	119.85	169.56	125.89	77.07	109.72

	DBO5 mg/L (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	19.93	33.34	29.87	29.87	26.24	19.93	28.88	21.52	25.84	25.46	24.40	27.61	32.53	21.09	23.58	20.99
S02	45.63	30.18	30.87	30.87	22.63	45.63	34.91	21.60	39.15	24.10	31.03	24.64	31.12	19.07	21.13	46.88
S03	26.90	33.01	28.84	28.84	28.91	26.90	33.71	21.65	24.59	28.29	29.48	32.30	34.74	24.16	27.27	27.96
S04	24.66	33.34	29.62	29.62	30.01	24.66	30.89	20.08	21.82	31.00	22.58	31.34	36.92	24.06	25.93	25.72
S05	23.97	33.34	31.99	31.99	25.46	23.97	34.71	20.17	23.85	29.60	23.10	27.75	34.19	21.23	29.91	25.04
S06	36.06	33.51	28.04	28.04	30.96	36.06	42.01	29.48	26.94	29.62	23.95	33.50	39.46	27.27	34.86	37.12
S07	37.19	33.26	26.25	26.25	31.25	37.19	36.87	22.30	25.51	34.17	27.21	36.47	40.89	27.38	39.96	38.25
S08	38.79	33.51	33.35	33.35	27.34	38.79	30.35	25.99	32.01	28.03	21.09	29.47	32.24	22.61	32.48	40.07
S09	27.56	33.51	33.18	33.18	21.69	27.56	38.94	22.74	31.20	23.26	25.36	23.48	24.54	22.72	28.07	28.62
S10	37.83	33.34	31.78	31.78	30.01	37.83	30.35	25.52	27.41	23.98	24.28	31.37	30.86	23.76	34.82	38.89
S11	36.06	33.34	35.11	35.11	29.54	36.06	30.58	24.38	23.01	22.30	23.47	29.12	31.51	22.41	35.19	37.12
S12	36.82	29.34	35.13	35.13	31.74	36.82	33.05	22.62	31.44	24.59	25.17	29.74	31.89	22.22	33.80	38.10



Datos de SST afluente y efluente de sedimentadores secundarios.

	SST mg/L (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	7.33	41.00	38.00	21.00	14.50	41.33	32.67	30.00	8.67	8.00	9.00	38.67	38.00	10.00	58.00	53.00
S02	6.00	21.00	34.67	21.50	14.00	26.67	24.00	22.00	13.33	13.00	21.00	25.33	26.00	10.67	56.00	31.00
S03	8.67	28.00	34.00	19.50	20.00	34.67	28.00	35.00	21.33	18.00	21.33	20.00	32.67	29.33	40.00	30.00
S04	4.00	32.00	24.67	19.50	18.00	22.00	26.67	26.00	20.67	19.00	32.00	28.67	6.67	47.33	86.00	35.00
S05	12.67	39.00	19.33	17.50	13.00	34.67	26.00	26.00	18.00	17.00	28.00	24.67	31.00	30.00	63.00	31.00
S06	3.33	27.00	29.33	19.50	20.00	22.67	23.33	24.00	12.67	12.50	19.00	22.67	50.00	29.33	152.00	43.00
S07	7.23	19.00	29.33	21.50	15.50	17.33	14.00	15.00	15.33	15.00	7.00	16.00	57.33	21.33	118.00	25.00
S08	15.00	18.00	30.67	16.50	10.00	16.67	16.00	17.00	18.00	17.00	20.00	16.67	50.67	23.33	63.00	43.00
S09	18.67	24.00	31.33	17.00	14.00	28.67	20.00	19.00	10.00	11.00	14.00	12.67	44.00	29.33	30.00	37.00
S10	12.00	32.00	23.33	16.50	11.50	23.33	10.67	11.00	7.33	8.50	11.00	7.33	16.00	20.00	13.00	43.00
S11	14.24	33.00	30.00	27.50	20.00	38.67	22.00	20.00	10.67	10.00	24.00	24.00	36.67	50.67	25.00	69.00
S12	16.00	26.00	20.67	25.00	22.00	21.33	27.33	25.00	11.33	9.00	15.33	8.00	35.33	61.33	47.00	65.00

	SST mg/L (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	5.32	1.00	27.00	20.00	14.00	5.60	18.00	15.00	6.67	6.50	6.00	11.00	9.00	9.00	3.00	28.00
S02	5.00	8.00	27.65	16.00	13.50	4.60	23.50	20.50	8.00	8.50	16.67	20.00	25.00	9.00	28.00	18.00
S03	7.35	11.00	19.50	16.50	19.00	4.70	15.50	13.50	6.00	6.30	21.00	16.00	14.00	20.00	30.00	13.00
S04	3.49	5.00	5.50	16.50	12.50	16.67	14.00	13.50	10.00	11.00	22.00	23.00	6.00	12.00	9.00	14.00
S05	8.56	7.00	7.00	12.00	10.00	15.33	21.33	22.00	8.67	8.00	25.00	17.00	30.67	10.00	6.00	8.00
S06	3.00	1.00	14.00	14.00	8.00	11.50	14.67	15.30	9.33	9.30	14.67	21.00	18.00	12.67	22.00	7.00
S07	6.22	4.00	5.50	9.50	7.20	6.50	12.00	13.50	13.33	12.00	6.00	10.00	26.00	4.67	4.00	17.00
S08	10.45	9.00	10.00	13.00	8.33	8.50	14.50	15.50	11.33	12.00	20.00	8.00	50.00	6.67	7.00	30.00
S09	13.76	6.00	15.00	10.50	10.00	12.00	18.67	18.45	9.33	10.20	10.67	10.00	10.00	6.67	14.00	29.00
S10	10.65	7.00	11.50	14.00	9.00	10.50	9.00	10.20	7.00	7.00	6.00	7.00	13.00	9.33	11.00	20.00
S11	12.20	6.00	9.00	21.50	9.50	12.50	13.00	12.00	7.33	7.50	16.00	10.00	21.00	11.33	5.00	27.00
S12	13.50	7.00	15.33	17.00	5.50	2.25	25.00	22.00	10.00	8.50	13.00	7.00	8.00	11.00	16.00	20.00

Datos de SSV afluente y efluente de sedimentadores secundarios.

	SSV mg/L (AFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	6.00	7.40	8.00	7.00	4.00	24.67	12.67	12.00	7.33	8.00	8.00	24.00	15.33	5.33	28.00	39.00
S02	7.00	8.40	9.50	8.00	6.50	18.00	14.67	13.50	6.67	7.00	6.67	18.00	12.67	7.33	23.00	16.00
S03	10.20	11.13	12.00	10.00	11.50	34.00	16.00	15.00	10.00	10.00	10.00	11.33	12.00	16.00	25.00	15.00
S04	12.50	13.40	14.00	10.00	12.50	16.00	14.67	15.67	13.33	12.00	7.00	17.33	5.33	18.67	33.00	17.00
S05	8.30	9.45	10.00	12.00	7.50	27.33	11.33	12.00	11.33	11.00	6.00	16.67	8.00	12.67	14.00	10.00
S06	12.50	13.00	14.00	13.20	13.50	16.67	11.33	11.50	9.33	8.60	5.50	12.67	30.67	14.00	53.00	16.00
S07	9.30	10.00	11.00	9.00	10.00	16.00	6.00	7.00	10.00	9.00	6.00	10.00	23.33	14.67	52.00	6.00
S08	7.35	9.00	10.40	9.00	4.00	12.00	8.00	9.00	12.67	11.00	6.00	10.67	13.33	12.67	31.00	13.00
S09	12.00	12.50	13.00	12.30	12.50	23.33	8.67	8.50	3.33	4.50	9.33	8.00	29.33	16.67	17.00	12.00
S10	8.50	9.00	10.00	9.00	7.00	10.00	5.33	5.00	2.00	4.00	8.00	3.33	8.00	9.33	7.00	14.00
S11	9.40	10.30	11.40	11.00	8.00	11.33	8.67	8.00	8.67	8.56	5.90	12.67	10.67	16.67	14.00	20.00
S12	7.50	8.00	9.00	8.00	6.50	12.67	13.33	12.00	9.33	8.00	6.00	7.33	10.00	19.33	33.00	19.00

	SSV mg/L (EFLUENTE)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	4.00	5.40	5.00	5.00	4.00	3.60	9.50	9.50	4.67	5.40	4.00	5.00	6.50	5.00	1.00	10.00
S02	6.00	6.30	7.00	6.30	6.00	3.00	12.50	12.00	4.67	5.50	5.00	9.00	9.00	7.00	12.00	9.00
S03	9.50	10.20	10.20	8.50	11.00	4.50	10.00	11.00	3.33	4.50	5.00	11.00	8.00	12.67	15.00	4.00
S04	10.00	11.30	12.00	8.00	10.00	1.33	8.00	9.45	6.67	6.68	4.00	10.00	5.00	6.00	4.00	6.00
S05	7.60	7.60	7.00	7.60	7.50	10.67	11.33	10.00	8.67	9.00	4.00	4.00	8.00	8.00	3.00	5.00
S06	6.70	6.00	6.80	8.60	5.00	3.00	4.67	6.45	6.67	6.50	2.67	12.00	10.00	6.67	14.00	1.00
S07	8.30	8.50	9.00	6.33	6.40	5.00	6.00	6.00	9.33	7.00	4.67	4.50	5.50	4.67	2.00	4.00
S08	4.50	6.50	7.00	6.55	4.00	5.50	7.00	8.60	6.67	6.56	4.00	6.00	5.50	6.67	4.00	4.00
S09	8.00	8.00	9.00	6.70	8.50	5.50	8.67	7.50	3.00	3.50	6.00	7.00	7.00	6.67	8.00	6.00
S10	7.50	7.00	8.00	7.50	7.00	4.00	5.00	4.50	2.00	2.50	6.00	3.00	4.67	9.33	5.00	3.00
S11	6.50	7.00	8.00	8.50	5.00	1.00	2.50	4.00	4.00	4.50	5.33	4.00	6.00	11.33	2.00	5.00
S12	5.60	6.40	7.50	7.00	4.50	1.95	12.00	11.50	6.00	6.50	6.00	4.00	7.33	10.67	12.00	6.00

ANEXO 3: Cálculos para obtener los indicadores.

Coeficiente de producción de fangos:

Para el cálculo de la producción de fangos en sedimentadores secundarios se utilizará la siguiente formula:

$$Pf \left(\frac{Kg}{d} \right) = \frac{Qm \left(\frac{m^3}{d} \right) * (DBO5a(ppm) - DBO5e(ppm)) * \tau \left(\frac{Kg}{Kg} \right)}{1000 \left(\frac{gr}{Kg} \right)}$$

Donde:

Qm=caudal medio diario en (m3/día)

DBO5a= DBO5 a la entrada al proceso en ppm.

DBO5e= BDO5 a la salida del proceso en ppm.

τ= tasa de producción de fangos expresado como Kg de sólidos en suspensión formados por Kg de DBO eliminada.

Para lechos percoladores:

$$\tau \left(\frac{KgSS}{KgDBO5eliminada} \right) = 0.515 + 0.64 * r$$

Donde:

r= relación entre los SS de entrada (ppm) y la DBO de entrada (ppm), ambos al proceso, también SS de salida (ppm) y la DBO de salida.

Luego el coeficiente de producción de fangos se calculará con los datos de la producción de fangos en el efluente sobre la producción de fangos en el afluente.

Teniendo finalmente:

$$Xp = \frac{Pfe}{Pfa}$$

Donde:

Xp= coeficiente de producción de fangos.

Pfe= producción de fangos en el efluente.

Pfa= producción de fangos en el afluente.

Anexo 3.1. Coeficiente de producción de fangos en sedimentadores secundarios.

	COEFICIENTE DE PRODUCCION DE FANGOS															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	1.19	0.70	1.24	1.41	1.24	0.97	1.47	1.46	1.19	1.08	1.20	1.08	1.01	1.32	0.68	1.61
S02	1.02	1.10	1.28	1.28	1.37	0.88	1.47	1.79	0.95	1.14	1.17	1.48	1.63	1.20	1.57	0.97
S03	1.13	1.13	1.00	1.36	1.26	0.94	1.22	0.83	1.03	0.98	1.55	1.39	1.16	1.29	1.71	1.04
S04	1.07	0.88	0.70	1.35	0.96	1.56	1.17	0.94	1.19	1.08	1.48	1.42	1.14	0.80	0.82	1.19
S05	1.15	0.87	0.82	1.11	1.08	1.37	1.28	1.53	1.25	1.03	1.80	1.31	1.59	1.12	0.93	0.94
S06	1.06	0.77	0.85	1.20	0.83	1.18	1.15	1.10	1.21	0.94	1.23	1.32	1.05	1.16	0.80	0.68
S07	1.13	0.96	0.73	1.07	1.12	1.01	1.24	1.18	1.10	1.02	1.14	1.09	1.24	0.93	0.57	1.25
S08	1.15	1.06	0.69	1.13	1.05	1.00	1.21	1.02	1.19	1.11	1.56	1.04	2.12	1.13	0.93	1.20
S09	1.36	0.91	0.98	1.08	1.12	1.20	1.27	1.23	1.26	1.40	1.34	1.20	1.08	1.12	1.15	1.66
S10	1.07	0.92	0.84	1.12	1.11	1.01	1.16	1.02	1.23	1.00	1.11	1.07	1.30	1.31	1.07	1.03
S11	1.12	0.84	0.67	1.15	0.80	0.77	1.02	0.97	1.09	0.97	1.36	1.19	1.33	1.00	0.87	1.02
S12	1.24	1.00	0.94	1.01	0.77	0.78	1.28	1.50	1.10	1.03	1.33	1.19	1.04	1.01	0.90	0.95

Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles:

El cálculo del porcentaje de remoción de SST y SSV en el sedimentador secundario se realizará con los datos de entrada y salida de los sedimentadores secundarios.

Anexo 3.2. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos totales (SST) en sedimentadores secundarios.

	PORCENTAJE DE REMOCION DE SST (%)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	27%	98%	29%	5%	3%	86%	45%	50%	23%	19%	33%	72%	76%	10%	95%	47%
S02	17%	62%	20%	26%	4%	83%	2%	7%	40%	35%	21%	21%	4%	16%	50%	42%
S03	15%	61%	43%	15%	5%	86%	45%	61%	72%	65%	2%	20%	57%	32%	25%	57%
S04	13%	84%	78%	15%	31%	24%	47%	48%	52%	42%	31%	20%	10%	75%	90%	60%
S05	32%	82%	64%	31%	23%	56%	18%	15%	52%	53%	11%	31%	1%	67%	90%	74%
S06	10%	96%	52%	28%	60%	49%	37%	36%	26%	26%	23%	7%	64%	57%	86%	84%
S07	14%	79%	81%	56%	54%	63%	14%	10%	13%	20%	14%	37%	55%	78%	97%	32%
S08	30%	50%	67%	21%	17%	49%	9%	9%	37%	29%	0%	52%	1%	71%	89%	30%
S09	26%	75%	52%	38%	29%	58%	7%	3%	7%	7%	24%	21%	77%	77%	53%	22%
S10	11%	78%	51%	15%	22%	55%	16%	7%	5%	18%	45%	5%	19%	53%	15%	53%
S11	14%	82%	70%	22%	52%	68%	41%	40%	31%	25%	33%	58%	43%	78%	80%	61%
S12	16%	73%	26%	32%	75%	89%	9%	12%	12%	6%	15%	13%	77%	82%	66%	69%

Anexo 3.2. Porcentaje de remoción de sólidos suspendidos volátiles (SSV) en sedimentadores secundarios.

	PORCENTAJE DE REMOCION DE SSV (%)															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
S01	33%	27%	38%	29%	0%	85%	25%	21%	36%	33%	50%	79%	58%	6%	96%	74%
S02	14%	25%	26%	21%	8%	83%	15%	11%	30%	21%	25%	50%	29%	5%	48%	44%
S03	7%	8%	15%	15%	4%	87%	37%	27%	67%	55%	50%	3%	33%	21%	40%	73%
S04	20%	16%	14%	20%	20%	92%	45%	40%	50%	44%	43%	42%	6%	68%	88%	65%
S05	8%	20%	30%	37%	0%	61%	0%	17%	24%	18%	33%	76%	0%	37%	79%	50%
S06	46%	54%	51%	35%	63%	82%	59%	44%	29%	24%	51%	5%	67%	52%	74%	94%
S07	11%	15%	18%	30%	36%	69%	0%	14%	7%	22%	22%	55%	76%	68%	96%	33%
S08	39%	28%	33%	27%	0%	54%	12%	4%	47%	40%	33%	44%	59%	47%	87%	69%
S09	33%	36%	31%	46%	32%	76%	0%	12%	10%	22%	36%	12%	76%	60%	53%	50%
S10	12%	22%	20%	17%	0%	60%	6%	10%	0%	38%	25%	10%	42%	0%	29%	79%
S11	31%	32%	30%	23%	37%	91%	71%	50%	54%	47%	10%	68%	44%	32%	86%	75%
S12	25%	20%	17%	13%	31%	85%	10%	4%	36%	19%	0%	45%	27%	45%	64%	68%

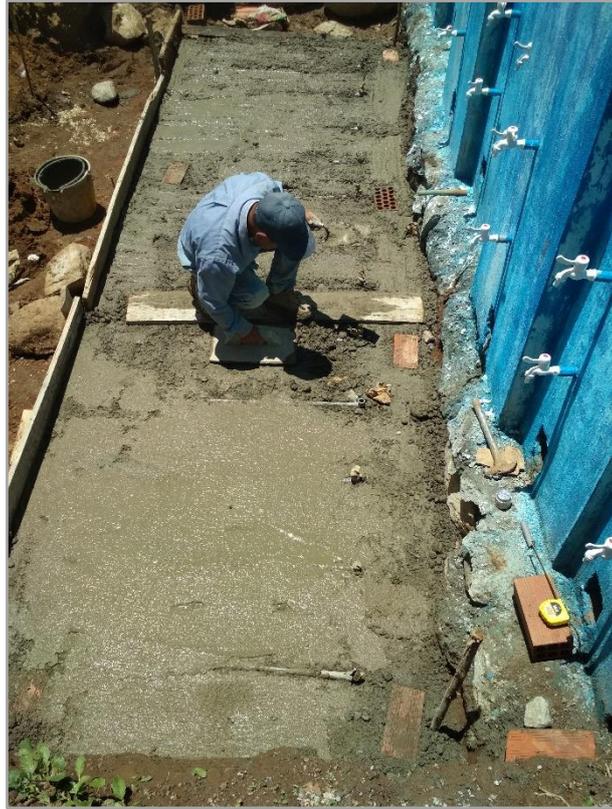
ANEXO 4: Panel fotográfico



Fotografía 1. Ubicación de la investigación.



Fotografía 2. Proceso constructivo sedimentadores secundarios.



Fotografía 3. Implementación de sedimentadores secundarios.



Fotografía 4. Sedimentadores listos para entrar en operación del sistema de tratamiento.



Fotografía 5. Medición de la conductividad del agua residual.



Fotografía 6. Medición del Ph del agua residual.



Fotografía 7. Equipos y materiales para medición de parámetros de campo.

Identificador	Temperatura (°C)	Conductividad (µS/cm)	OTROS
S-01	15.05	16	587
S-02	15.5	15.7	578
S-03	15.7	16	582
S-04	16	16.2	563
S-05	16.2	15.5	620
S-06	16.2	15.5	550
S-07	15.5	15.8	610
S-08	15.5	15.7	608
S-09	15.8	15.7	619
S-10	15.7	15.4	588
S-11	15.4	16	591
S-12	16	15.2	565
S-13	15.2	15.5	575
S-14	15.5	15.8	565
S-15	15.8	15.7	608
S-16	15.7	16	590
S-17	16	16.2	535
S-18	16.2	15.7	597
D-01	16.10	15.7	587
D-02	15.7	15.9	571
D-03	15.9	16.3	555
D-04	16.3	16.4	620
D-05	16.4	15.2	580
D-06	15.2	15.7	576
D-07	15.7	15	608
D-08	15	15.3	608
D-09	15.3	15.2	588
D-10	15.2	15.2	575
D-11	15.2	15.2	588
D-12	15.2	15.2	562
D-13	15.2	15.2	560
D-14	15.2	15.5	565
D-15	15.5	15.6	581
D-16	15.6	15.8	579
D-17	15.8	15.7	565
D-18	15.7	15.7	565

Fotografía 8. Toma de datos de parámetros de campo.



Fotografía 9. Rotulado de envases para toma de muestras.



Fotografía 10. Toma de muestras en el afluente y efluente de sedimentadores secundarios.



Fotografía 11. Lavado de materiales de laboratorio.