

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y**  
**RECURSOS NATURALES**



**Tesis**

Diseño de un clarificador para el tratamiento primario de aguas residuales  
Municipales en la Provincia de Andahuaylas 2024

**Asesor:**

Mg. Barazorda Carrillo, José Gabriel

**Autores:**

De la Cruz Saqui, Carlos Alberto

Velasquez Gutierrez, Mario

**Para optar el Título Profesional :**

Ingeniero Ambiental

**Andahuaylas- Apurímac- Perú**

**2026**

# Acta de Sustentación



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES  
FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL  
ESCUELA PROFESIONAL DE ING. AMBIENTAL Y RR. NN

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TÍTULO PROFESIONAL

Acta N°: 013

En la ciudad de Andahuaylas, a los 08 días del mes de enero del 2026, siendo las 15:05 horas, se reunieron los integrantes del Jurado designado por Resolución Sub Directoral N° 078-2025-UTEA-FI-EPIARN/SD de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales, Facultad de Ingeniería.

Presidente:	Mg. María Fuentes Allcchahaman
Dictaminante:	Mg. Mariela Rojas Cáceres
Replicante:	Mg. Dora Meléndez Gamboa

Para evaluar la sustentación, en la modalidad de:

Tesis  Trabajo de suficiencia profesional

Titulada:

**Diseño de un clarificador para el tratamiento primario de aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas 2024.**

Desarrollado por el (los) Bachiller (es):

Br.: Velasquez Gutierrez Mario  
(Apellidos y Nombres)

Br.: De La Cruz Saqui Carlos Alberto  
(Apellidos y Nombres)

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero ambiental  
(Denominación del Título)

Concluido el acto, el Jurado dictaminó que el (la) (los) mencionado(a) (s) bachiller (es) fue (ron) APROBADO (S):

Por: Unanimidad  
(Unanimidad o Mayoría) (\*)

Emitiéndose el calificativo final de:

Bachilleres (Apellidos y Nombres)	Calificación (**)
Br. Velasquez Gutierrez Mario	Aprobado
Br. De La Cruz Saqui Carlos Alberto	Aprobado

Siendo las 16:55 horas concluyó la sesión, firmando los integrantes del Jurado.

Presidente: Mg. Maria Fuentes Allcchahaman

Dictaminante: Mg. Mariela Rojas Cáceres

Replicante: Mg. Dora Meléndez Gamboa

(Firma)  
  
(Firma)  
  
(Firma)

(\*) Mayoría: Dos integrantes del jurado aprueban o desaprueban; Unanimidad: Todos los integrantes del jurado aprueban o desaprueban, Art. 18 RGGAT.  
(\*\*) 0 a 10: Desaprobado, 11 a 15: Aprobado, 16 a 18: Aprobado Notable, 19 y 20: Aprobado con Distinción, Art. 18 RGGAT.

# Reporte de Similitud



Página 2 de 155 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:584525738

## 23% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 8 palabras)



### Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 6% Publicaciones
- 15% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.



Página 2 de 155 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::3117:584525738

## Metadatos

<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y nombres	: Velasquez Gutierrez, Mario
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 75474142
URL ORCID	:
<b>Datos del Autor</b>	
Apellidos y nombres	: De la Cruz Saqui, Carlos Alberto
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 76972181
URL ORCID	:
<b>Datos del Asesor</b>	
Apellidos y nombres	: Mg. Barazorda Carrillo José Gabriel
Tipo de Documento de Identidad	: DNI
Número de Documento de Identidad	: 31174435
URL ORCID	: <a href="https://orcid.org/0009-0006-5027-9398">https://orcid.org/0009-0006-5027-9398</a>
<b>Datos de la investigación</b>	
Facultad	: Ingeniería
Escuela Profesional	: Ingeniería Ambiental y Recursos Naturales
Línea de Investigación	: Calidad Ambiental
Rango de años que se realizó la investigación	: 2025 – 2026
Fuente de financiamiento	: Autofinanciado
Porcentaje de similitud	: 23 % con deposito
URL de OCDE	: <a href="https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01">https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.07.01</a>

## **Dedicatoria**

Primero a Dios, por haberme dado la salud y la potencia requerida para finalizar esta etapa importante de mi habilidad profesional. Por el amor incondicional de mis padres por los esfuerzos y constante ayuda emocional y financiera durante toda mi vida académica. Gracias por ser mi inspiración y mi modelo de perseverancia. A mi hermano, por su cariño, motivación y compañía en las etapas complicadas. A mis amistades verdaderos, quienes me alentaron y creyeron en mí cuando más lo necesité.

*Mario Velasquez Gutierrez*

A mis padres, por su amor sin condiciones, su paciencia y su respaldo constante. Gracias por haber creído en mí a lo largo de cada etapa de este extenso recorrido. Esta tesis es un espejo de su compromiso y sacrificio. A mi familia, por ser mi refugio y fuente de inspiración. Cada logro que alcanzamos juntos tiene su huella. A mis amigos, por su aliento, risas y palabras de ánimo. Sin ustedes, este proceso habría sido mucho más difícil. Quienes contribuyeron a mi crecimiento personal y académico. A cada uno de ustedes, mi más sincero agradecimiento.

*Carlos Alberto De La Cruz Saqui*

## **Agradecimientos**

Quisiera comenzar estos agradecimientos expresando mi más honesto y profundo Expresar gratitud a todos aquellos que de forma directa, han hecho posible que esta tesis se haya realizado. A mis padres, Hilario De la Cruz Huayllani y Antonia Saqui Uquiche, por su confianza en mis capacidades y por estar siempre a mi lado, apoyándome en cada etapa de este proceso. A mi asesor, José Gabriel Barazorda Carrillo, quien con comprensión me apoyo a lo largo de todo el proceso de redacción de la tesis, también con sus conocimientos y apoyo incondicional se logró culminar con la tesis.

*Carlos Alberto De La Cruz Saqui*

Primero, doy gracias al Mag. Barazorda Carrillo, José Gabriel por su inestimable guía, asesoramiento académico y continuo respaldo a lo largo de todo el proceso de esta investigación. Su dedicación y experiencia fueron esenciales para alcanzar los objetivos de este trabajo. Quiero dar las gracias, de manera muy particular, a mi familia. Por su apoyo continuo, perseverancia y dedicación. A mis hermanos y a los que quiero, por estar brindándome ánimo en los momentos más difíciles.

*Mario Velasquez Gutierrez*

## Resumen

El objetivo en esta investigación fue el diseño de un Clarificador primario para el tratamiento y remoción de las partículas suspendidas de aguas residuales municipales de la provincia de Andahuaylas.

La metodología empleada fue una investigación aplicada el nivel de la investigación explicativo y el diseño experimental, Donde se empleó una columna de sedimentación a nivel laboratorio con una altura de 2 metros y 0.15 m de diámetro, la técnica empleada fue el método de sedimentación tipo II, se llenó la columna con agua residual municipal con caudal de (28 L/s) ubicado en el sector de Santa Rosa – Talavera. Posteriormente se analizó el proceso de sedimentación a través de 3 válvulas en 0.60 m, 1.20 m, 1.80 m de altura, obteniéndose la separación cada 10 minutos para luego analizarlos mediante gráficos y tablas obteniendo una velocidad de 4.35 l/h y un tiempo de retención de 24.80 minutos.

El parámetro necesario para la construcción fue la proyección de población futura a 20 años mediante el método geométrico obteniendo 147986 personas y el cálculo de caudal de diseño futuro que fue 351.77 l/s en el área urbana de la provincia de Andahuaylas.

Con los análisis y tratamiento de datos los resultados que se obtuvieron de las muestras son: Carga superficial (4.35 m/h), Tiempo de retención hidráulica TRH (24.8 min), Área del sedimentador,  $A = (290.72 \text{ m}^2)$ , Altura del sedimentador (1.80 m), Volumen del sedimentador ( $523.44 \text{ m}^3$ ).

Se concluye que el diseño del clarificador es eficiente obteniéndose una remoción de SST de un 70%.

**Palabras clave:** Clarificador, Aguas Residuales, Solidos en suspensión, Retención hidráulica, Carga superficial.

## Abstract

The objective of this research was the design of a primary Clarifier for the treatment and removal of suspended particles from municipal wastewater in the province of Andahuaylas.

The methodology used was applied research at the level of explanatory research and experimental design, where a sedimentation column was used at the laboratory level with a height of 2 meters and 0.15 m in diameter, the technique used was the type II sedimentation method, the column was filled with municipal wastewater with a flow rate of (28 L/s) located in the Santa Rosa - Talavera sector. Subsequently, the sedimentation process was analyzed through 3 valves at 0.60 m, 1.20 m, 1.80 m in height, obtaining the separation every 10 minutes and then analyzing them using graphs and tables, obtaining a speed of 4.35 l/h and a retention time of 24.80 minutes.

The necessary parameter for the construction was the projection of the future population for 20 years using the geometric method, obtaining 147986 people and the calculation of the future design flow, which was 351.77 l/s in the urban area of the province of Andahuaylas.

With the analysis and data treatment, the results obtained from the samples are: Surface load (4.35 m/h), Hydraulic retention time TRH (24.8 min), Area of the settler,  $A= (290.72 \text{ m}^2)$ , Height of the settler (1.80 m), Volume of the settler ( $523.44 \text{ m}^3$ ).

It is concluded that the clarifier design is efficient, obtaining a TSS removal of 70%.

**Keywords:** Clarifier, Wastewater, Suspended solids, Hydraulic retention, Surface load.

## Índice

Portada.....	i
Acta de Sustentación.....	ii
Reporte de Similitud.....	iii
Metadatos.....	iv
Dedicatoria.....	v
Agradecimientos.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
Índice general.....	ix
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de anexos.....	xiii
<b>I. Introducción.....</b>	<b>14</b>
<b>II. Planteamiento del Problema.....</b>	<b>15</b>
2.1. Descripción y Formulación del Problema.....	15
2.2. Objetivos.....	16
2.2.1. <i>Objetivo General</i> .....	16
2.2.2. <i>Objetivos Específicos</i> .....	16
2.3. Justificación e Importancia.....	17
2.4. Hipótesis.....	18
2.5. Variables.....	18
<b>III. Marco Teórico.....</b>	<b>20</b>
3.1. Antecedentes del Problema.....	20
3.2. Bases Teóricas.....	30
3.3. Definición de Términos.....	49
<b>IV. Metodología.....</b>	<b>51</b>
4.1. Tipo y Nivel de Investigación.....	51
4.2. Ámbito temporal y espacial.....	52
4.3. Población y Muestra.....	55
4.4. Instrumentos.....	57
4.5. Procedimiento.....	59
4.6. Análisis de datos.....	64
4.7. Consideraciones éticas.....	92
<b>V. Resultados y Discusión.....</b>	<b>93</b>
<b>VI. Conclusiones.....</b>	<b>96</b>
<b>VII. Recomendaciones.....</b>	<b>97</b>
<b>VIII. Referencias Bibliográficas.....</b>	<b>98</b>
<b>IX. Anexos.....</b>	<b>106</b>

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Operacionalización de variables	19
<b>Tabla 2.</b> Valores de diseño (Clarificadores primarios)	45
<b>Tabla 3.</b> Fracción de sólidos separados a 1.2 metros	68
<b>Tabla 4.</b> Fracción de sólidos separados a 1.8 metros.	68
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de SS separados en puntos de salida	70
<b>Tabla 6.</b> Velocidad de sedimentación a profundidad efectiva	72
<b>Tabla 7.</b> Porcentaje de SS separados en función al TRH	73
<b>Tabla 8.</b> Porcentaje SS en función del factor de carga	74
<b>Tabla 9.</b> Porcentaje de partículas con velocidad inferior	75
<b>Tabla 10.</b> Porcentaje de partículas con velocidad inferior	76
<b>Tabla 11.</b> Porcentaje de partículas con velocidad inferior	77
<b>Tabla 12.</b> Datos del diseño del clarificador con 50% de remoción.	93
<b>Tabla 13.</b> Datos del diseño de un clarificador con 60% de remoción	93
<b>Tabla 14.</b> Datos del diseño de un clarificador con 70% de remoción	94
<b>Tabla 15.</b> Matriz de Consistencia	107
<b>Tabla 16.</b> Tiempo al Tomar una Ducha	111
<b>Tabla 17.</b> Cantidad de veces al Día que los Encuestados utilizan la Ducha	112
<b>Tabla 18.</b> Cantidad de veces que los Encuestados usan el Inodoro	112
<b>Tabla 19.</b> Tiempo que dejan abierto el grifo de agua para su aseo Personal	113
<b>Tabla 20.</b> Tiempo que dejan abierto el grifo de agua para el cuidado personal	114
<b>Tabla 21.</b> Tiempo que los encuestados dejan abierto el grifo de agua por día	115
<b>Tabla 22.</b> Tiempo que los Encuestados lavan sus Vehículos	116
<b>Tabla 23.</b> Cantidad de litros que los Encuestados usan para beber	117
<b>Tabla 24.</b> Cantidad de litros de agua que los Encuestados usan para Cocinar	118
<b>Tabla 25.</b> Cantidad de litros que los Encuestados usan para lavar ropa.	119
<b>Tabla 26.</b> Cantidad de veces a la semana que los Encuestados lavan ropa.	120
<b>Tabla 27.</b> Cantidad de litros usan para la limpieza del hogar	121

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Diseño del Clarificador.....	30
<b>Figura 2.</b> Modelo de un tanque de sedimentación .....	39
<b>Figura 3.</b> Columna de sedimentación a nivel de laboratorio.....	41
<b>Figura 4.</b> Zonas de Vertimiento de Aguas Residuales Municipales. ....	54
<b>Figura 5.</b> Tabla de Atributos de las zonas de vertimientos. ....	55
<b>Figura 6</b> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).....	59
<b>Figura 7.</b> <i>Porcentaje de solidos separados por tiempo</i> .....	69
<b>Figura 8.</b> Isolíneas de sedimentación .....	71
<b>Figura 9.</b> Porcentaje de SS en función de TRH .....	73
<b>Figura 10.</b> Separación de SS, en función de la carga superficial .....	75
<b>Figura 11.</b> Porcentaje de partículas con Vs Inferior a 50% remoción .....	76
<b>Figura 12.</b> Porcentaje de partículas con Vs Inferior a 60% remoción .....	77
<b>Figura 13.</b> Porcentaje de partículas con Vs Inferior a 70% remoción .....	78
<b>Figura 14.</b> Diseño del Clarificador Primario Rectangular a Escala Real.....	91
<b>Figura 15.</b> Resumen de encuestados Google Forums Pág. 1.....	109
<b>Figura 16.</b> Resumen de encuestados Google Forums Pág. 2.....	110
<b>Figura 17.</b> Tiempo que los Encuestados toman una Ducha.....	111
<b>Figura 18.</b> Cantidad de veces que los Encuestados utilizan la Ducha .....	112
<b>Figura 19.</b> Cantidad de veces que los Encuestados usan el Inodoro .....	113
<b>Figura 20.</b> Tiempo que los Encuestados dejan abierto el grifo de agua .....	114
<b>Figura 21.</b> Tiempo en usar el agua por día para uso Personal.....	115
<b>Figura 22.</b> Tiempo en uso del agua para lavar los Alimentos .....	116
<b>Figura 23.</b> Tiempo en que los Encuestados lavan su vehículo.....	117
<b>Figura 24.</b> Cantidad de Litros de agua beben al día los Encuestados .....	118
<b>Figura 25.</b> Cantidad de Litros de agua usan al Día para cocinar.....	119
<b>Figura 26.</b> Cantidad de litros de agua utilizan para lavar ropa. ....	120

<b>Figura 27.</b> Cantidad de veces a la semana que lavan ropas.....	121
<b>Figura 28.</b> Cantidad de litros de agua usada en la limpieza del hogar. ....	122
<b>Figura 29.</b> Muestras recolectadas en zona de vertimiento. ....	123
<b>Figura 30.</b> Llenado de la cadena de custodia in situ. ....	123
<b>Figura 31.</b> Llenado de datos en el punto de monitoreo in situ. ....	124
<b>Figura 32.</b> Llenado de Datos de la Cadena de Custodia.....	125
<b>Figura 33.</b> Diseño del Clarificador a Nivel Laboratorio. ....	126
<b>Figura 34.</b> Obtención de Muestras de la Columna de Sedimentación.....	127
<b>Figura 35.</b> Llenado de Datos de las Muestras Obtenidas de las Válvulas. ....	127
<b>Figura 36.</b> Certificado INACAL del Laboratorio Acreditado.....	128
<b>Figura 37.</b> Frascos de Muestras .....	129
<b>Figura 38.</b> Frascos Enviados al Laboratorio SLAB.....	129
<b>Figura 39.</b> Cadena de Custodia del Laboratorio SLAB Pag.1 .....	130
<b>Figura 40.</b> Cadena de Custodia del Laboratorio SLAB Pag.2 .....	131
<b>Figura 41.</b> Cadena de Custodia del Laboratorio SLAB Pag.3 .....	132
<b>Figura 42.</b> Informe de Ensayo Laboratorio SLAB Pág.1 .....	133
<b>Figura 43.</b> Informe de Ensayo Laboratorio SLAB Pág.2 .....	134
<b>Figura 44.</b> Informe de Ensayo Laboratorio SLAB Pág.3 .....	135
<b>Figura 45.</b> Resultados de Solidos Suspendidos Totales en Laboratorio .....	136
<b>Figura 46.</b> Presupuesto de una PTAR en Andahuaylas 2025 Fig.01.....	137
<b>Figura 47.</b> Presupuesto de una PTAR en Andahuaylas 2025 Fig.02.....	138
<b>Figura 48.</b> Presupuesto de una PTAR en Andahuaylas 2025 Fig.03.....	139

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Matriz de Consistencia .....	107
<b>Anexo 2.</b> Cuadro Detallado de Encuestas Realizadas.....	109
<b>Anexo 3:</b> Resumen de Preguntas Realizadas en la Encuesta .....	111
<b>Anexo 4.</b> Toma de Muestra en el Punto de Monitoreo.....	123
<b>Anexo 5.</b> Ubicación de Punto de Monitoreo .....	124
<b>Anexo 6.</b> Cadena de Custodia de Muestras In Situ.....	125
<b>Anexo 7.</b> Diseño y Especificaciones del Clarificador a Nivel Laboratorio .....	126
<b>Anexo 8.</b> Toma de Muestras de la Columna de Sedimentación .....	127
<b>Anexo 9.</b> Certificado de INACAL del Laboratorio .....	128
<b>Anexo 11.</b> Cadena de Custodia Matriz de Aguas por el Laboratorio SLAB .....	130
<b>Anexo 12.</b> Informe de Ensayo Laboratorio SLAB.....	133
<b>Anexo 13.</b> Presupuesto para la construcción de una PTAR en Andahuaylas....	137

## I. Introducción

En la provincia de Andahuaylas el río Chumbao desde la Laguna hasta el sector Sotoccmachay se encuentra con altos índices de contaminación que se determinó mediante un diseño estadístico con criterios de excelente hasta excesivamente contaminada en unidades de medida de ICA (Dinius) con un rango de 0 – 100 siendo los sectores más críticos Talavera y Sotoccomachay. (Quispe, 2019)

Por ello surge la investigación denominado Diseño de un clarificador para el tratamiento primario de aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas 2024.

Capitulo II, se aborda los aspectos principales de la realidad problemática actual razón por la que se lleva a cabo este estudio el cual conlleva principalmente a la estructuración de los problemas, el desarrollo de los objetivos intervenidos, justificación e importancia que se aborda, sobre todo la manipulación de las variables con relación a la tesis.

Capitulo III, muestra la ampliación del Marco Teórico, la información recopilada y sustentada de referencias a nivel internacional, nacional, regional y local. Fundamentos teóricos o temas utilizados para el sustento conceptual y científico de la investigación.

Capitulo IV, se determinó la metodología el tipo y nivel de investigación también se incluyeron los ámbitos de estudio tanto de carácter temporal y espacial, la población que fue intervenida, los instrumentos y técnicas utilizadas, las muestras que fueron recolectadas.

Capitulo V, VI y VII, se dio a conocer los hallazgos logrados en la tesis mediante el software Excel los que incluyeron cálculos y tablas por el método experimental, estadístico y gráfico. Se realizó las conclusiones y recomendaciones que se obtuvo en la investigación.

## II. Planteamiento del Problema

### 2.1. Descripción y Formulación del Problema

A nivel mundial, la descarga de efluentes municipales sin tratamiento adecuado representa uno de los principales desafíos ambientales y de salud pública. según Adhikari, S., & Halden, R. U. (2022) en el mundo existen alrededor de 159 planta de tratamiento de aguas residuales en 129 países con datos disponibles. En muchos países, especialmente en regiones en desarrollo, las aguas residuales provenientes de hogares, comercios e instituciones llegan directamente a los ríos sin pasar por un proceso de depuración. Esto produce una cadena de efectos negativos que amenazan la calidad del agua, los ecosistemas acuáticos y el bienestar humano.

En el Perú enfrentamos una situación crítica que amenaza la sanidad poblacional, según un informe de SUNASS (la autoridad reguladora de servicios de saneamiento), en el país hay alrededor de 202 plantas para el tratamiento de aguas residuales, cuyo número asciende a solo 171. En la región de Apurímac existen 2 PTAR ubicadas en Illanya - Abancay en estado paralizado y en el distrito de José María Arguedas - Andahuaylas con funcionamiento irregular. La necesidad de estos son una inversión en el bienestar de la población como medida indispensable para proteger nuestros recursos hídricos y asegurar el desarrollo sostenible de las poblaciones futuras.

En la provincia de Andahuaylas, los efluentes generados por los hogares y comercios son vertidas directamente al río Chumbao a causa de la carencia de un sistema de tratamiento. Esto provoca cambios en sus propiedades físico-químicas, generando malos olores y la presencia de agentes patógenos, así como de vectores como moscas y roedores, lo que ocasiona molestias y perjuicios a las personas que viven y transitan por las zonas aledañas.

El establecimiento de un sistema para el manejo de aguas es prioritario, pero implica diferentes etapas. La principal es el tratamiento primario, en el cual se remueve

el mayor porcentaje de contaminantes hallados en las fuentes hídricas. Sin embargo, al no existir datos en la localidad, es necesario realizar la presente investigación permitiendo diseñar un clarificador primario para aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas.

### **2.1.1. Problema General**

- ¿Cuál es el diseño de un clarificador para el tratamiento primario de aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas 2024?

### **2.1.2. Problema Especifico**

- ¿Cuál será el caudal que se utilizará en el diseño del clarificador en un futuro de 20 años?
- ¿Cuál será la velocidad de sedimentación y la eficiencia de remoción de SST mediante una columna de laboratorio de 2 m de altura y muestreo estratificado?
- ¿Qué dimensiones (área, volumen, altura) debe tener el clarificador para cumplir con la normativa OS.090 del Ministerio de Vivienda, basado en datos experimentales?

## **2.2. Objetivos**

### **2.2.1. Objetivo General**

- Diseñar un clarificador para el tratamiento primario de aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas 2024.

### **2.2.2. Objetivos Específicos**

- Determinar el caudal de diseño en el clarificador de aguas residuales municipales para una población proyectada en 20 años (2045).
- Determinar la velocidad de sedimentación y eficiencia de remoción de SST mediante la construcción de una columna de sedimentación de 2 m de altura con válvulas de muestreo cada 0.6 M.

- Dimensionar el clarificador (área, volumen, altura) utilizando los datos experimentales de velocidad de sedimentación y la Norma OS.090 del Ministerio de Vivienda.

### **2.3. Justificación e Importancia.**

La investigación sirve como base para el proyecto de construir una planta de tratamiento de aguas residuales en la cuenca del Chumbao. La metodología utilizada será base para futuras investigaciones en otros sectores que cuenten con una problemática similar. Asimismo, servirá como base para estudio del proceso de sedimentación, el análisis de caudales, caracterización de sólidos, estudios de tiempos de retención hidráulica, velocidades de sedimentación como utilizar estos datos para el diseño de un clarificador primario.

El impacto social será notable al reducir el nivel de contaminación del agua, mediante el proceso de clarificación disminuirán los niveles de Ph, turbidez, DBO, DQO, sólidos totales suspendidos y agentes patógenos. Evitando el aumento de vectores biológicos que provocan enfermedades como diarreas, parasitosis, hepatitis A, cólera y enfermedades dermatológicas. Logrando mejorar la vida de las personas en los sectores en intervención de la investigación.

El impacto ambiental es que al poseer una PTAR permitirá controlar las descargas de vertimientos de aguas residuales que mitigará la contaminación hídrica en los distritos Andahuaylas, Talavera y San Jerónimo, que incluye una gran variedad de impurezas como nutrientes (fósforo y nitrógeno), patógenos (bacterias, virus y protozoos), productos químicos (detergentes, productos de limpieza, fármacos) y materia orgánica. Se promoverá la recuperación del ecosistema acuático mientras que el agua tratada tendrá uso agrícola y riego de zonas verdes.

El Impacto técnico de la creación de una clarificador permitirá cumplir con los Límites Máximos Permisibles (LMP) entorno a propiedades fisicoquímicas y normativas ambientales vigentes.

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El diseño del clarificador propuesto para el tratamiento primario de aguas residuales municipales en la provincia de Andahuaylas cumplirá con las eficiencias de remoción referida por la norma OS.090 del ministerio de vivienda.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- El caudal de diseño será de 400 l/s, calculado para una población aproximada de 150,000 habitantes.
- La columna de sedimentación permitirá determinar una velocidad de sedimentación de 4 m/h a 8 m/h para los SST.
- El clarificador tendrá un área de 400 m<sup>2</sup> y un volumen de 600 m<sup>3</sup>, validados experimentalmente para una eficiencia del 70% en remoción de SST.

## **2.5. Variables**

- **Variable independiente:** Diseño del clarificador
- **Variable dependiente:** Tratamiento primario de aguas residuales

**Tabla 1.**  
Operacionalización de variables

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escalas de Medición (Nominal)
<p><b>Variable Independiente:</b> Diseño del clarificador</p>	<p>El Diseño de un clarificador comprende un conjunto de parámetros técnicos, hidráulicos y estructurales que se deben considerar al planificar y construir para garantizar su eficiencia en la remoción de sólidos suspendidos en el tratamiento de aguas residuales. Se determinan por el tamaño, la forma, la capacidad y el rendimiento del clarificador. También aseguran que el proceso de sedimentación se realice correctamente, dando paso a las partículas sólidas se asienten en el inferior del tanque, mientras que el agua purificada se recoja. (Metcalf &amp; Eddy, 1995)</p>	<p>El diseño de un clarificador es el proceso de fijar las dimensiones, forma, disposición hidráulica y condiciones operativas óptimas para separar partículas sólidas suspendidas en el efluente, mediante su sedimentación gravitatoria, de acuerdo con caudal de diseño, características del agua, y normas técnicas aplicables.</p>	<p>Construcción del clarificador (70% de remoción)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Caudal de diseño</li> <li>• Carga superficial</li> <li>• Tiempo de retención hidráulica (TRH)</li> <li>• Área del clarificador</li> <li>• Altura del Clarificador</li> <li>• Volumen del clarificador</li> <li>• Velocidad de sedimentación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>Q = L/s</math></li> <li>• <math>Cs = m/h</math></li> <li>• <math>t = \text{min}</math></li> <li>• <math>A = m^2</math></li> <li>• <math>h = m</math></li> <li>• <math>Vol = m^3</math></li> <li>• <math>Vel = m/h</math></li> </ul>
<p><b>Variable Dependiente:</b> Tratamiento primario de aguas residuales</p>	<p>La clarificación de aguas residuales como procedimiento físico utilizado en el tratamiento primario de aguas residuales, que se refiere a la eliminación de partículas en suspensión mediante sedimentación gravitacional en tanques llamados clarificadores. Durante este proceso, las partículas más densas que el agua sedimentan hacia el fondo del tanque formando lodos, mientras que el agua clarificada fluye hacia la superficie para continuar con su terapia. Este proceso es esencial para disminuir la carga de contaminación y optimizar el rendimiento de las fases subsiguientes del tratamiento. (Metcalf &amp; Eddy, 1995)</p>	<p>El tratamiento primario de aguas residuales es la etapa física de filtración destinada a remover sólidos suspendidos sedimentables, flotantes y parte de la materia orgánica, mediante operaciones de sedimentación, en unidades diseñadas para lograr una reducción del 50–70% de sólidos suspendidos totales (SST).</p>	<p>Parámetros físicos</p>	<p>Eficiencia de remoción de sólidos suspendidos (mediante el método SMEWW-APHA 2540 D).</p>	<p>SST 50 – 70 % removidos</p>

**Nota.** Elaboración Propia (2025).

### III. Marco Teórico

#### 3.1. Antecedentes del Problema

##### 3.1.1. Antecedentes Internacionales

(Castellanos Jurado, 2025) Investigación Titulada “Diseño de un clarificador para la separación de una solución concentrada de sulfato de zinc y sus lodos, obtenidos de la planta de producción continua de sulfato de zinc heptahidratado de representaciones químicas, s.a., a partir de mineral de zinc”. La experimentación del proceso de separación se realizó utilizando un clarificador a escala piloto suministrado por Representaciones Químicas, S.A. y utilizando un floculante aniónico como coadyuvante en el proceso de sedimentación de sólidos.

El experimento consistió en realizar varias corridas en las que los resultados de los parámetros definidos como variables de diseño fueron el tiempo de sedimentación de los sólidos y la altura del "lecho" formado por los sólidos sedimentados compactados. El procesamiento de datos se realizó sobre los valores obtenidos de cada variable. Debido a la necesidad de separar dos fases, especialmente sólida y líquida, utilizando sustancias floculantes (polielectrolitos), se propone crear un dispositivo denominado clarificador, en el cual se lleva a cabo el fenómeno físico-químico de separación, haciendo que los sólidos floten o sedimenten, dependiendo de su densidad.

La eliminación de material particulado en la planta piloto fue del 98,26%, superior al valor de diseño del 95%.

El diseño evaluado en la planta piloto cumple con los requisitos mínimos de separación de sólidos, considerando el área mínima de clarificación requerida y el área mínima de espesamiento requerida, lo que permite la reproducción de este diseño en la planta de producción continua de heptahidrato de sulfato de zinc de Representaciones Químicas, S.A.

(Vargas Prada, 2023) Investigación Titulada “Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Potable para Distribución de Agua en Beneficio de la Vereda Salcedo del Municipio de Apulo Cundinamarca”. Con el objetivo de diseñar una PTAP con el objetivo de favorecer a los pobladores de la vereda Salcedo, en el municipio de Apulo (Cundinamarca), utilizando el agua disponible que brinda la laguna Salcedo.

La metodología se fundamentó en el método de investigación aplicada, que tiene un enfoque tanto cualitativo como cuantitativo. Se utilizaron herramientas de proceso sistemático, crítico y empírico para la investigación que involucran la recolección y análisis de datos cualitativos y cuantitativos, así como su integración y discusión colaborativa. (Sampieri, 2014).

El resultado obtenido es un vertedero de sección rectangular satisface las especificaciones de diseño, ya que su coeficiente de Froude es 7,2 (se encuentra en el intervalo de 4.5 a 9.0), su tiempo de mezcla es 0,4 seg (es inferior a un segundo) y su gradiente de velocidad es  $1731,9 \text{ s}^{-1}$  (está en el rango entre 1000 y  $2000 \text{ s}^{-1}$ ).

Según los cálculos hechos para cada uno de los dos vertederos, se concluyó que el rectangular es el mejor, pues es más adecuado para gestionar caudales tan bajos como 11,67 L/s y requeriría menos concreto armado en términos económicos. Esto optimizará los recursos financieros, lo que facilitará la construcción rápida de la PTAP y su correcto funcionamiento.

Se concluye la prueba de jarra realizada en este proyecto mostró que el tiempo de retención óptimo para el floculador se calculó en 30 a 35 minutos. En las tres fases de floculación y el diseño geométrico se cumple esta condición, indicando que la dosis óptima calculada en la prueba de jarra es suficiente para determinar el tren de desinfección.

(Guerrero Pillasagua & Álvarez Álvarez, 2021) En el presente proyecto de titulado “Diseño de la segunda etapa de decantación primaria de la planta depuradora de aguas

residuales de Jipijapa del sector Joa.” Se elaboro con el objetivo de Diseñar la segunda fase de decantación primaria de la planta de tratamiento de aguas residuales en Jipijapa, ubicada en el sector Joa. Esta investigación es aplicada porque, para llevarla a cabo, se emplearon fórmulas y métodos con los que fue posible el diseño del decantador primario. Este proceso mejora la calidad de las aguas residuales al eliminar las partículas en suspensión, los cuales fueron tratados en los procesos secundarios y terciarios. La indagación se realizó en la ciudad de Jipijapa, que tiene una extensión de 1420 km<sup>2</sup> y alrededor de 36.080 residentes que viven en el área urbana.

Se llevó a cabo una muestra por cada circuito que separa la ciudad, donde se determinó el número total de residentes y su demanda. Los circuitos con más demanda son el 3 y el 8, los cuales tienen más de 13.000 habitantes. 23995,76 m<sup>3</sup> por día es el volumen de agua que entra en la planta de tratamiento de aguas residuales del cantón Jipijapa. Para diseñar el decantador primario, se estableció un caudal de punta con un volumen de 1985,70 m<sup>3</sup>/h.

Se determina que el diseño del decantador primario se originó a partir del caudal de diseño que proporciona la ciudad de Jipijapa, en la que se calculó, utilizando una tabla, el número de contaminantes por persona. En el cual se sugiere un decantador circular que tiene un diámetro de 22,13 m y una altura de 3,25 m, con trampa de lodo que mide 2 m de ancho y 0,30 m de alto. El diseño del decantador, que será conforme a la legislación establecida en el proyecto, eliminará el 60 % de los sólidos suspendidos y el 30 % de las demandas químicas de oxígeno.

(Rodriguez Victoria & Enriquez, 2019) En el informe titulado “Modelación de un clarificador primario para el tratamiento de agua residual doméstica utilizando fluente”.

Partiendo del hecho de que el principio básico del tratamiento de aguas residuales es la concentración de la mayor parte de la contaminación en forma de lodos, que la

contaminación de las aguas residuales domésticas se compone principalmente de sustancias sólidas (70% orgánicas y 30% inorgánicas). (von Sperling, 2007).

La metodología de la investigación creó una herramienta que permitirá optimizar la sedimentación primaria para que la mayor parte de la materia orgánica que traen las aguas residuales y la materia en suspensión a sedimentar se concentren en los lodos primarios. Una mayor cantidad de lodo primario optimizará la digestión anaeróbica implementada para la estabilización de lodos, debido a que los componentes del lodo primario son microbiológicamente más fáciles de fraccionar que el material celular que forma el lodo secundario (Tiehmet al., 2001; Rulkens, 2008), de esta manera se puede obtener una mayor cantidad de bio20,1ra y2. un recurso energético potencialmente útil que ha cobrado mayor relevancia en los últimos años debido a la necesidad de buscar fuentes de energía renovables. El estudio recolectó información sobre las características de las aguas residuales domésticas (ARD), las condiciones hidráulicas, operativas y ambientales y el desempeño del tratamiento primario (CP) convencional en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cañaveralejo (PTAR-C), ubicada en la ciudad de Cali y que cubre aproximadamente el 85% de las aguas residuales generadas en la ciudad. Los clarificadores primarios implementados en la EDAR-C son tanques circulares de alimentación central, de 47,5 m de diámetro, 4,2 m de altura (en paredes exteriores), tratando un caudal de 0,95 m<sup>3</sup>/s, teniendo dispositivo en la parte superficial que permite remover las natas y con un barrelos que direcciona el lodo sedimentado a una tolva central, para facilitar su purga.

(Guillín Medina & Contreras Ortega, 2018) En su trabajo de investigación "*Diseño y construcción a escala piloto de un prototipo de Sedimentador Rectangular*". Con el objetivo de crear y diseñar un sedimentador rectangular a escala piloto, empleando la alternativa más adecuada de las cuatro mencionadas anteriormente.

La metodología usada fue mediante ensayos de laboratorio. Se recogieron muestras de lodo seco con distintas concentraciones, las cuales se detallaron anteriormente. Identificando curvas de sedimentación. Se puede crear una curva de sedimentación usando los datos recolectados en las columnas de sedimentación. Esta curva muestra la relación entre  $h$  (altura de interfase) y  $t$  (tiempo de sedimentación). Después, se evaluó la velocidad de sedimentación de las partículas en cada concentración empleada a partir de esa curva.

Correspondiente a los resultados se analiza la velocidad de sedimentación con los límites de diseño  $\frac{m^3}{m^2} \cdot día$  en las cantidades planteadas (g/l). El análisis del tiempo de retención que en el tanque de sedimentación permanece una unidad de fluido. Las concentraciones de muestra que se ajustan a los rangos de diseño son las de 20 y 25 g/l, que tienen un tiempo de retención de 1 hora y 1.75 horas, respectivamente.

Se concluyó que desde la restricción se impuso la ubicación del colono. Se diseñó a la inversa, es decir, luego de calcular la velocidad de sedimentación mediante pruebas de laboratorio y el área específica, se determinó el caudal óptimo para el precipitador funcione adecuadamente.

La concentración de 20 g/l de la muestra número 4 (lodo seco pulverizado del Río Los Tintos) fue seleccionada para el diseño del sedimentador, ya que satisfacía todos los criterios de diseño.

### **3.1.2. Antecedentes Nacionales**

(Amado Arias, 2023) La presente investigación titulada “Diseño de un clarificador de 22 metros de diámetro y 6.60 metros de altura, para la recuperación de agua de proceso en una planta concentradora de molibdeno”. Su objetivo es diseñar un clarificador con un diámetro de 22 m y una altura de 6,60 m, el cual será utilizado para la recuperación de agua de proceso en la planta concentradora de molibdeno, tomando

como punto de partida los equipos de la empresa Minera Cerro Verde, que utiliza la norma API65. Durante la etapa de levantamiento de información se estudiaron las características del proceso de recuperación de agua en los equipos concentradores y las características de operación de los clarificadores, las condiciones de diseño del sistema de recuperación de agua en los equipos y la comparación de la operación de los clarificadores y espesadores. En el diseño mecánico de la planta de despacho se calculó el espesor de muro, se seleccionó el puente de acceso, también se diseñaron y seleccionaron las columnas principales, columnas secundarias, vigas estructurales de anclaje inferior y se completó la selección de las columnas inferiores. Se definió integralmente el sistema de garantía de calidad para la implementación de la clarificación y se evaluaron los costos del tanque de clarificación, el soporte estructural y la implementación del proyecto. Los resultados de la investigación cumplieron con los objetivos planteados y se encontró principalmente que se trataba de un proyecto brownfield en una planta procesadora de concentrado de molibdeno. Como recomendación prioritaria se propone la introducción de equipos de clarificación en diversas empresas mineras para ayudar al cuidado del medio ambiente reutilizando y reciclando el agua que se vierte de manera que se maximicen los beneficios económicos y sociales y se minimice el impacto ambiental.

(Cabanillas Becerra & Vasquez Infantes, 2022) Investigación titulada “Propuesta de Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para Utilización en Riego de Áreas Verdes en el Distrito de Víctor Larco Herrera, 2022”. Con el objetivo principal de presentar el proyecto de la planta de tratamiento de aguas residuales para su empleo en el riego de espacios verdes en el distrito Víctor Larco, 2022.

La metodología empleada es una descripción sencilla no experimental ya que se basa en realidades y su rasgo principal es la relevancia de regar las zonas verdes, emplear correctamente las aguas residuales y reducir la contaminación en el contexto de tener aire puro y áreas verdes limpias y al alcance de la población. En cuanto a la

gestión de datos en el diseño y análisis de la PTAR en el distrito de Víctor Larco, es cuantitativo.

De manera similar al tamaño de las trampas de arena, la velocidad horizontal se fijó en 0,3 m/s. Se instalará un rebosadero proporcional, o Suro, en cada escape para regular este caudal. Para las celdas de la rejilla se considera una velocidad de aproximación de unos 0,60 m/s y una velocidad para cruzarlas superior a 1,5 m/s con un 50% de contaminación. Se han decidido las condiciones de transición entre la última parte del sistema de alcantarillado y el canal de la red, así como la diferencia de altura para equilibrar correctamente la energía y el bypass apropiado para situaciones de emergencia.

(Matos Castro, 2022) investigación titulada “Diseño hidráulico de un vertedero triangular y su influencia en la uniformidad del nivel de agua en los pre sedimentadores de la EPS Seda Huánuco S.A. 2022”. Teniendo como objetivo crear un sistema de aforo que, a través de vertederos de pared delgada, cuantifique el caudal productivo en las seis naves y establecer ventanas de conexión entre las presedimentadoras para igualar los niveles de agua. El objetivo es fortalecer el sistema productivo de agua cruda en la caja presedimentadora del sistema EPS H, encargado de captar agua potable.

La metodología utilizada fue el método del flotador, y se obtuvo la información siguiente: caudal, volumen y tiempo. A continuación, exponemos las mediciones efectuadas en campo 43: - Longitud del segmento para el ensayo (L): 15 metros. - Tirante medio de agua en el segmento escogido (y): 0.925 metros. - El ancho del canal (b) es de 0.89 m

Los resultados del diseño de vertedero son el control de caudales con el fin de garantizar el suministro y cumplir con la normativa, optimizando así el tiempo de permanencia para la sedimentación. Incrementar la carga de las naves

presedimentadoras para poder embalsar y homogeneizar los niveles superficiales del agua, lo que hace más eficaz el tiempo de permanencia para la sedimentación.

El diseño hidráulico de un vertedero triangular se determinó que afecta la homogeneidad en la descarga del caudal de trasiego, haciendo que cada nave funcione de manera uniforme y logrando una descarga estable y homogénea en todos los conductos evacuadores presentes en cada Presedimentador.

Desde la captación hasta la planta presedimentadora, el canal aductor tiene una capacidad hidráulica actual que presenta un déficit del 22%. Este valor es excesivo y afecta negativamente a la economía de la empresa, que no cuenta con todos sus componentes operando al 100 %. El presente análisis reducirá parcialmente ese porcentaje y optimizará la eficacia hidráulica de toda la estructura de la EPS H.

(Falcón Matos & Leo Moreno, 2018) con la investigación titulada “Diseño de una Planta de Tratamiento de Agua Residual Generada en el Hospital “Victor Ramos Guardia” – Huaraz, Ancash 2018”. Teniendo como objetivo planear la planta de tratamiento de aguas residuales para el hospital “VÍctor Ramos Guardia”, Ancash, Huaraz 2018.

La metodología de investigación fue cuantitativa, el diseño no experimental y transversal. Se tomó una muestra y se recopilaron datos de las aguas residuales durante un período específico, lo que determinó el alcance descriptivo del estudio.

La población estuvo determinada por las aguas residuales hospitalarias del Hospital VRG y que provenían de todas sus áreas. La muestra se conformó por agua residual en volúmenes mínimos de 50 ml a 1000 ml, según los parámetros analizados. Para esto, se empleó la técnica de monitoreo de aguas, con la cadena de custodia como instrumento.

Se obtuvo una descripción general del área de investigación, para luego determinar las necesidades de diseño de las plantas de tratamiento: caudal, así como

características fisicoquímicas y microbiológicas de las aguas residuales del hospital VRG. Luego se realizó un análisis de diseño para determinar los parámetros de contaminación y el caudal de diseño. Luego se llevó a cabo un estudio topográfico y una investigación mecánica del suelo para determinar el sitio propuesto para el proyecto. Finalmente se realizó el diseño de la planta de tratamiento. Incluye un pretratamiento - con cámara de parrilla seguida de un tanque de nivelación y un tanque bomba-, un tratamiento primario a base de un sedimentador primario y un tratamiento secundario compuesto por un tanque de lodos activados.

Se concluyó que la oferta de tratamiento de aguas residuales HVRG, mediante tratamiento de lodos activos, permitió determinar todos los parámetros necesarios para su diseño, además de la eficiencia potencial de HVRG para la eliminación de elementos contaminantes. Se propuso instalar una cámara de rejilla para cada tubería que va desde los buzones hasta la cámara de bombas. Luego, basándose en esto último, se propuso un tanque de ecualización para reducir las dimensiones del procesamiento posterior y homogeneizar todos los parámetros contaminantes. Luego se propuso un sedimentador primario y como tratamiento secundario un proceso de lodos activados, que también requiere de un sedimentador secundario con recirculación debido a su operación.

El Tanque de nivelación y sistema de lodos activados fueron estructuralmente diseñados. El primero, debido a su gran tamaño; el segundo, porque es el procedimiento más relevante en la cadena de tratamiento de aguas residuales. Para esto, se emplearon los valores obtenidos del estudio de mecánica del suelo y el PCI.

(Luza Ortega & Vergara Pinedo, 2018) con la investigación titulada “Diseño del sedimentador para mejorar el funcionamiento hidráulico de la PTAP de Juliaca, 2018”. La meta general fue crear el componente del sedimentador que mejore la operación hidráulica de la PTAP de Juliaca en 2018.

Se usa un método científico, que intenta investigar y desarrollar un problema a través del análisis de conocimientos existentes, formulando hipótesis y objetivos e interpretando para obtener conclusiones y así alcanzar resultados óptimos. Se llevó a cabo un estudio descriptivo y cuantitativo.

Los resultados obtenidos fueron que para determinar la compacidad y/o consistencia de los materiales que se encuentran bajo las cimentaciones se realizaron 2 ensayos DPL distribuidos estratégicamente en la zona de interés.

Los resultados de las pruebas estándar presentadas muestran que la muestra del pozo SD-C1 tiene un alto contenido de arena y una baja cantidad de finos y grava, por lo que se clasifica como arena mal clasificada (SP) según las normas ASTM D2487. La muestra SD-C2 también se clasifica como arcilla de baja plasticidad (CL) debido a su alto índice de plasticidad y porcentaje de finos.

Se concluyó que era posible demostrar lo que decía la hipótesis general. Un diseño adecuado del precipitador optimizará el rendimiento hidráulico del Juliaca PTAP, 2018. Esto significa que los métodos de Reynolds y Stokes utilizados en el diseño del precipitador son los más adecuados para regular el flujo laminar y la densidad de partículas para que no interfieran con las demás estructuras y el procedimiento de limpieza sea efectivo.

### 3.1.3. Antecedentes Locales

No existen antecedentes locales relacionadas a la investigación de tesis.

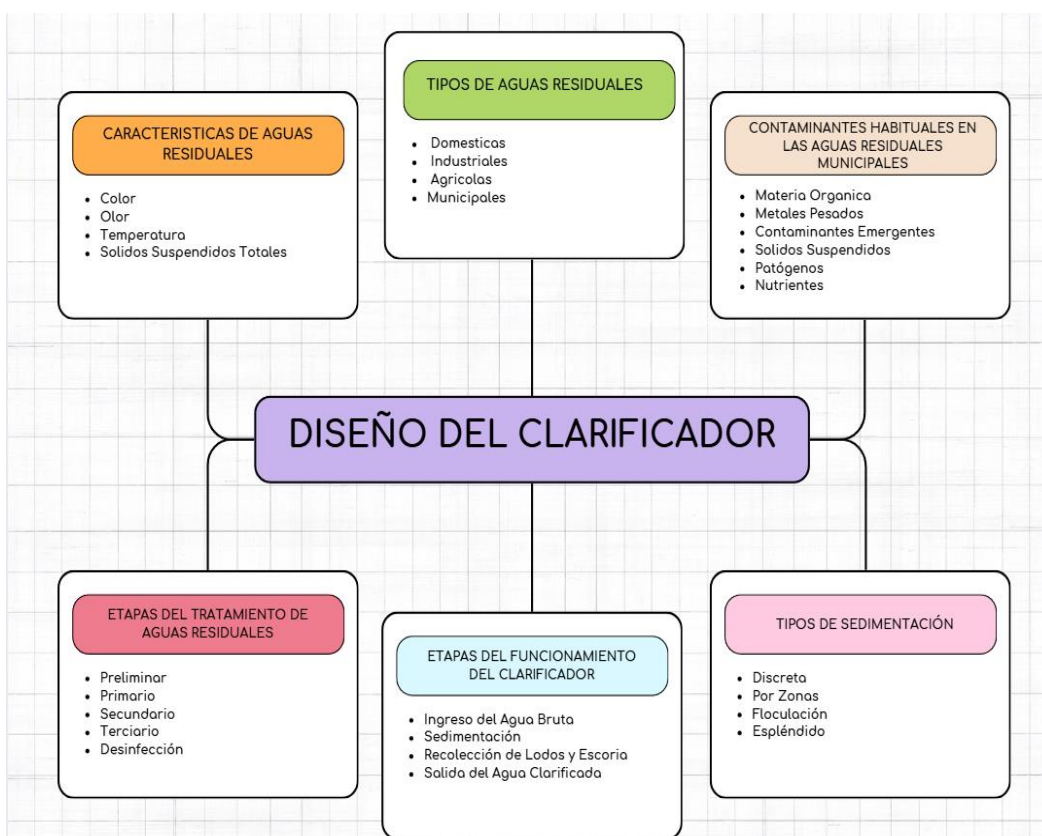
## 3.2. Bases Teóricas

### 3.2.1. Proceso de diseño del clarificador

Para el diseño del clarificador se identificó cada uno de los procesos para su elaboración por ello mediante el mapa conceptual se resume los criterios a ser considerados en su elaboración.

**Figura 1.**

*Diseño del Clarificador*



**Nota.** Proceso a ser considerado para la elaboración del diseño del clarificador, Elaboración Propia.

### **3.2.2. Aguas Residuales**

Las aguas residuales, o también llamadas aguas servidas, son el producto de las acciones humanas que se realizan diariamente, como las de higiene personal y domésticas (baños, cocinas y lavanderías). Estas aguas usualmente se vierten a través de sistemas de alcantarillado o directamente al medio ambiente. Contienen una combinación de materias orgánicas e inorgánicas, tanto en suspensión como disueltas, que alteran sus propiedades fisicoquímicas y biológicas, haciéndolas no aptas para el consumo humano sin tratamiento previo.(Osorio Rivera et al., 2021)

### **3.2.3. Características de las Aguas Residuales**

#### **Características físicas:**

Se refieren a propiedades observables como el color, olor, turbidez, temperatura y sólidos en suspensión. Estas características ayudan a identificar contaminantes visibles y establecer la calidad visual de las aguas residuales.(Hammer Sr & Hammer Jr, 2014)

#### **Color:**

Las aguas residuales frescas suelen ser grises, pero este color se torna más oscuro con la disgregación de la materia orgánica.(Metcalf & Eddy, 1995)

#### **Olor:**

Las aguas residuales tienen un olor característico porque a los gases producidos por la descomposición de compuestos orgánicos, como el sulfuro de hidrógeno.(Metcalf & Eddy, 1995)

**Temperatura:**

La temperatura de los efluentes varía, son generalmente más altos que el agua potable debido al uso doméstico y comercial y afectan la tasa de procesos biológicos.(Metcalf & Eddy, 1995)

**Sólidos:**

Se refiere a cualquier material sólido presente en las aguas residuales, incluyendo materiales orgánicos e inorgánicos. Los sólidos pueden encontrarse en forma disuelta, suspendida o sedimentable y afectan la calidad y el tratamiento del agua.(Metcalf & Eddy, 1995)

**Sólidos Totales (ST):**

Representan la cantidad total de sólidos encontrados en las aguas residuales, ya sea disueltos o en forma suspendida. Los sólidos totales se miden tras evaporar una muestra de agua y pesar el residuo. Se componen de sólidos disueltos y sólidos suspendidos.(Metcalf & Eddy, 1995)

**Sólidos Sedimentables:**

Son sólidos que tienden a depositarse en el fondo del contenedor durante un tiempo de reposo, generalmente de una hora. Este tipo de sólidos puede separarse en el tratamiento primario mediante procesos de sedimentación(Metcalf & Eddy, 1995)

**Sólidos Suspendidos (SS):**

Los sólidos que no se disuelven en H<sub>2</sub>O y permanecen suspendidos, contribuyendo a la turbidez del agua residual. Los sólidos suspendidos pueden eliminarse por medio para procesos físicos como filtración y sedimentación.(Metcalf & Eddy, 1995)

**Características químicas:**

Incluyen compuestos orgánicos e inorgánicos, nutrientes, metales pesados y gases disueltos. La materia orgánica, medida comúnmente mediante DBO y DQO, es importante evaluar los niveles de contaminación.(Hammer Sr & Hammer Jr, 2014)

**Características biológicas:**

Comprenden microorganismos hallados en las aguas residuales, como bacterias, virus, protozoos. Estas características son fundamentales para evaluar los riesgos de transmisión Eficacia de la enfermedad y el tratamiento biológico.(Hammer y Hammer, 2014)

**3.2.4. Tipos de Aguas Residuales**

Los efluentes se clasifican de distintas maneras, pero la más sobresaliente es por su origen:

**a) Aguas residuales domésticas:**

Se originan de las actividades diarias en los hogares, como el uso de cocinas, baños y lavanderías. Estas aguas contienen principalmente materia orgánica y nutrientes (Osorio et al., 2021)

**b) Aguas residuales industriales:**

Los producidos por procesos industriales contienen varios contaminantes diferentes según el tipo de industria, incluyendo productos químicos y metales pesados.(Osorio et al., 2021)

**c) Aguas residuales agrícolas:**

Estas son aguas que provienen de actividades agrícolas, como riego y drenaje. Estas aguas pueden contener pesticidas, fertilizantes, sedimentos y materia orgánica en suspensión.(Hammer y Hammer, 2014)

**d) Aguas residuales municipales:**

Se definen como aguas que después de su uso en actividades domésticas, industriales y comerciales, contienen diversos contaminantes y requieren tratamiento previo a la disposición en cuerpos de agua naturales.(Peña et al., 2001)

**3.2.5. Contaminantes Habituales en las Aguas Residuales Municipales****a) Materia orgánica:**

Incluye residuos de alimentos, aceites, grasas y otros desechos orgánicos que, al descomponerse, consumen oxígeno disuelto en el agua, afectando negativamente a los ecosistemas acuáticos. (Salgado Bernal et al., 2011)

**b) Metales pesados:**

Elementos como plomo, cadmio, cromo y mercurio, que pueden encontrarse en las aguas residuales debido a diversas actividades humanas. Estos metales son tóxicos y pueden acumularse en los organismos provocando efectos adversos en la salud humana y ambiental.(Salgado Bernal et al., 2011)

**c) Contaminantes emergentes:**

Sustancias como productos farmacéuticos, hormonas y químicos industriales que, aunque presentes en pequeñas concentraciones, tienen un efecto negativo en el entorno y la población.(Gil et al., 2012)

**d) Sólidos suspendidos:**

Partículas sólidas que quedan suspendidas en el agua, que puede modificar los procesos de la fotosíntesis debido a su contribución a la turbidez y su impacto en la penetración de la luz en los agentes de agua receptores.(Zurita Martínez et al., 2011)

**e) Patógenos:**

Son aguas residuales municipales contienen diversos microorganismos patógenos, incluyendo bacterias como *Salmonella* y coliformes fecales, que pueden causar enfermedades gastrointestinales en la población expuesta. La presencia de estos patógenos está relacionada con la gran frecuencia de enfermedades en la comunidad y cantidad de materia orgánica en las aguas residuales. (Cota Espericueta & Ponce Corral, 2008)

**f) Nutrientes:**

Principalmente nitrógeno y fósforo, provenientes de detergentes, fertilizantes y excreciones humanas. En exceso, estos nutrientes pueden provocar La eutrofización, un proceso que tiene un impacto negativo en la calidad del agua y afecta vida acuática. (Gil et al., 2012)

**3.2.6. Tratamiento de Aguas Residuales**

Se conoce como tratamiento de aguas residuales mediante la agrupación de métodos químicos, físicos y biológicos, su objetivo es reducir las impurezas que se encuentran en el agua utilizada, como finalidad se obtiene la calidad sea adecuada para su disposición final o reutilización. Estos procesos buscan minimizar el impacto ambiental y salvaguardar la salud pública al asegurar que las aguas residuales tratadas cumplan con la normativa establecidas. (Ministerio del Ambiente del Perú, 2009)

**3.2.7. Etapas del Tratamiento de Aguas Residuales**

Como tratamiento de aguas residuales municipales que lleva a cabo en distintas etapas secuenciales, cada una con objetivos específicos para eliminar diferentes tipos de contaminantes. A continuación, se describen las principales etapas del proceso:

➤ **Tratamiento preliminar:**

La etapa está enfocada en la depuración de sólidos amplios, flotantes, arenas y aceites presentes en las aguas residuales. Los equipos utilizados incluyen rejas, desarenadores y desengrasadores.(Ministerio de Vivienda, 2017)

➤ **Tratamiento primario:**

En esta fase se elimina la materia orgánica sedimentada y los sólidos en suspensión mediante procesos físicos como la sedimentación. Las aguas residuales se almacenan en tanques de sedimentación donde los sólidos se depositan en el fondo y forman lodos que serán tratados posteriormente.(Ministerio de Vivienda, 2017)

➤ **Tratamiento secundario:**

Consiste en la descomposición biológica de la materia orgánica descompuesta y en suspensión mediante microorganismos. Se emplean sistemas como los lodos activados y los filtros percoladores o reactores biológicos, en el que los microorganismos metabolizan la materia orgánica, disminuyendo la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) del efluente.(Ministerio de Vivienda, 2017)

➤ **Tratamiento terciario:**

La fase avanzada busca la depuración de impurezas que no fueron extinguidos en las fases previas, como metales pesados, nutrientes (nitrógeno y fósforo) y compuestos orgánicos que se mantienen. Se utilizan métodos adicionales de tipo químico, biológico o físico, como la filtración, adsorción, precipitación química o desinfección, con el fin de optimizar la calidad del efluente y cumplir con estándares estrictos.(Autoridad Nacional del Agua, 2018)

➤ **Desinfección:**

Aunque a veces se considera parte del tratamiento terciario, la desinfección es una fase crucial que implica la eliminación de microorganismos patógenos presentes en las aguas residuales tratadas. Se utilizan desinfectantes como cloro, ozono o radiación ultravioleta para garantizar que el agua sea segura para su eliminación o reutilización. (Ministerio de Vivienda, 2017)

### **3.2.8. Clarificador**

Los clarificadores de agua son estructuras de sedimentación equipadas con mecanismos mecánicos que permiten la remoción continua de los sólidos sedimentados. Este proceso, conocido como clarificación, es uno de los métodos más antiguos y utilizados en gran medida para el tratamiento de aguas servidas.

Para clarificadores suelen emplearse como separar partículas concisas o materiales suspendidos en los fluidos, efectuando la clarificación a través de la sedimentación por gravedad. (Amado Arias, 2022)

### **3.2.9. Etapas del Funcionamiento del Clarificador**

#### **a) Ingreso del agua bruta:**

En un clarificador es la etapa inicial donde el agua sin tratar, que contiene partículas en suspensión y otras impurezas, se introduce en el sistema de clarificación. Este proceso es esencial para garantizar una sedimentación eficiente de los sólidos, mejorando la pureza del agua tratada. Previo a su ingreso al clarificador, el agua cruda puede someterse a procesos de coagulación y floculación para facilitar la eliminación de partículas suspendidas. (Yamit Filtration, s/f)

**b) Sedimentación:**

Como procedimiento para que las partículas compactas, que se encuentran suspendidas en un líquido, se asientan en la parte inferior a causa de la gravedad. Este fenómeno es crucial como tratamiento de aguas servidas porque posibilita la separación de sólidos en suspensión, lo que da mejor calidad del agua tratada. La eficiencia en la sedimentación puede verse influenciada por factores como la concentración y el tamaño de las partículas, así como por la presencia de agentes coagulantes que faciliten la aglomeración de las partículas suspendidas.(Solís et al., 2013)

**c) Recolección de lodos y escoria:**

En clarificadores es el proceso mediante el cual los sólidos sedimentados (lodos) y los materiales flotantes (escoria) se retiran del sistema para garantizar un funcionamiento eficiente y preservar el nivel de calidad del agua que ha sido tratada. En lo que respecta a los lodos, estos son removidos del fondo del clarificador mediante mecanismos de raspado o succión. Por otro lado, la escoria, formada por grasas, aceites y otros materiales flotantes, es recolectada en la superficie a través de sistemas de desnatado.(Droste & Gehr, 2019)

**d) Salida del agua clarificada:**

En los clarificadores como etapa final del proceso de clarificación, donde el líquido es tratado, que ha sido separada de sólidos suspendidos y otras impurezas, es conducida hacia los sistemas de distribución o tratamiento posterior. Este flujo se controla mediante vertederos o sistemas de canales de salida, diseñados para evitar la re-entrada de sólidos sedimentados o flotantes, asegurando una calidad constante del agua clarificada.(Spellman, 2013)

### **3.2.10. Tipos de Sedimentación**

Se consideran 3 tipos de procesos o mecanismos de sedimentación, según la clasificación de los sólidos que se encuentran en suspensión.

#### **Sedimentación discreta:**

Ocurre cuando Las partículas se hunden manteniendo su singularidad, que no se fusionan ni se agrupan con otras partículas subatómicas. En este proceso, se toman en cuenta los rasgos físicos de las partículas, como su forma, tamaño y peso específico, permanecen constantes. Un caso típico de sedimentación de este tipo es la deposición de fragmentos en los desarenadores.(Ramalho Sette, 2003)

#### **Sedimentación por zonas:**

Se caracteriza por la formación de una estructura en la que las partículas sedimentan de manera colectiva, creando una superficie de separación entre el líquido sobrenadante y los flóculos, bien definida. Este suceso ocurre en suspensiones con altas concentraciones de sólidos, donde las partículas están tan próximas que sus movimientos son interdependientes, sedimentando como una masa unificada.(Ramalho Sette, 2003)

#### **Sedimentación con floculación:**

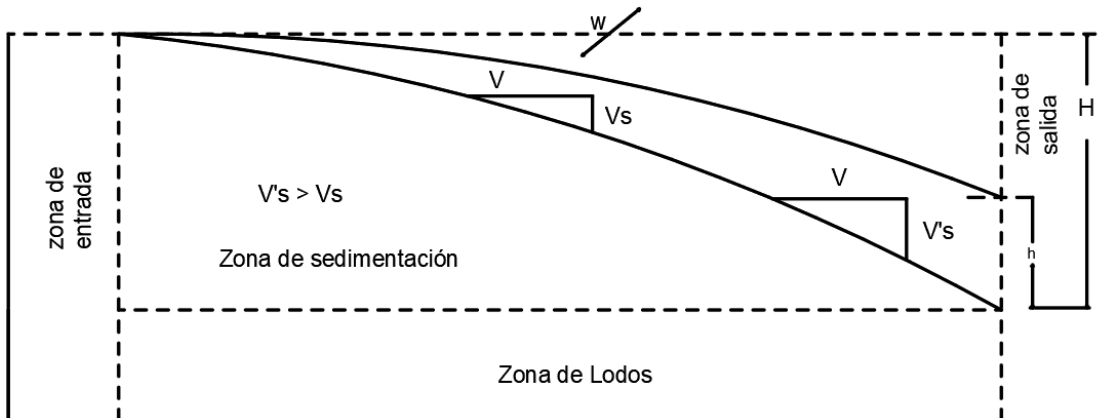
Se caracteriza por la agrupación de partículas, lo que genera modificaciones en su densidad y la rapidez con que se sedimentan o precipitan. Este tipo de sedimentación se observa típicamente en los sedimentadores primarios o clarificadores.(Ramalho Sette, 2003)

La sedimentación por floculación ocurre porque la velocidad de sedimentación de las partículas aumenta a medida que se fusionan con otras partículas. Las trayectorias de

sedimentación de partículas son curvas en lugar de rectas, como ocurre cuando se depositan partículas individuales.

### Figura 2.

*Modelo de un tanque de sedimentación*



**Nota.** La figura muestra el diseño del tanque de sedimentación, adaptado de "Tratamiento de aguas residuales, (Ramalho, 2003)".

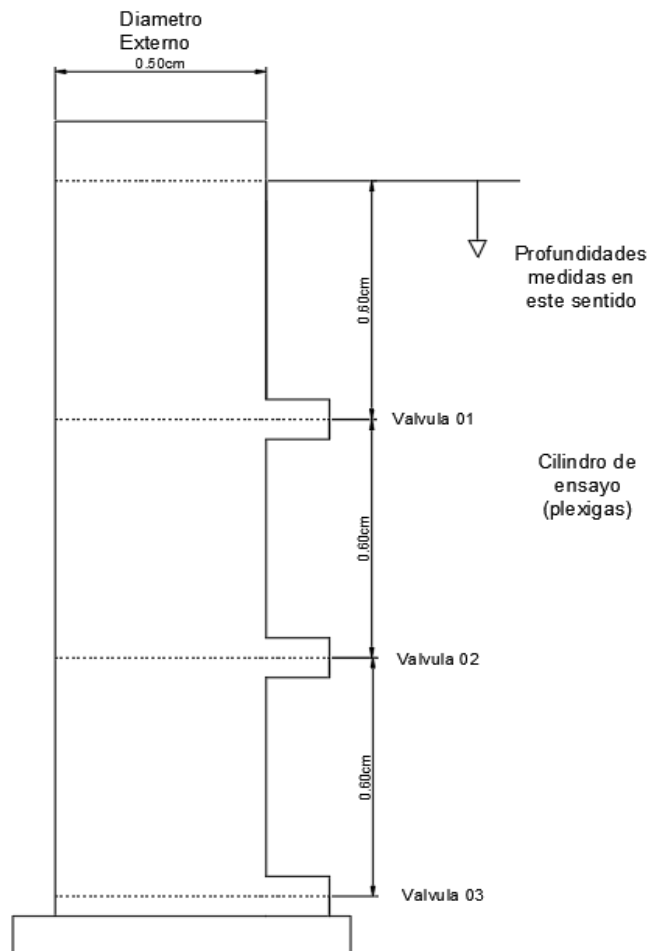
Por ensayos de sedimentación en laboratorio se utilizan para definir las normas de diseño de sistemas donde la sedimentación se combina con la floculación.

#### **Método de columna de sedimentación:**

Es una técnica utilizada para analizar el comportamiento de las partículas suspendidas en un fluido mientras sedimentan bajo condiciones controladas. Consiste en llenar una columna vertical con una suspensión y medir, a lo largo del tiempo, las tasas de sedimentación y las concentraciones de partículas en diferentes puntos de la columna. El método se usa para estimar parámetros como la velocidad de sedimentación, la formación de flóculos y las propiedades de los sólidos en suspensiones, siendo ampliamente utilizado en el diseño y operación de sistemas de tratamiento de aguas. En la figura 3 se muestra una columna típica de sedimentación de laboratorio. (Ramalho Sette, 2003)

**Figura 3.**

*Columna de sedimentación a nivel de laboratorio*



**Nota.** La figura corresponde a la columna de sedimentación adaptado de “Tratamiento de aguas residuales”, (Ramalho, 2003)”.

La concentración de sólidos suspendidos se sostiene constante en la columna a través de un agitador portátil al comienzo de los experimentos. La altura de la columna es más o menos igual a la del tanque de sedimentación a diseñar. Durante las pruebas, la temperatura se sostiene constante. Para fines prácticos, una columna de sedimentación (Fig. 3) puede tener aproximadamente dos metros de altura y contar con orificios de muestreo a profundidades de 0,6; 1,2 y 1,8 m. Con datos recogidos en esos lugares se emplean para calcular la velocidad de sedimentación y su conexión con el tiempo de retención. Para determinar la concentración y compactación de los lodos, se

emplean los datos provenientes del punto de muestreo a 2 metros.(Ramalho Sette, 2003)

### **Modelos de Sedimentadores**

#### **Sedimentadores Rectangulares**

(Metcalf & Eddy, 2016) en Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery señalan que son los más eficientes para caudales grandes y plantas urbanas por:

- Flujo uniforme y estable.
- Mejor control hidráulico.
- Facilidad para incorporar rasquetas de fondo y recolección superficial.
- Usados principalmente en sedimentación primaria y secundaria.

#### **Sedimentadores circulares (radiales)**

(Fair Geyer & Okun, 1971) en Elements of Water Supply and Wastewater Disposal, se recomiendan cuando se busca:

- Distribución radial del flujo.
- Reducción de cortocircuitos hidráulicos.
- Buen funcionamiento en sedimentadores secundarios.
- Ventaja: requieren menos espacio que los rectangulares.

### **Sedimentadores de alta tasa (lamelares o de placas inclinadas)**

(Metcalf & Eddy, 2016) en Ingeniería de Aguas Residuales los destacan porque:

Incrementan la superficie de sedimentación sin aumentar área en planta.

- Son útiles cuando hay limitación de espacio.
- Muy empleados en tratamiento primario avanzado o agua potable.

### **Altura Efectiva del Sedimentador**

Para calcular el tiempo de retención hidráulica se necesita los datos del Volumen del Sedimentador y Caudal de Diseño.

$$TRH = Qd/V$$

TRH: Tiempo de Retención Hidráulica

Qd: Caudal de diseño

V: Volumen

Se uso de referencia la investigación realizada por Ramalho el cual indica La altura de la columna es cercana a la altura del tanque de sedimentación diseñado. La temperatura se mantiene constante durante las pruebas. Por razones prácticas, la columna de sedimentación puede tener aproximadamente 2,4 metros de altura y los orificios de muestreo 0,6 de profundidad; 1,2; 1,8 y 2,4 metros. Los datos recopilados en estos sitios se utilizan para calcular la tasa de sedimentación y su relación con el tiempo de retención. Los datos del punto de muestreo de 2,4 metros se utilizan para determinar la compactación y concentración de lodos. (Ramalho Sette, 2003)

### Tiempo de retención hidráulica

Para calcular la altura del sedimentador, los datos necesarios son la velocidad de la sedimentación con relación al tiempo

$$V_s = H/t$$

H: Altura

Vs: Velocidad de sedimentación

T: Tiempo

Para fines de extrapolación, es importante tener en cuenta que la eficacia de los procesos en un tanque de sedimentación disminuye por causa de factores como las turbulencias, los cortocircuitos y las interferencias en la entrada y salida. Por lo tanto, estos procedimientos deben ser considerados al diseñar en la práctica. La consecuencia final de todos estos elementos es una reducción de la carga superficial y un aumento del tiempo de retención en comparación con los valores fijados durante las pruebas de laboratorio. Para el diseño, es En los análisis de laboratorio se acostumbra dividir la carga superficial obtenida por un factor que oscila entre 1,25 y 1,75 y multiplicar el tiempo de retención por un factor del mismo rango [6]. 3.10. La tabla muestra los datos de diseño utilizados.(Ramalho Sette, 2003)

**Tabla 2.***Valores de diseño (Clarificadores primarios)*

---

Profundidad: 2 – 3,5 m

Tiempo de retención o residencia: 0,5 – 1,5 h

Velocidad de paso: 18 – 80 m/h

Factor de carga:  $36 - 50 \frac{m^3}{m^2 \cdot h}$

Rendimiento:

Separación SS: 40-60%

Disminución DBO: 30-50%

---

**Nota.** Se muestra los valores obtenidos por el autor mediante su diseño del clarificador primario (Ramalho Sette, 2003)

**Caudal de Diseño**

El caudal de diseño en un sedimentador primario es el flujo de aguas residuales considerado como base para dimensionar el área superficial y el volumen útil del tanque, garantizando una sedimentación adecuada de sólidos y un tiempo de retención hidráulica suficiente. Generalmente se emplea el caudal medio diario (Qmed) para el cálculo del área (carga superficial), mientras que el caudal máximo horario (Qpico) se utiliza para la verificación hidráulica (capacidad de vertederos, alturas libres y eficiencia bajo condiciones extremas). (Metcalf & Eddy, 2014)

Para sedimentadores primarios no existe un único “caudal óptimo” universal. El criterio aceptado es dimensionar el área con el caudal medio diario (Qmed) y verificar hidráulica/vertederos con el caudal pico horario (Qpico). (Metcalf & Eddy, 2014)

### **3.2.11. Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias**

El actual Decreto Supremo determina las concentraciones de sustancias, elementos y parámetros biológicos, químicos y físicos que se encuentran en el agua como cuerpo receptor y elemento esencial de los ecosistemas acuáticos, siempre que no supongan un peligro importante para la salud humana o el medioambiente.

Además, la norma reúne las resoluciones que fueron aprobadas a través del Decreto Supremo N° 002-2008-MINAM, el Decreto Supremo N° 023-2009-MINAM y el Decreto Supremo N° 015-2015-MINAM, que establecen Normas de calidad ambiental (ECA) del agua. Se sujetan a las disposiciones del mismo decreto supremo y su correspondiente anexo. Esta colección de normas modifica y elimina determinadas categorías, subcategorías, valores y parámetros de la ECA, pero conserva otros aprobados por los decretos superiores antes mencionados. (SINIA, 2017)

### **3.2.12. Muestreo de Aguas Residuales**

El procedimiento de muestreo La cantidad de aguas residuales juega un papel crucial en la determinación de la calidad del agua y la eficiencia de las plantas de tratamiento de aguas residuales (WTP). Para garantizar la precisión y confiabilidad de los resultados, este proceso requiere que se recojan muestras representativas de aguas residuales en lugares específicos del sistema de tratamiento, utilizando para ello metodologías estandarizadas.

En el contexto peruano, la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 5667-10:2012 proporciona directrices detalladas para muestreo de aguas residuales domésticas e industriales. Esta norma especifica principios y procedimientos generales a seguir para obtener muestras representativas, considerando factores como el lugar, tiempo, frecuencia y técnica de muestreo. Además, destaca la importancia de utilizar equipos

adecuados y mantener condiciones de transporte óptimas para preservar la integridad de las muestras.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

Aunque esta norma se centra principalmente en el muestreo de aguas servidas en sistemas de alcantarillado y plantas de tratamiento, sus principios pueden adaptarse al contexto de ríos donde se descargan efluentes.

### **3.2.13. Consideraciones Clave Según la NTP-ISO 5667-10:2012:**

#### **Selección del punto de muestreo:**

Es fundamental elegir ubicaciones representativas que reflejen las características del efluente y su mezcla con el cuerpo receptor. En un río, esto implica seleccionar puntos aguas arriba y aguas abajo del punto de descarga para evaluar el impacto del efluente en la pureza del agua.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

#### **Tipos de muestras:**

La norma distingue entre muestras puntuales y compuestas. Las muestras puntuales se toman en un momento específico y son útiles para analizar condiciones instantáneas, mientras que las muestras compuestas se recolectan durante un período determinado, proporcionando una visión promedio la pureza del agua.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

#### **Frecuencia y tiempo de muestreo:**

La periodicidad del muestreo debe establecerse según los objetivos del estudio y las variaciones esperadas en la pureza del agua. En ríos que reciben descargas de aguas usadas, es recomendable realizar muestreos en diferentes condiciones de flujo y en distintos momentos del día para capturar variaciones significativas.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

**Preservación y transporte de muestras:**

Para mantener la integridad de las muestras, es esencial seguir procedimientos adecuados de preservación, como el uso de conservantes químicos y el almacenamiento a temperaturas controladas. Además, las muestras deben transportarse al laboratorio en el menor tiempo posible para evitar alteraciones en su composición.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

**Seguridad y protección del personal:**

La norma enfatiza la importancia de que el personal encargado del muestreo esté adecuadamente capacitado y equipado con medidas de protección personal para garantizar su seguridad durante el proceso de recolección.(Instituto Nacional de Calidad., 2012)

### **3.3. Definición de Términos**

#### **3.3.1. Clarificador:**

Un clarificador de aguas El término "residuales" se refiere a un aparato que se emplea para limpiar las aguas residuales y eliminar los sólidos y partículas suspendidas presentes en el agua. Funciona mediante un proceso de sedimentación, donde las partículas más pesadas se asientan debido a la gravedad, en el fondo del clarificador, mientras que el agua más limpia permanece en la parte superior. Este proceso ayuda a reducir la turbidez del agua antes de su tratamiento final o su disposición. (APHA et al., 2012)

#### **3.3.2. Aguas Residuales:**

Las aguas cloacales han sido empleadas en actividades industriales, comerciales o domésticas y que tienen impurezas, contaminantes o residuos que necesitan ser tratados antes de su disposición o reutilización. Pueden incluir aguas grises (provenientes de actividades como baño, lavado o cocina) y aguas negras (provenientes de inodoros y sistemas de alcantarillado). (Metcalf & Eddy, 1995)

#### **3.3.3. Sedimentación:**

La sedimentación es un procedimiento físico mediante donde las partículas sólidas suspendidas en un fluido, por ejemplo, el agua, se separan y se asientan en el fondo por la fuerza de gravedad. Este procedimiento se utiliza comúnmente en el tratamiento de aguas residuales para eliminar sólidos suspendidos y facilitar la purificación del agua. (Davis & Masten, 2004)

#### **3.3.4. Sólidos Suspendidos:**

Los sólidos suspendidos son partículas sólidas que están esparcidas en un líquido, por ejemplo, el agua, y no se disuelven en ella. Estas partículas pueden ser inorgánicas o de origen orgánico y son lo suficientemente pequeñas para permanecer

suspendidas en el agua debido a las turbulencias o al movimiento del fluido, pero eventualmente pueden asentarse si el agua se encuentra en reposo o si se somete a un proceso de sedimentación. (Metcalf & Eddy Inc. et al., 2003)

### **3.3.5. Muestreo de Aguas Residuales:**

La recolección del efluente es el procedimiento de recoger muestras de aguas utilizadas con el objetivo de examinar su composición química, física y biológica. Este método es esencial para valorar la contaminación, la gestión del agua y el efecto en el medio ambiente. (Instituto Nacional de Calidad., 2012)

### **3.3.6. Muestra de Agua:**

Una muestra de agua es un fragmento representativo de un organismo acuático en un momento y sitio determinados. El organismo acuático puede clasificarse como superficial (río, lago, laguna) o subterráneo. El muestreo de agua puede clasificarse en diversas categorías: filtrada y acidificada, sin filtrar, conservada para el mercurio y más. (Instituto Nacional de Calidad., 2012)

### **3.3.7. Caudal de Agua:**

Es el volumen de agua que transita por un lugar específico en un curso de agua, como un río, arroyo o canal, durante un lapso de tiempo específico.

Este principio es esencial en hidrología, pues facilita la comprensión de la dinámica de los cuerpos acuáticos y la correcta administración de los recursos de agua. Generalmente, el flujo se cuantifica en metros cúbicos por segundo ( $m^3/s$ ) o litros por segundo ( $l/s$ ). Elementos como la lluvia, la topografía del suelo y la vegetación alrededor afectan las fluctuaciones del caudal. (Instituto Nacional de Calidad., 2012)

## IV. Metodología

### 4.1. Tipo y Nivel de Investigación

#### 4.1.1. Tipo de Investigación

Este estudio es de tipo de investigación aplicada porque se logró resolver un problema práctico específico: diseñar un clarificador. Además, al utilizar el método experimental para observar el comportamiento de la sedimentación bajo distintas condiciones, el trabajo también entra en la categoría de investigación experimental.

#### 4.1.2. Nivel de Investigación

El nivel de investigación es explicativo y busca comprender los principios que rigen la sedimentación, así como determinar cómo ciertas variables influyen en este proceso, con el fin de aplicarlos al diseño de un clarificador.

También es considerado Tecnológico o de Ingeniería: Si el enfoque principal es la aplicación directa del conocimiento del desarrollo optimizando un prototipo de clarificador a nivel de laboratorio. Aquí, el estudio se enfoca en transformar la teoría en un diseño práctico y funcional, que es típico de la investigación en ingeniería o en el desarrollo tecnológico

#### 4.1.3. Diseño de la Investigación

El diseño de la investigación es experimental tal que se inicia con el diseño y construcción de una columna de sedimentación, en primer lugar, se toma de una muestra representativa del agua a tratar, analizando las características de los sólidos suspendidos, luego llenando la columna de sedimentación, marcando intervalos regulares de altura y mezclando bien la muestra. Se inicia la sedimentación y se registran, a intervalos de tiempo, el nivel de caída de los sólidos, observando el frente de sedimentación hasta que la velocidad disminuya o el sistema se estabilice. Con estos datos, se traza la curva de sedimentación, calculando la velocidad en la fase inicial de

caída libre, y se determina el tiempo necesario para alcanzar la clarificación deseada. A partir de aquí, se calcula el área superficial del clarificador usando la velocidad de sedimentación crítica y el caudal de entrada (Q), junto con la profundidad del clarificador, para asegurar el tiempo de retención hidráulico suficiente que permita la remoción de sólidos. Finalmente, se realizan ajustes al diseño basados en pruebas adicionales o condiciones operativas específicas, validando así el clarificador antes de su construcción.

#### **4.2. Ámbito temporal y espacial**

##### **a) Temporal**

El periodo de investigación que se desarrolló es de 6 meses de setiembre del año 2024 a mayo del 2025.

##### **b) Espacial**

Esta investigación se desarrolló en el Laboratorio SLAB el cual cuenta con acreditación del Instituto Nacional de Calidad (INALCAL) con base en la norma NTP-ISO/IEC 17025:2017 Requisitos Generales para la competencia de los Laboratorios de Ensayo y Calibración.

Ubicación Geográfica: Altitud de 3029 m.s.n.m., zona 18L con Coordenadas: Este (678603.20 m) y Norte (8488931.55 m).

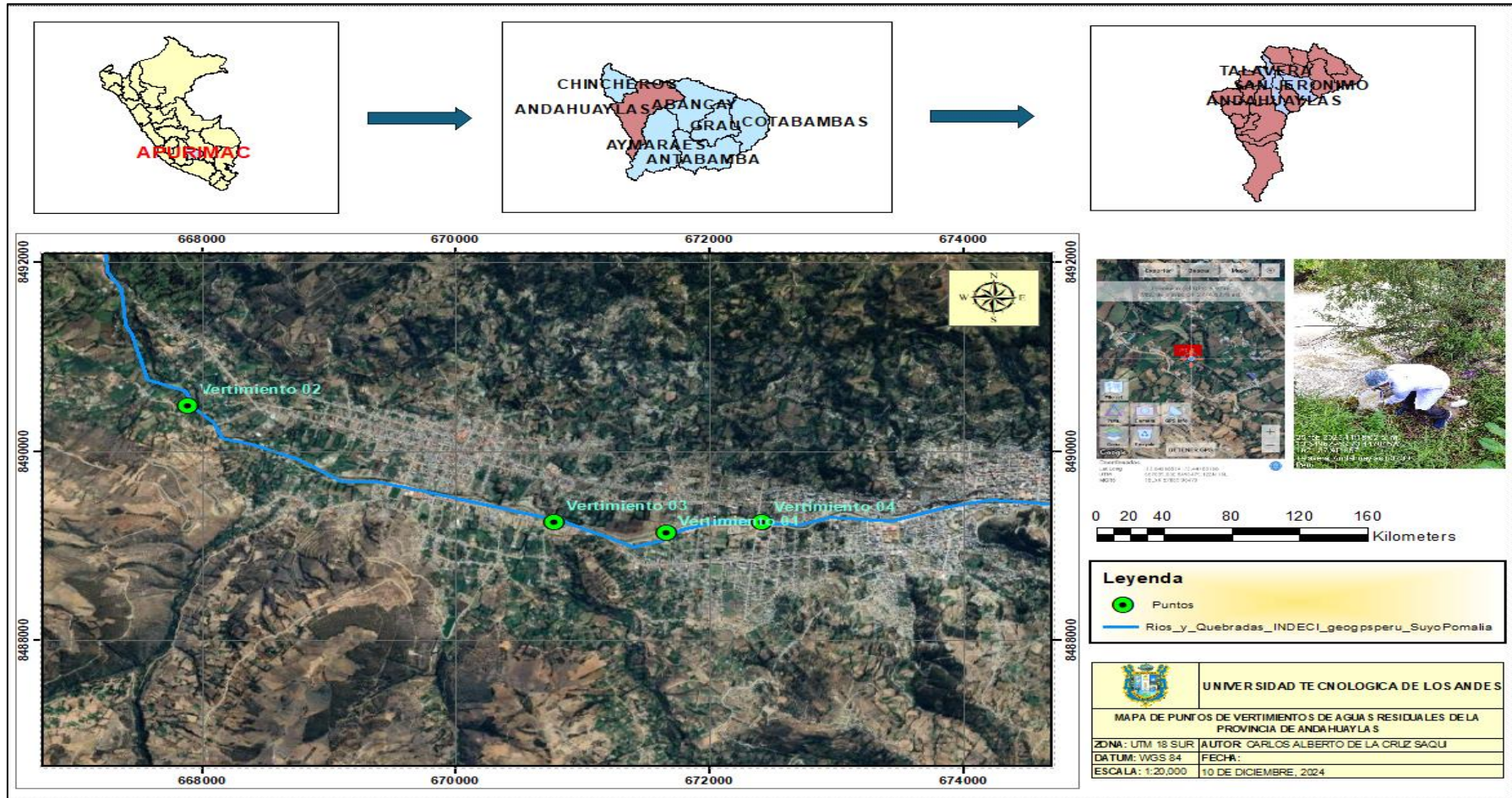
La toma de muestras del efluente de aguas residuales es en el sector de Santa Rosa – Talavera.

Ubicación Geográfica: Coordenadas: Este (667887.00 m) y Norte (8490481.00 m) Altitud de 2782 m.s.n.m.



**Figura 4.**

*Zonas de Vertimiento de Aguas Residuales Municipales.*



**Nota.** En la figura se muestra la ubicación de las zonas de vertimiento de aguas residuales en la provincia de Andahuaylas, elaborado en ArcGIS por elaboración propia.

**Figura 5.**

*Tabla de Atributos de las zonas de vertimientos.*

Table										
Puntos										
FID	Shape *	ID	NOMBRE	X	Y	Z	CODIGO	VERTIMIENTO	ZONA	CAUDAL_L_
0	Point ZM	1	Aguas Residuales	8489260	672428	2835	V-PY-562-2	Vertimiento 01	18	6
2	Point ZM	2	Aguas Residuales	8490481	667887	2783	V-PY-562-4	Vertimiento 02	18	28
1	Point ZM	3	Aguas Residuales	8489134	671662	2821	V-PY-562-5	Vertimiento 03	18	8
3	Point ZM	4	Aguas Residuales	8489257	670780	2852	V-PY-562-3	Vertimiento 04	18	5

**Nota.** En la figura se muestra las coordenadas de las zonas de vertimiento y el caudal de las aguas residuales (MVCS, 2022).

### 4.3. Población y Muestra

#### 4.3.1. Población

Los participantes de este estudio incluyen al conjunto completo de los líquidos cloacales que circulan por el sistema de alcantarillado de la municipalidad distrital de Andahuaylas, San Jerónimo y Talavera. Esta población representa la totalidad de la población que se analizó, en este caso, las características de clarificación de los sólidos suspendidos presentes en el agua residual de la provincia de Andahuaylas. La variabilidad en la composición, con un caudal actual de 47 (l/s) y la concentración de los sólidos de 300 (mg/L) según autor (MVCS, 2022) con variación de proyección a 20 años. Fundamental para garantizar que el diseño del sedimentador sea robusto y eficiente bajo diferentes condiciones operativas.

#### 4.3.2. Muestra

Dado que es imposible analizar la totalidad de la población, se selecciona una muestra representativa 20 Lts. La muestra consiste tomar una porción representativa de agua residual del alcantarillado ubicado en el punto con mayor caudal (vertimiento 02 sector Santa Rosa). Esta muestra refleja las características de la población, la selección

de técnica de muestreo es crucial por lo que se utilizó el “PROTOCOLO NACIONAL PARA EL MONITOREO DE LA CALIDAD DE LOS RECURSOS HÍDRICOS SUPERFICIALES DE ANA” para garantizar que la muestra sea representativa y no haya sesgos a la hora del muestreo.

Se empleó una muestra compuesta que se crea mezclando varias submuestras de igual volumen, recolectadas a intervalos regulares que fueron 30 minutos durante un período de tiempo representativo de 2 horas. Esto nos permite promediar las variaciones en la concentración de sólidos y otras propiedades del agua residual, proporcionando una imagen más precisa de la carga contaminante que el clarificador deberá manejar. El tamaño y la frecuencia de las muestras dependen de la variabilidad del flujo y la composición del agua residual en el área de estudio. Los datos obtenidos a partir de estas muestras, incluyendo el tiempo de retención, el área, el volumen y la velocidad de sedimentación, serán extrapolados para diseñar un clarificador que funcione de manera óptima para toda la población de aguas residuales.

#### **4.3.3. Muestreo**

El proceso de muestreo en este estudio se basa en diseñar un clarificador que sea representativo para las condiciones de tratamiento de aguas residuales municipales de la provincia de Andahuaylas. Para ello, se tomó como referencia un análisis de los caudales y características típicas del agua residual municipal en esta área. Además, se recolectaron 2 muestras de agua residual de 20 Litros del punto de salida Vertimiento 02 del alcantarillado (Vertedero Municipal) en el sector Santa Rosa – Talavera, para identificar la composición promedio de sólidos suspendidos y otras características contaminantes que deben tratarse en el clarificador. De esta forma, el diseño del clarificador se ajusta para ser representativo de las necesidades de tratamiento de las aguas residuales.

Se elaboro el prototipo del diseño del clarificador primario con 3 válvulas en simultaneo con los criterios y especificaciones establecidos según literatura. (Ramalho Sette, 2003)

#### **4.4. Instrumentos**

Se utilizaron diferentes instrumentos para el desarrollo de esta investigación en la cual se describe en 5 etapas:

##### **Etapa 1: Columna de sedimentación.**

Tomando como base la estructuración referida en (Ramalho Sette, 2003). Se procedió a la construcción de la columna de sedimentación constando de los siguientes materiales.

- Tubo pvc de 4" x 2 Mts.
- 03 válvulas de 1/2".
- Soporte a base de fierros de 5/8".

Los detalles de estructura son:

- Altura del tubo 2 Mts.
- Distancia de válvulas 60 Cm.
- Altura del soporte 1.2 Mts.

##### **Etapa 2: Muestreo.**

Se utilizo la Resolución Jefatural N° 010-2016-ANA Protocolo Nacional para el Monitoreo de los Recursos Hídricos Superficiales, donde detalla el procedimiento para la toma de muestras en el punto saliente 02 de efluente en la cual se utilizó lo siguiente:

- Recipiente de 10 litros
- Guantes
- Guardapolvo

- Cadena de custodia
- Tablero
- Lapiceros
- Gps
- Cámara fotográfica
- Soga de seguridad
- Gorro descartable
- Cinta de embalaje
- Botas

### **Etapas 3: Uso de la columna de sedimentación**

Durante la utilización de la columna se utilizaron los siguientes materiales:

- Frascos de 400 ml
- Cronometro
- Cadena de custodia
- Etiquetas rotuladas
- Plumon indeleble
- Guantes

### **Etapas 4: Análisis en laboratorio**

En el análisis de sólidos suspendidos totales en laboratorio se utilizó la guía de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists). Pero la aplicación fue realizada por el laboratorio certificado SLAB Laboratorio de ensayo e investigación.

### **Etapas 5: Procesamiento de datos.**

Una vez obtenido los datos se procedió al análisis e interpretación de datos para lo cual se utilizó lo siguiente:

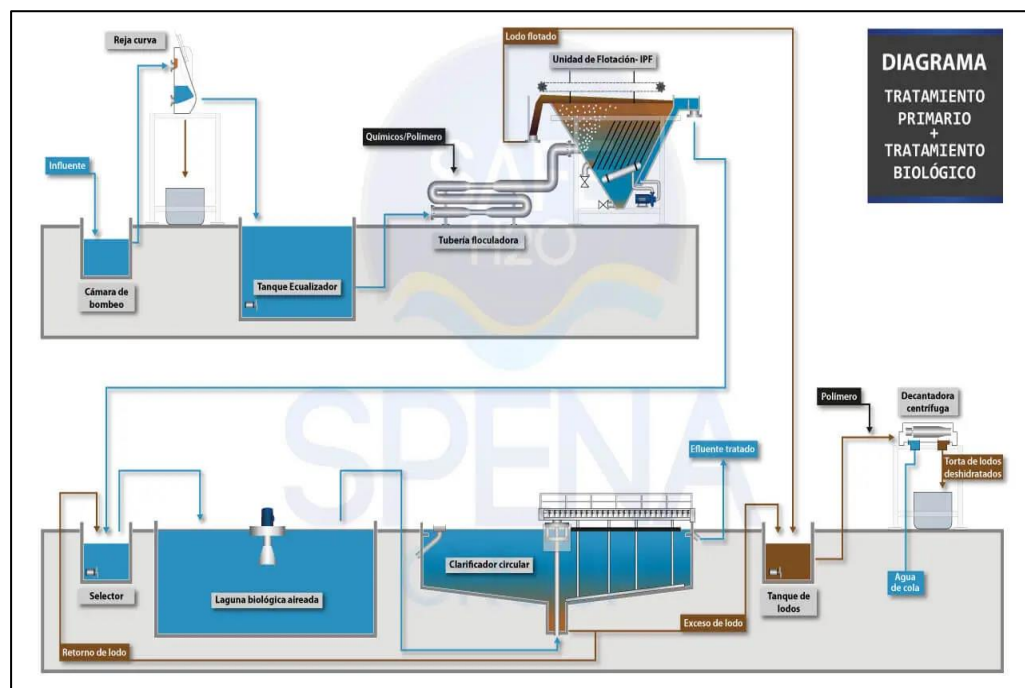
- Laptop

- Excel
- ArcGIS
- AutoCAD

#### 4.5. Procedimiento

**Figura 6**

*Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)*



**Nota.** El diagrama muestra el tratamiento primario y biológico de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

##### 4.5.1. Construcción de la columna de sedimentación.

La columna de sedimentación permite evaluar la eficiencia de procesos de separación sólido-líquido como la sedimentación. Por lo cual es primordial en la realización de esta investigación.

##### **Obtención y preparación de materiales.**

- Tubo Cilíndrico de PVC: se utilizó un tubo PVC de 4" de diámetro y 2 m de altura.

- Base estable: se utilizó una base metálica con un soporte para mantener la columna vertical y evitar inclinaciones o caídas.
- Llave de paso: se utilizó 3 llaves de PVC para extraer muestras cada 60 cm y observar el proceso de sedimentación.

#### ***Construcción de la estructura***

- Preparación del Cilindro: Se lavó y secó el cilindro para eliminar residuos.
- Instalación válvulas: Se perforó un orificio en las zonas de muestreo del cilindro y unió las válvulas.
- Montaje de la Base: Se Fijó el cilindro a la base utilizando abrazaderas o soportes, verificando la verticalidad para evitar errores.
- Marcación del Cilindro: se utilizó una regla graduada para marcar niveles de altura en la superficie del cilindro y puntos de muestreo.
- Prueba de Fugas: se llenó la columna con agua y revisar si hay fugas en las uniones para evitar errores en la muestra y toma de datos.

#### ***4.5.2. Uso de la Columna de Sedimentación***

Primeramente para asegurar la homogeneidad de la muestra se realizó el batido con una paleta en el recipiente de la muestra antes de ingresarlo a la columna y posteriormente con una varilla de madera se realizó el mismo batido en la columna antes de iniciar con el corrido de tiempo para el muestreo cada 10 minutos, Se realizó la toma de muestras en intervalos de cada diez minutos a lo largo de una hora y media en cada punto de muestreo (3 Válvulas) para determinar la concentración de sólidos en las profundidades de 0.6, 1.2 y 1.8 metros. (Ramalho Sette, 2003)

Para los parámetros de sólidos suspendidos se realizaron los procedimientos a temperatura ambiente que fue 15 ° C y al no utilizar ningún floculante el PH es irrelevante para el proceso de sedimentación por ser un parámetro netamente físico sin reacciones químicas de algún tipo ni interacción de algún agente externo que influya en el proceso modificando su proceso.

Los tiempos de muestreo en la columna de sedimentación fueron basados por referencia bibliográfica de (Ramalho Sette, 2003), que en su libro detalla en la toma de muestra delimitado por 10 minutos por puntos de muestreo para SST. Sin establecer un límite en el tiempo. Se optó por 70 minutos por criterio del investigador al notar un límite de remoción de 85 % en ese tiempo y obteniendo un total de 22 muestras que denotaba un incremento en el porcentaje de remoción mínimo para ser considerado.

Se realizaron 2 pruebas piloto en laboratorio de la Universidad Tecnológica los Andes, pero al no tener un personal calificado para la certificación de las muestras solo se tomaron como referencia, se realizó una tercera prueba de muestreo para posteriormente enviarlo a un laboratorio certificado y obtener los resultados certificados.

### **Controles experimentales**

- **PH.** En la presente investigación no se utilizaron floculantes ni aditivos para modificar el proceso de clarificación para tener en cuenta el control de PH.
- **Temperatura.** se realizó la investigación a temperatura ambiente de 15 °C, se debe tener en cuenta las variaciones de temperatura en la construcción del clarificador ya que la temperatura del agua a tratar varía de densidad a mayores temperaturas.
- **Turbidez.** se tomaron muestras representativas al iniciar la prueba en la columna de sedimentación catalogándolo de muestra 0 que representa la cantidad de SST inicial antes de cualquier procedimiento.

### **Análisis de error.**

- **Medición de volumen:** El volumen de las alícuotas extraídas debe ser preciso para calcular la concentración de sólidos. Un error en la medición del volumen por lo que se utilizaron recipientes graduados para evitar los errores en la toma de muestra.
- **Análisis de sólidos suspendidos totales (SST):** El método SMEWW-APHA 2540 D para determinar los SST tiene sus propias fuentes de error, por lo cual se optó

por enviar las muestras a un laboratorio certificado donde se identificó un margen de error en condiciones controladas de laboratorio:  $\pm 5\%$  a  $\pm 10\%$ .

- **Precisión del tiempo de muestreo:** El tiempo de apertura y cierre de las válvulas para tomar las muestras se consiguió ser lo más exacto posible para cada profundidad. Controlando el tiempo de manera precisa mediante cronómetros.

#### **4.5.3. Toma de muestras en el punto de vertimiento.**

Se realiza la descripción respectiva del procedimiento para un muestreo de aguas residuales sin tratamiento siguiendo la norma técnica peruana.

#### **Identificación de puntos de toma de muestra**

Los puntos de toma de muestra, fueron identificados y determinados de forma precisa, lo que permite su ubicación exacta en las muestras. Se empleó el Sistema de Posicionamiento Satelital (GPS) para determinar la localización, y se registró en coordenadas UTM.

#### **Características del punto de muestreo**

- Se autorizó que la muestra sea representativa del flujo;
- Se ubicó en un lugar donde existe una mejor mezcla y al lado del punto de aforo.
- Se garantizó un acceso sencillo y seguro, eludiendo vías que estuvieran cubiertas de fango o que fueran escarpadas, rocosas o tupidas;

#### **Precauciones durante el muestreo**

- Se buscó y adecuó el terreno para evitar deslices y resbalones.
- Después del monitoreo, se realizó el cambio de la vestimenta empleada durante el mismo, con el fin de evitar la contaminación a otras personas.
- Se obtuvo capacitaciones de documentales y bibliografías frente a peligros y riesgos durante la toma de muestras.

## **Toma de muestras de agua residual**

Para realizar una toma de muestras de agua del efluente de acuerdo con las normativas peruanas, nos basamos en la Norma Técnica Peruana NTP 214.060:2016.

### **Tipo de muestra:**

- Se tomó muestras compuestas, recolectadas en un período de 2 horas con lapsos de 30 minutos, para obtener una muestra más representativa de las variaciones en el efluente.

### **Procedimiento de muestreo:**

- Se enjuagó los frascos de muestreo con el agua del efluente antes de la recolección.
- Se recolecto la muestra evitando la introducción de sedimentos o materiales extraños.
- Se llenó los frascos dejando un pequeño espacio para permitir la expansión, si es necesario.

### **Transporte:**

Se realizo el transporte en envases sellados herméticamente para evitar fugas y desbordes.

#### **4.5.4. Análisis en laboratorio:**

En el análisis de laboratorio se realizaron 2 pruebas piloto utilizando la columna de sedimentación haciendo un barrido de 7 muestras tomadas en cada válvula en intervalos de 10 minutos para posteriormente analizarla con instrumentos de la universidad tecnológica los andes y así obtener la cantidad de solidos totales en cada muestra, pero al no contar con un especialista calificado e instrumentos certificados para el proceso, las 2 pruebas se obviaron y solo se tomaron como referencia.

Se realizo un tercer barrido de muestras en el laboratorio de la universidad tecnológica los andes las cuales se empaquetaron y enviaron a un laboratorio certificado

el cual es el SLAB (Ver Anexo IX – Certificado de INACAL del Laboratorio), y así obtener resultados válidos para una investigación. (Ver Anexo XII – Informe de Ensayo Laboratorio SLAB).

El laboratorio SLAB consideró la petición de los investigadores para el análisis de los sólidos totales de las muestras de aguas servidas, para lo cual se utiliza el método de secado de sólidos totales en aguas residuales, según las pautas de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists), implica el secado de una muestra a una temperatura controlada en un horno. El procedimiento general incluye los siguientes pasos:

- **Preparación de la muestra:** Se toma una porción representativa de agua residual y se agita para garantizar una mezcla homogénea.
- **Pesado inicial:** Se pesa un recipiente limpio y seco (generalmente de porcelana, vidrio o acero inoxidable).
- **Adición de la muestra:** Se coloca un volumen conocido de la muestra en el recipiente previamente pesado.
- **Secado:** Se coloca el envase con la muestra en un horno y se seca a una temperatura de 103-105 °C durante al menos 24 horas o hasta alcanzar un peso constante.
- **Enfriamiento y pesado final:** Después del secado, el recipiente se pesa otra vez después de ser enfriado en un desecador para prevenir que absorba humedad.
- **Cálculo de sólidos totales:** La diferencia de peso antes y después del secado corresponde a los sólidos totales presentes en la muestra.

#### 4.6. Análisis de datos

Se tomó como referencia del procedimiento a el libro de "(Ramalho Sette, 2003) – tratamiento de aguas residuales" como guía en el cálculo de los parámetros básicos. Para la determinación de parámetros necesarios para el diseño de un clarificador

primario se utilizó como referencia al “Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento”.

Para la presente investigación se utilizará el procedimiento de la sedimentación con floculación por ser la opción más viable y la que se adapta mejor a nuestro objetivo.

### **Cálculo de SS en puntos de muestreo**

Se realizó la toma de muestras en intervalos de cada diez minutos durante un período de una hora y media en cada punto de muestreo para determinar la concentración de sólidos en las profundidades indicadas, luego procediendo a plasmarla en una tabla (Ver Anexo XVII - Gráficos).

## Cálculo de la fracción de sólidos en suspensión

### a) Cálculo de SS en puntos de muestreo

Se realizará la toma de muestras en segmentos de diez minutos a lo largo de una hora y media en cada punto de muestreo para determinar la concentración de sólidos en las profundidades indicadas, luego procediendo a plasmarla en la siguiente tabla:

**Tabla 1.**

*Concentraciones de SS*

<b>Concentraciones de SS a las profundidades indicadas (mg/l)</b>			
Tiempo (min)	0.6 m (Valv.1)	1.2 m (Valv.2)	1.8 m (Valv.3)
10	465	585	732
20	264	300	316
30	180	178	212
40	170	164	168
50	110	142	148
60	100	140	146
70	98	132	136

**Nota.** La siguiente tabla muestra los datos obtenidos mediante la columna de sedimentación.

### b) Cálculo de la fracción de sólidos en suspensión

Se debe determinar la fracción de sólidos en suspensión expresado en porcentaje y luego representarlo en una tabla para su procesamiento.

**Ecuación 1:** *Fracción de sólidos:*

$$X = SS/SS_0$$

**Ecuación 2:** Fracción de sólidos expresado en %

$$Y = SS/SS_0 \times 100$$

**Ecuación 3:** fracción de sólidos separada.

$$1 - X$$

**Ecuación 4:** fracción de sólidos separada expresado en %

$$Z = 100 - Y$$

**Tabla 2.**

*Fracción de sólidos separados a 0.6 m*

---

**Cálculo de la fracción de sólidos que quedan y separados a una profundidad de 0.6 metros**

---

Tiempo (min)	SS que quedan (mg/l)	Sólidos que quedan (%) $Y = SS / SS_0 \times 100$	Sólidos separados (%) $Z = 100 - Y$
10	465	52.54	47.5
20	264	29.83	70.2
30	180	20.34	79.7
40	170	19.21	80.8
50	110	12.43	87.6
60	100	11.30	88.7
70	98	11.07	88.9

---

**Nota.** La siguiente tabla muestra los datos a ser recopilados mediante la recolección de SS.

**Tabla 3.***Fracción de sólidos separados a 1.2 metros*

<b>Cálculo de la fracción de sólidos que quedan y separados a una profundidad de 1.2 metros</b>			
Tiempo (min)	SS que quedan (mg/l)	Sólidos que quedan (%) $Y = \frac{SS}{SS_0} \times 100$	Sólidos separados (%) $Z = 100 - Y$
10	585	66.10	33.9
20	300	33.90	66.1
30	178	20.11	79.9
40	164	18.53	81.5
50	142	16.05	84.0
60	140	15.82	84.2
70	132	14.92	85.1

**Nota.** La siguiente tabla mostrara la interacción de los SS mediante los cálculos asignados.

**Tabla 4.***Fracción de sólidos separados a 1.8 metros.*

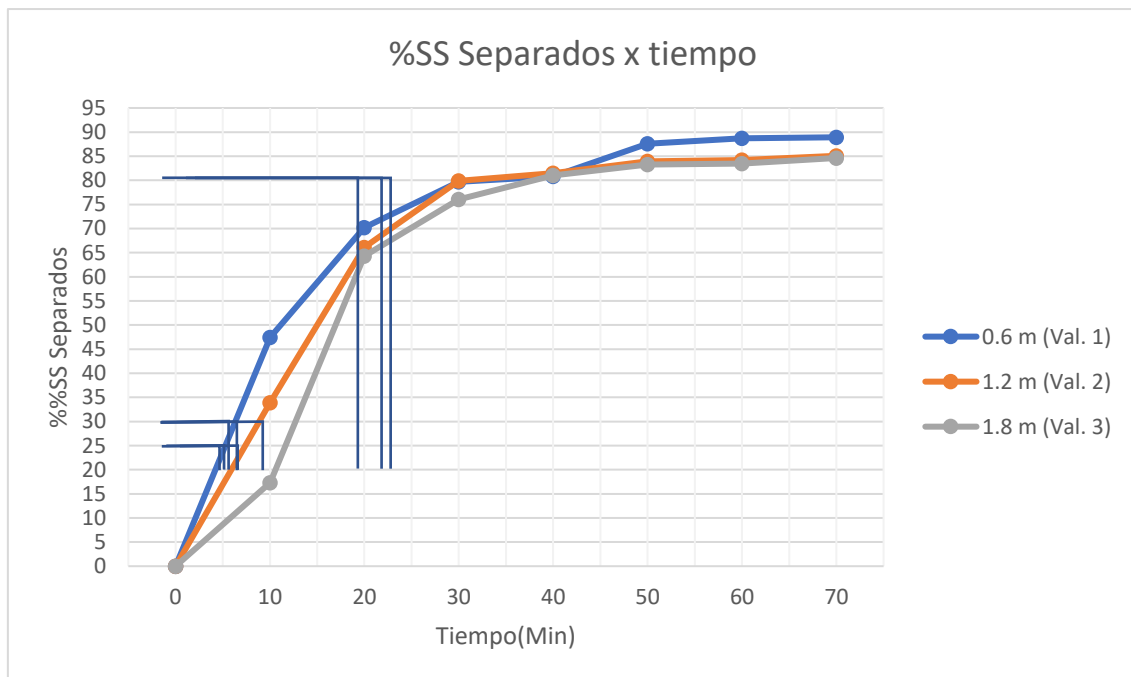
<b>Cálculo de la fracción de sólidos que quedan y separados a una profundidad de 1.8 metros</b>			
Tiempo (min)	SS que quedan (mg/l)	Sólidos que quedan (%) $Y = \frac{SS}{SS_0} \times 100$	Sólidos separados (%) $Z = 100 - Y$
10	732	82.71	17.3
20	316	35.71	64.3
30	212	23.95	76.0
40	168	18.98	81.0
50	148	16.72	83.3

60	146	16.50	83.5
70	136	15.37	84.6

**Nota.** La tabla representara la fracción de SS separados en relación al tiempo.

**Figura 7.**

*Porcentaje de solidos separados por tiempo*



**Nota.** En el Grafico se visualizará el comportamiento de la curva con relación de SS/t.

Mediante la gráfica mostrada se procede a determinar la lectura del tiempo de sedimentación por cada porcentaje de SS separados como detalla las líneas de 5%, 10% y 60%. Para lo cual se amplifico la gráfica en Excel manteniendo un margen de 0.5 en cada eje.

c) Lectura del tiempo de sedimentación por cada porcentaje de SS separados.

**Tabla 5.**

Porcentaje de SS separados en puntos de salida

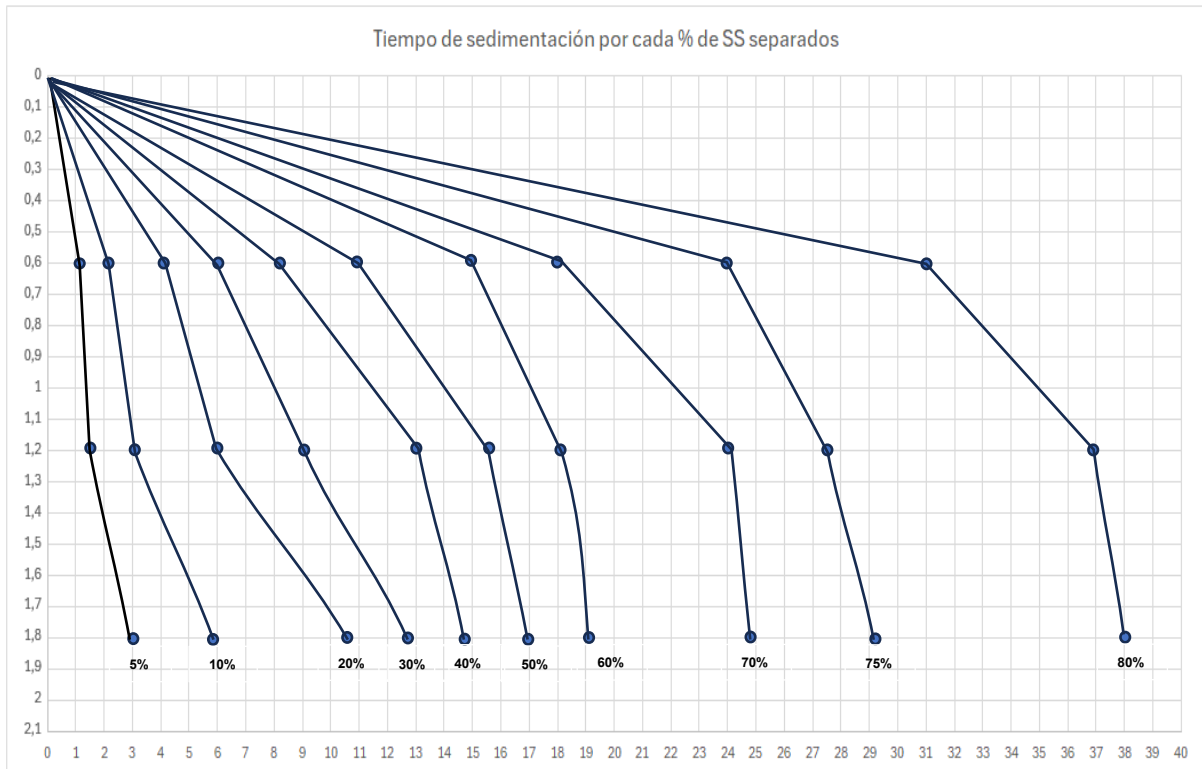
<b>Tiempo (m) de sedimentación por cada % SS separados</b>			
<b>%SS removidos</b>	<b>0.6 m Val. 1</b>	<b>1.2 m Val. 2</b>	<b>1.8 m Val. 3</b>
5	1.05	1.5	2.9
10	2.1	2.95	5.8
20	4.2	5.9	10.6
30	6.3	8.85	12.7
40	8.41	11.9	14.81
50	11.1	15	16.95
60	15.5	18.1	19.1
70	19.9	22.8	24.8
75	25.1	26.5	29.2
80	32.2	30.1	38
85	46.3	-	-
88	53.2	-	-

**Nota.** La tabla mostrara la Lectura de tiempos del grafico 1 en % SS removidos.

d) **Construcción de la gráfica de isolíneas en base a la tabla anterior. Los números de cada curva corresponderán a los porcentajes de SS separados.**

**Figura 8.**

*Isolíneas de sedimentación*



**Nota.** El Grafico Representara el comportamiento de la curva en relación de la profundidad y el tiempo.

Mediante la ampliación el Excel se amplifico los datos en los ejes de la gráfica para mayor precisión manteniendo un margen en los datos de cada eje de 0.2, posteriormente para tabular la velocidad de sedimentación a profundidad efectiva.

e) **Construcción de tabla de la velocidad de sedimentación a profundidad efectiva**

**Tabla 6.**

*Velocidad de sedimentación a profundidad efectiva*

velocidad de sedimentación para h 1.8		
	m	
%SS removidos	t min	Vs =H/t (m/h)
5	2.9	37.24
10	5.8	18.62
20	10.6	10.19
30	12.7	8.50
40	14.81	7.29
50	16.95	6.37
60	19.1	5.65
70	24.8	4.35
75	29.2	3.70
80	38	2.84

**Nota.** La Tabla demostrará la eficiencia del %SS removidos a profundidad efectiva.

f) **Construcción de la tabla de SS separados en %, en función del tiempo de retención o residencia promedio.**

Se utilizará la siguiente formula expresada la fuente Ramallo:

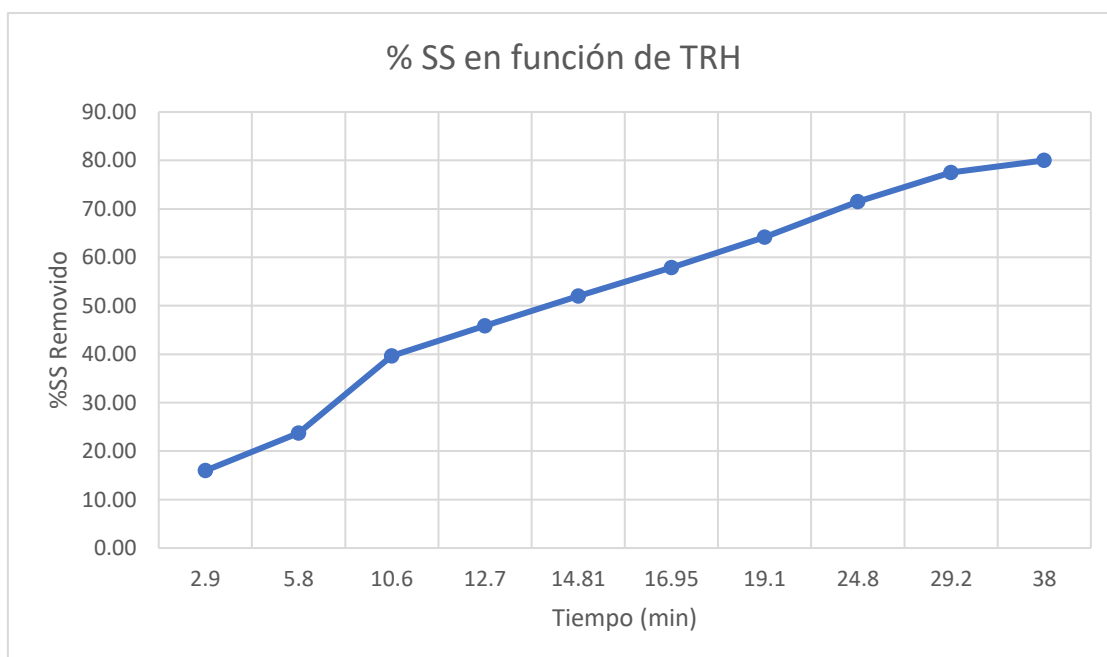
**Ecuación 5:** Separación toral (%)

$$ST = (1 - X) + \left(\frac{h_1}{H}\right) \cdot 10\% + \dots + \left(\frac{h_n}{H}\right) \cdot 10\%$$

**Tabla 7.***Porcentaje de SS separados en función al TRH*

Tiempo	%SS separado
2.9	15.97
5.8	23.72
10.6	39.67
12.7	45.89
14.81	52.00
16.95	57.89
19.1	64.17
24.8	71.50
29.2	77.50
38	80.00

**Nota.** La Tabla dará a conocer el % de SS separados en Función al tiempo.

**Figura 9.***Porcentaje de SS en función de TRH*

**Nota.** En el grafico se visualizará la curva de %SS removidos en relación al tiempo.

**g) Cálculo de % SS en función del factor de carga para la altura efectiva mediante la siguiente formula**

**Ecuación 6: Factor de carga**

$$Fc = V_s \times 24$$

**Tabla 8.**

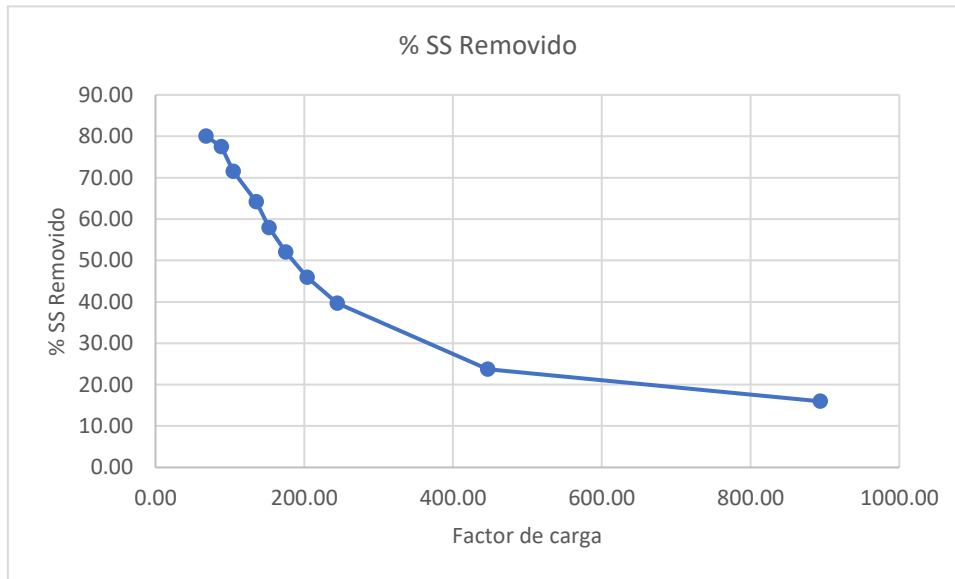
Porcentaje SS en función del factor de carga

<b>T(min)</b>	<b>Vs(m/h)</b>	<b>Factor de carga (<math>m^3/m^2/dia</math>)</b>	<b>%SS removidos</b>
2.9	37.24	893.79	15.97
5.8	18.62	446.90	23.72
10.6	10.19	244.53	39.67
12.7	8.50	204.09	45.89
14.81	7.29	175.02	52.00
16.95	6.37	152.92	57.89
19.1	5.65	135.71	64.17
24.8	4.35	104.52	71.50
29.2	3.70	88.77	77.50
38	2.84	68.21	80.00

**Nota.** En la Tabla se realizará el cálculo de %SS removidos.

**Figura 10.**

*Separación de SS, en función de la carga superficial*



**Nota.** En el presente Grafico se observará la curva de %SS separados en relación a la Carga Superficial.

**h) Tabulación de porcentaje de partículas con velocidad inferior en función de la velocidad de sedimentación para 50 % de remoción optimo.**

**Tabla 9.**

*Porcentaje de partículas con velocidad inferior*

**Porcentaje de partículas con Velocidad Inferior en función a la Velocidad de Sedimentación para el tiempo promedio**

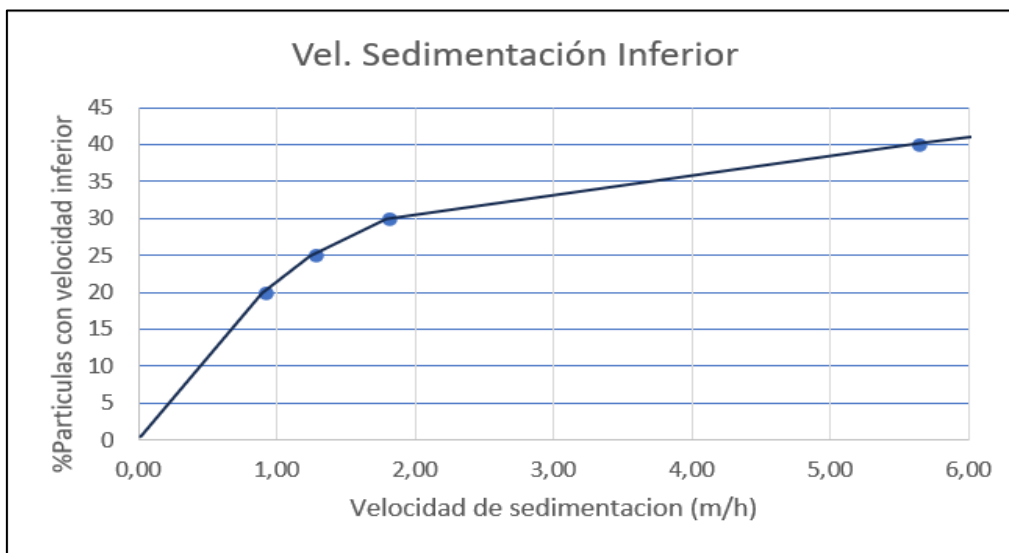
% Solidos separados	% Partículas con Velocidad inferior a Vs	(m)	Vel. Sedimentación Inferior $V1=Vs(h/H)$
50	50	1.8	6.37
60	40	1.35	4.78
70	30	0.81	2.87
75	25	0.41	1.45
80	20	0.23	0.81

**Nota.** La tabla mostrará el Porcentaje de partículas con Vi en función a la Vs y el Tiempo.

De la tabla anterior se grafica % de partículas con velocidades menores a  $V_s$  contra la columna de sedimentación.

**Figura 11.**

*Porcentaje de partículas con  $V_s$  Inferior a 50% remoción*



**Nota.** El gráfico determinará el % de partículas con Velocidad Inferior.

*i) Tabulación de porcentaje de partículas con velocidad inferior en función de la velocidad de sedimentación para 60 % de remoción óptimo.*

**Tabla 10.**

*Porcentaje de partículas con velocidad inferior*

**Porcentaje de partículas con Velocidad Inferior en función a la Velocidad de Sedimentación para el tiempo promedio**

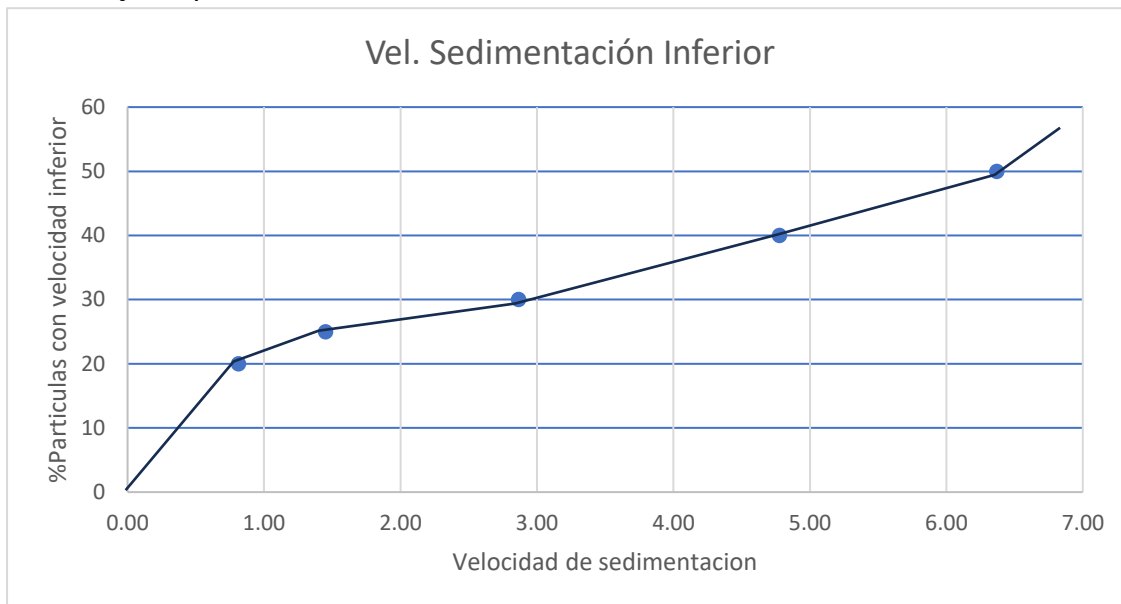
% Sólidos separados	% Partículas con Velocidad inferior a $V_s$	h (m)	Vel. Sedimentación Inferior $V_1=V_s(h/H)$
60	40	1.8	5.65
70	30	0.58	1.82
75	25	0.41	1.29
80	20	0.29	0.91

**Nota.** La tabla mostrará el Porcentaje de partículas con  $V_i$  en función a la  $V_s$  y el Tiempo.

De la tabla anterior se grafica % de partículas con velocidades menores a  $V_s$  contra la columna de sedimentación.

**Figura 12.**

*Porcentaje de partículas con  $V_s$  Inferior a 60% remoción*



**Nota.** El gráfico determinará el % de partículas con Velocidad Inferior.

**j) Tabulación de porcentaje de partículas con velocidad inferior en función de la velocidad de sedimentación para 70 % de remoción óptimo.**

**Tabla 11.**

*Porcentaje de partículas con velocidad inferior*

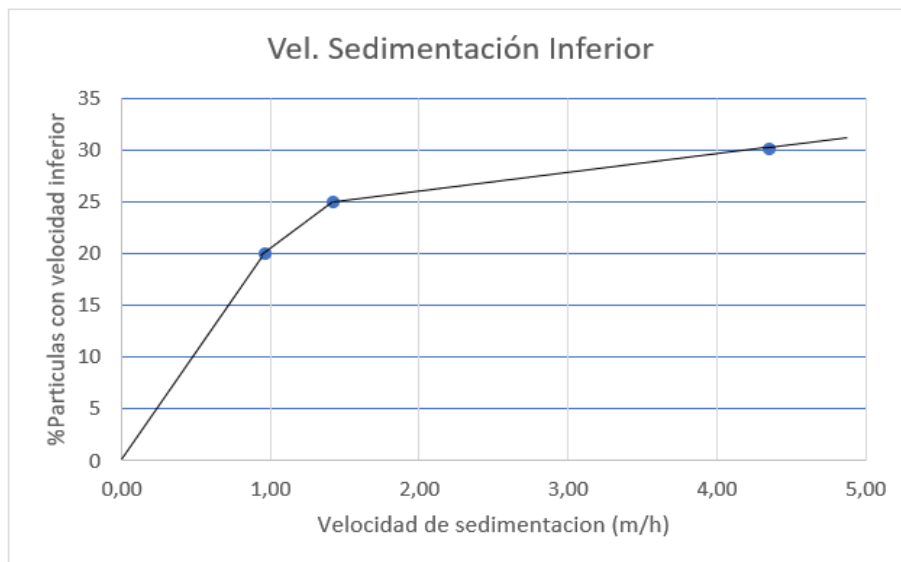
Porcentaje de partículas con Velocidad Inferior en función a la Velocidad de Sedimentación para el tiempo promedio			
% Sólidos separados	% Partículas con Velocidad inferior a $V_s$	h (m)	Vel. Sedimentación Inferior $V_1=V_s(h/H)$
70	30	1.8	4.35
		0.5	
75	25	9	1.43
80	20	0.4	0.97

**Nota.** La tabla mostrará el Porcentaje de partículas con  $V_i$  en función a la  $V_s$  y el Tiempo.

De la tabla anterior se grafica % de partículas con velocidades menores a  $V_s$  contra la columna de sedimentación.

**Figura 13.**

*Porcentaje de partículas con  $V_s$  Inferior a 70% remoción*



**Nota.** El gráfico determinará el % de partículas con Velocidad Inferior.

Se determinó la fracción de sólidos en suspensión expresado en porcentaje en las válvulas 1,2 y 3 para luego representarlo en la tabla 26 para su procesamiento (Anexo XX – Cálculo de Factores de Diseño para un 70% de Eficiencia en Remoción).

Las ecuaciones utilizadas fueron:

#### **4.6.1. Determinación del caudal de diseño**

En esta investigación, el caudal es un elemento indispensable, ya que influye directamente en la capacidad y el dimensionamiento del clarificador. Sin embargo, dado que la población de la ciudad continúa en crecimiento, es necesario determinar el caudal futuro considerando el consumo por habitante proyectado a 20 años.

#### **4.6.2. Cálculo de población futura**

Con los datos establecidos en los censos del 2007 y 2017 por el INEI se estimará la población futura a 20 años en el área urbana de Andahuaylas, San Jerónimo y

Talavera, según (Torres-Dregó, 2011) se planteó la utilización de las siguientes metodologías.

El método aritmético es para poblaciones con aumento constantes en cada unidad de tiempo, es decir el incremento poblacional es igual cada año sin variación por lo cual no es apto para la presente investigación.

El método exponencial es para poblaciones con crecimiento masivo exponencial sin pausas o limites lo que es útil para poblaciones de bacterias y enfermedades, pero no para la población de la presente investigación.

Para el cálculo de la población se utilizará el método geométrico por ser el método que más se adecua para poblaciones con crecimiento proporcional a la población existente.

### **Método geométrico**

El método geométrico establece 2 ecuaciones para determinar la población futura utilizando los datos de los censos 2007 y 2017 por el INEI.

#### **Datos:**

- Población censo 2017 = 69220
- Población censo 2007 = 52769
- $r$  = tasa de crecimiento geométrico

#### ***Ecuación 7: Tasa de crecimiento geométrico.***

$$r = \left[ \frac{\text{poblacion censo 2017}}{\text{poblacion censo 2007}} \right]^{\frac{1}{2017-2007}} - 1$$

$$r = \left[ \frac{69220}{52769} \right]^{\frac{1}{2017-2007}} - 1$$

$$r = 0.03$$

**Ecuación 8: Población futura método geométrico.**

$$poblacion_{2045} = poblacion_{censo\ 2017} \times (1 + r)^{2045-2017}$$

$$poblacion_{2045} = 69220 \times (1 + 0.03)^{2045-2017}$$

$$poblacion_{2045} = 147986$$

**Cálculo de caudal dotado por habitante**

Para el cálculo del caudal dotado por habitante se realizó una encuesta elaborada a un grupo de personas, estimando el agua utilizada en promedio por persona en el día.

**Tamaño de personas a encuestar.****Ecuación 9: Tamaño de personas a encuestar**

$$n = \frac{N \times Z_{\alpha}^2 \times p \times q}{e^2 \times (N - 1) + Z_{\alpha}^2 \times p \times q}$$

Datos:

- n = Tamaño de muestra buscado
- N: tamaño de población total = 147986
- Z: Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (NC) = 1.645
- e: Error de estimación máximo aceptado = 0.099
- p: Probabilidad de que ocurra el evento estudiado (éxito) = 0.5
- q: (1 – p) = Probabilidad de que no ocurra el evento estudiado = 0.5

$$n = \frac{147986 \times 1,645^2 \times 0.5 \times 0.5}{0.99^2 \times (147986 - 1) + 1,645^2 \times 0.5 \times 0.5}$$

$$n = 69 \text{ encuestas}$$

### Caudal por persona

Para el cálculo del caudal poblacional se utilizó preguntas específicas para determinar la cantidad de agua que consume una persona en el día.

El caudal del glifo domestico es (5 L/Min)

**Pregunta 1:** ¿Cuánto tiempo dejas fluir el agua en promedio al tomar una ducha?

Promedio de 10.13 min

Caudal determinado por persona

$$10.13 \text{ Min} \times 5 \text{ L/Min} = 50.65 \text{ L/dia}$$

**Pregunta 2:** ¿Cuántas veces al día utilizas la ducha?

Promedio de 1.19 veces al día

$$1.188405797 \times 50.6521739 = 60.19 \text{ L/dia}$$

$$\text{caudal de consumo 1} = 60.19 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 3:** ¿Cuántas veces al día utilizas el inodoro?

Promedio de 3.16 veces.

El promedio de litros del tanque es de 6 L

$$3.16 \times 6 \text{ L} = 18.96 \text{ L/Dia}$$

$$\text{Caudal de consumo 2} = 18.96 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 4:** ¿Cuánto tiempo dejas abierto el grifo de agua por día? (Sumando para lavarte las manos, la cara, cepillarte los dientes o afeitarte)

Promedio de 8.29 Min

$$8.289855072 \text{ Min} \times 5 \text{ L/Min} = 41.45 \text{ L/Dia}$$

$$\text{Caudal de consumo 3} = 41.45 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 5:** ¿Cuánto tiempo dejas abierto el grifo de agua por día? (Sumado al lavar utensilios)

Promedio de 11.81

$$11.8115942 \text{ Min} \times 5 \text{ L/Min} = 59.06 \text{ L/Dia}$$

$$\text{Caudal de consumo 4} = 59.06 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 6:** ¿Cuánto tiempo dejas abierto el grifo de agua por día? (Sumado al lavar frutas y alimentos)

Promedio de 6.25

$$7.16 \text{ Min/Dia} \times 5 \text{ L/Min} = 31.23 \text{ L/Dia}$$

$$\text{Caudal de consumo 5} = 31.23 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 7:** ¿Cuántos minutos dejas fluir el agua a la hora de lavar un vehículo?

Promedio de 14.83

$$14.82758621 \text{ Min/semana} \times 5 \text{ L/Min} = 74.14 \text{ L/Semana}$$

$$\text{Caudal de consumo 6} = 10.59 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 8:** ¿Cuántos litros de agua consumes cada día en tu casa para beber?

Promedio de 2.46

$$\text{Caudal de consumo 7} = 2.46 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 9:** ¿Cuántos litros de agua se consumen cada día en su casa para cocinar?

Promedio de 8.65

$$\text{Caudal de consumo 8} = 8.65 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 10:** ¿Cuántos litros de agua utilizas al lavar la ropa?

Promedio de 27.61 L/ Semana

**Pregunta 11:** ¿Cuantas veces a la semana lavas la ropa?

Promedio de 1.38 veces

$$1.38 \times 27.61 = 38.01 \text{ L/Semana}$$

$$\text{Caudal de consumo 9} = 5.43 \text{ L/Dia}$$

**Pregunta 12:** ¿Cuántos litros de agua utiliza en la limpieza de su hogar?

Promedio de 12.25

$$\text{Caudal de consumo 10} = 12.25 \text{ L/Dia}$$

**Caudal de dotación por persona:**

**Ecuación 4:** Caudal de dotación de por persona.

$$Q_p = \sum \text{caudales de encuesta}$$

$$Q_p = 60.19 + 18.96 + 41.45 + 59.06 + 31.23 + 10.59 + 2.46 + 5.43 + 12.25$$

$$Q_p = 241.62 \text{ L/Dia}$$

**Ecuación 5:** Caudal de dotación de agua por persona (L/s)

$$Q_p = \frac{\text{poblacion}_{2045} \times C}{86400}$$

$$Q_p = \frac{147986 \times 241.62}{86400}$$

$$Q_p = 413.85 \text{ L/Seg}$$

**Ecuación 6:** Caudal de alcantarillado por persona

$$Q_d = \frac{C_R \times Q_p}{86400}$$

**Donde:**

$C_R$ : Coeficiente de retorno (0.85): es el porcentaje de agua que retorna a la alcantarilla después de su uso generalmente es el 85% como aguas servidas.

$Q_p$ : Caudal por persona

$Q_d$ : Caudal de diseño

$$Q_d = 0.85 \times 413.85 \text{ L/Seg}$$

$$Q_d = 351.77 \text{ L/Seg}$$

#### **4.6.2.1. Diseño de clarificador**

Una vez obtenido los parámetros fundamentales se procede al diseño del clarificador. El diseño dependerá de los datos obtenidos ya que influyen directamente en la estructura. Se identificaron los datos referenciales del autor de Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario usado como parte del proceso (Ruiz Cortines, 2007)

Las ecuaciones tentativas en el diseño serían las siguientes: (estas varían dependiendo si el clarificador es circular o rectangular y afectando la estructura de

entrada y salida de fluidos y eliminación de lodos por lo cual se optó por el diseño del sedimentador rectangular.

**Cálculo de factores de diseño para un 50% de eficiencia en remoción (a):**

**Ecuación 10:** Área del sedimentador

$$A = \frac{Q_d}{CS}$$

**Donde:**

**$Q_d$ :** Caudal de diseño

**$CS$ :** Carga superficial

$$A = \frac{351.77 \text{ L/Seg}}{6.37 \text{ m/h}}$$

$$A = \frac{351.77 \times 0.001 \text{ m}^3/\text{seg}}{6.37 / 3600 \text{ m/seg}}$$

$$A = 198.8 \text{ m}^2$$

**Ecuación 11:** Volumen del sedimentador

$$V = Q_d \times TRH$$

**$TRH$ :** tiempo de retención hidráulica

$$V = 0.35177 \text{ m}^3/\text{seg} \times 16.95 \text{ min}$$

$$V = 0.35177 \text{ m}^3/\text{seg} \times 12.7 \times 60 \text{ Seg}$$

$$V = 357.75 \text{ m}^3$$

**Determinación de la profundidad (H):****Ecuación 12: Profundidad del sedimentador**

$$H = \frac{357.75}{198.8}$$

$$H = 1.80 \text{ m}$$

Las ecuaciones utilizadas para el diseño son las siguientes:

Determinación del área superficial (A):

**Ecuación 13: Área del sedimentador**

$$A = \frac{Q_d}{CS}$$

Donde:

**$Q_d$ : Caudal de diseño**

**$CS$ : Carga superficial**

Cálculo del volumen del sedimentador (V):

**Ecuación 14: Volumen del sedimentador**

$$V = Q_d \times TRH$$

**$TRH$ : tiempo de retención hidráulica**

Según autor (MVCS, 2009). el tiempo de referencia de retención hidráulica varia desde 1,5 a 2,5 horas.

**Determinación de la profundidad (H):****Ecuación 15: Profundidad del sedimentador**

$$H = \frac{V}{A}$$

**Cálculo de factores de diseño para un 60% de eficacia en remoción:**

**Ecuación 16: Área del sedimentador**

$$A = \frac{Q_d}{CS}$$

**Donde:**

**$Q_d$ : Caudal de diseño**

**$CS$ : Carga superficial**

$$A = \frac{351.77 \text{ L/Seg}}{5.65 \text{ m/h}}$$

$$A = \frac{351.77 \times 0.001 \text{ m}^3/\text{seg}}{5.65/3600 \text{ m/seg}}$$

$$A = 224.1 \text{ m}^2$$

**Determinación del Volumen (V):**

**Ecuación 17: Volumen del sedimentador**

$$V = Q_d \times TRH$$

**$TRH$ : tiempo de retención hidráulica**

$$V = 0.35177 \text{ m}^3/\text{seg} \times 19.1 \text{ min}$$

$$V = 0.35177 \text{ m}^3/\text{seg} \times 19.1 \times 60 \text{ Seg}$$

$$V = 403.13 \text{ m}^3$$

**Determinación de la profundidad (H):**

*Ecuación 18: Profundidad del sedimentador*

$$H = \frac{403.13 \text{ m}^3}{224.1 \text{ m}^2}$$

$$H = 1.80 \text{ m}$$

**Cálculo de factores de diseño para un 70% de eficacia en remoción:**

*Ecuación 192: Área del sedimentador*

$$A = \frac{Q_d}{CS}$$

**Donde:**

*Q<sub>d</sub>: Caudal de diseño*

$$Q_d = 351.77 \text{ L/Seg}$$

*CS: Carga superficial*

$$A = \frac{351.77 \text{ L/Seg}}{4.35 \text{ m/h}}$$

$$A = \frac{351.77 \times 0.001 \text{ m}^3/\text{seg}}{0.00121 \text{ m/seg}}$$

$$A = 290.72 \text{ m}^2$$

**Determinación del Volumen (V):**

*Ecuación 203: Volumen del sedimentador*

$$V = Q_d \times TRH$$

***TRH: tiempo de retencion hidraulica***

$$V = 0.35m^3/seg \times 24.8 \text{ min}$$

$$V = 00.35 m^3/seg \times 24.8 \times 60 \text{ Seg}$$

$$V = 523.44 m^3$$

**Determinación de la profundidad (H):**

***Ecuación 214: Profundidad del sedimentador***

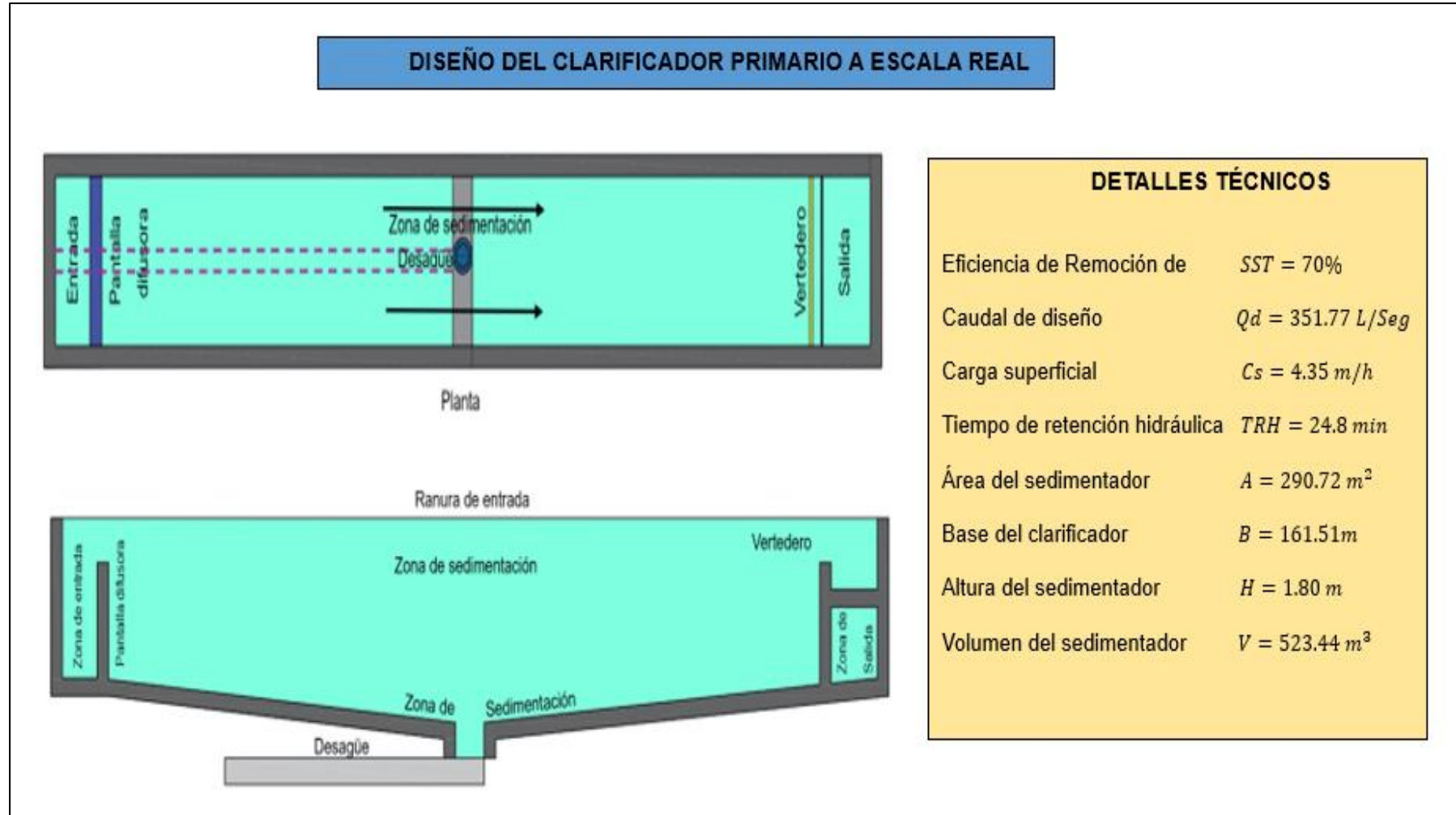
$$H = \frac{523.44 m^3}{290.72 m^2}$$

$$H = 1.80 m$$



Figura 14.

Diseño del Clarificador Primario Rectangular a Escala Real



**Nota.** La figura muestra el diseño de un sedimentador en escala real con una población proyectada de 20 años.

#### **4.7. Consideraciones éticas**

La investigación respeta los lineamientos establecidos para su elaboración respecto a su redacción con la normativa American Psychological Association (APA) vigente aprobado por la Universidad Tecnológica de los Andes.

Los reglamentos y decretos supremos del agua se tomaron en cuenta como los Límites Máximos Permisibles y demás reglamentos vigentes para el diseño del clarificador en el tratamiento de aguas residuales.

Respecto a los actores involucrados participaron de manera voluntaria en la ejecución de la presente investigación no se vulneró ni atentó su bienestar muy por el contrario se tuvo el consentimiento para la ejecución en todo momento del desarrollo de las actividades.

## V. Resultados y Discusión

### 5.1. Resultados

#### 5.1.1. Resultados de factores de diseño

Una vez procesados los datos de la tabla anterior se obtuvo de resultado los principales factores en el diseño de un clarificador dando resultado a las siguientes tablas para diferentes niveles de eficacia, según Metcalf&Eddy el nivel óptimo para el funcionamiento de un clarificador es del 50% al 70%.

**Tabla 12.**

*Datos del diseño del clarificador con 50% de remoción.*

<b>Factor</b>	<b>Resultado</b>
Carga superficial	<b>6.37 m/h</b>
Tiempo de retención hidráulica	<b>16.95 min</b>
Área del sedimentador	<b><math>A = 198.8 \text{ m}^2</math></b>
Altura del sedimentador	<b><math>H = 1.80 \text{ m}</math></b>
Volumen del sedimentador	<b><math>V = 357.77 \text{ m}^3</math></b>

**Nota.** La tabla representa los datos necesarios para el diseño de un clarificador.

**Tabla 13.**

*Datos del diseño de un clarificador con 60% de remoción*

<b>Factor</b>	<b>Resultado</b>
Carga superficial	<b>5.65 m/h</b>
Tiempo de retención hidráulica	<b>19.1 min</b>
Área del sedimentador	<b><math>A = 224.14 \text{ m}^2</math></b>
Altura del sedimentador	<b><math>H = 1.80 \text{ m}</math></b>
Volumen del sedimentador	<b><math>V = 403.13 \text{ m}^3</math></b>

**Nota.** La tabla representa los datos necesarios para el diseño de un clarificador.

**Tabla 14.***Datos del diseño de un clarificador con 70% de remoción*

<b>Factor</b>	<b>Resultado</b>
Carga superficial	<b>4.35 m/h</b>
Tiempo de retención hidráulica	<b>24.8 min</b>
Área del sedimentador	<b><math>A = 290.72 \text{ m}^2</math></b>
Altura del sedimentador	<b><math>H = 1.80 \text{ m}</math></b>
Volumen del sedimentador	<b><math>V = 523.44 \text{ m}^3</math></b>

**Nota.** La tabla representa los datos necesarios para el diseño de un clarificador.

## 5.2. *Discusión de Resultados*

(Guerrero Pillasagua & Álvarez Álvarez, 2021) determino que un decantador circular es ideal con las especificaciones de una altura de 3,25 m y un diámetro de 22,13 m; además de una trampa de lodo con dimensiones de 2 metros en ancho por 0,30 en alto. También menciona que el caudal que pasa a la planta de tratamiento de aguas cloacales debe ser de 23995,76 m<sup>3</sup>/día. Por otro lado, Indica que el caudal del diseño del decantador primario será capaz de eliminar el 60% de los sólidos suspendidos y el 30% de las demandas químicas de oxígeno, cumpliendo así con la normativa establecida. Su volumen será de 1985,70 m<sup>3</sup>/h. Según la investigación usando los cálculos mencionados en su investigación corresponde al que fue usado en nuestra investigación que se obtuvo al 70% de remoción de sólidos suspendidos siendo viable el diseño del clarificador con las medidas establecidas para su construcción.

Por su lado, (Guillín Medina & Contreras Ortega, 2018) Precisa que elaborar y edificar un sedimentador rectangular a escala piloto de 4 tomas en diferentes partes se obtiene las concentraciones de muestra que se ajustan a los límites del diseño de 20 y 25 g/l las mismas que tienen un tiempo de retención igual a 1 y 1.75 horas respectivamente. Se optó por el lodo seco pulverizado de la muestra número 4, con una concentración de 20 g/l, para diseñar el sedimentador, ya que satisfacía todos los criterios de diseño. Cumpliéndose con los criterios seleccionados según la investigación el cual se proyectó un clarificador rectangular para el diseño primario con el área, volumen, altura y velocidad de sedimentación propuestos proyectado con una población futura en 20 años siendo la más efectiva para la remoción de sólidos suspendidos.

## VI. Conclusiones

Se concluye que el diseño del clarificador con la altura de 2 m y proyección de las válvulas de 0.60 m fue eficaz para la remoción de sólidos suspendidos totales, ya que mediante el proceso de tratamiento de las muestras obtenidas en las válvulas 1, 2 y 3 cada 10 min por un periodo de 70 min corresponde con el proceso de sedimentación.

El caudal calculado de 351.77 L/Seg proyectado en 20 años se encuentra dentro de los rangos esperados para la región en relación al crecimiento poblacional.

Mediante el análisis del laboratorio de las 21 muestras, respecto a la muestra inicial denominado Val. 0 tiene la más alta concentración de sólidos suspendidos totales.

Por otra parte, las muestras de la válvula 1,2,3 se encuentran removiendo los sólidos totales en relación al tiempo de concentración el cual cada muestra fue obtenido cada 10 minutos en simultaneo por un periodo de 70 minutos.

La velocidad de sedimentación obtenida fue de 4.35 m/s con una eficiencia de un 70% de remoción de Sólidos Suspendidos Totales, según literatura en Clarificadores primarios el promedio se encuentra entre 50 – 70% (Metcalf & Eddy, 2014)

Se obtuvo un área de 290.72 m<sup>2</sup> con un volumen de 523.44 m<sup>3</sup> y una altura de 1.80 m siendo las medidas para la construcción de un clarificador en escala real con la población proyectada en 20 años.

## VII. Recomendaciones

Fomentar investigaciones sobre el tratamiento de aguas residuales enfocadas en la remoción de sustancias contaminantes de las fuentes hídricas y diseño de una PTAR en la provincia de Andahuaylas.

Priorizar el establecimiento de una planta para el tratamiento de aguas residuales para el uso colectivo y eficaz en el uso de los recursos hídricos que se encuentran a disposición actual en la provincia de Andahuaylas.

Dado que el clarificador logró un 70% de remoción de SST. Se recomienda su implementación de un clarificador rectangular en el sector Santa Rosa Talavera (punto de mayor caudal: 28 L/s).

La municipalidad Provincial de Andahuaylas, en coordinación con el Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) y el Gobierno Regional de Apurímac (GORE). Deberá gestionar la construcción de la planta de tratamiento de aguas residuales usando como referencia este diseño.

Responsabilidad social de la población con las fuentes hídricas mediante proyectos que involucren alternativas de mitigación y control debidamente alineados con la finalidad de combatir la contaminación de los ecosistemas.

Mitigación del impacto ambiental realizando un adecuado tratamiento de aguas residuales mediante la prevención, minimización y corrección de los impactos que se generan sobre la provincia de Andahuaylas en cumplimiento con los Estándares de Calidad Ambiental (ECA's) y Límites Máximos Permisibles (LMP).

Promover campañas de sensibilización mediante actividades y conferencias, en la importancia del agua con las herramientas que dispone las autoridades municipales y regionales.

### VIII. Referencias Bibliográficas

Amado Arias, A. S. (2023). "DISEÑO DE UN CLARIFICADOR DE 22 METROS DE DIÁMETRO Y 6.60 METROS". Arequipa.

Báez Báez, L. F., & Valdivia Mendoza, J. B. (2025). Diseño de un sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas con lodos activados para una urbanización en ciudad Sandino, Managua. Sandino.

Cabanillas Becerra, F. V., & Vasquez Infantes, G. L. (2022). "PROPUESTA DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA UTILIZACIÓN EN RIEGO DE AREAS VERDES EN EL DISTRITO DE VICTOR LARCO HERRERA, 2022". Trujillo.

Castellanos Jurado, C. R. (2025). Diseño de un clarificador para la separación de una solución concentrada de sulfato de zinc y sus lodos, obtenidos de la planta de producción continua de sulfato de zinc heptahidratado de representaciones químicas, S.A., a partir de mineral de zinc. Guatemala.

Cisneros Chavez, M. L. (2023). PROPUESTA DE DISEÑO DE UNA PLANTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL DISTRITO DE VITOC, CHANCHAMAYO. Huancayo.

Cochran. (1977). Técnicas de muestreo. New York: 3ª edición John Wiley & Sons.

environment, U. (2024). Global Waste Management Outlook. Nairobi.

Fair Geyer, & Okun. (1971). Elements of Water Supply and Wastewater Disposal. MEXICO: NORIEGA EDITORES.

Falcón Matos, J. X., & Leo Moreno, C. M. (2018). "DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL GENERADA EN EL HOSPITAL "VICTOR RAMOS GUARDIA" - HUARAZ, ANCASH 2018". Huaraz.

Loa Secce, D. E. (2023). Diseño de un biodigestor de concreto reforzado con barras para tratamiento de aguas residuales Andarapa 2022. Huacho.

Lozano Gutiérrez, D. M. (2021). Diseño de una planta compacta de tratamiento de aguas residuales en la sede deportiva de la Universidad de Ibagué. Ibagué.

Luza Ortega, L., & Vergara Pinedo, A. P. (2018). Diseño del sedimentador para mejorar el funcionamiento hidráulico de la Ptap de Juliaca, 2018. Juliaca.

Matos Castro, K. A. (2022). Diseño hidráulico de un vertedero triangular y su influencia en la uniformidad del nivel de agua en los pre sedimentadores de la EPS Seda Huánuco S.A. 2022. Lima.

Metcalf & Eddy. (2014). Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. McGraw-Hill.

Metcalf, & Eddy. (2014). Ingeniería de aguas residuales: tratamiento y recuperación de recursos. New York: 5ta Edición McGraw-Hill.

Metcalf, & Eddy. (2016). Wastewater Engineering: Treatment and Resource Recovery. Madrid.

MVCS. (2009). Norma OS.090 Plantas de tratamiento de aguas residuales DS n° 022. Lima.

MVCS. (2022). Puntos de Vertimiento. Lima: MVCS.

Oñate Negrete, C. V. (2018). DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DIDÁCTICO DE UN SEDIMENTADOR TIPO LAMELLA. Quito.

Quispe, D. C. (2019). CALIDAD DE AGUA DEL RIO CHUMBAO. Andahuaylas: Universidad Nacional José María Arguedas.

Rodriguez Victoria, J. A., & Enriquez, C. L. (2019). MODELACIÓN DE UN CLARIFICADOR PRIMARIO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUAL DOMESTICA UTILIZANDO FLUENTE. Cali.

Ruiz Cortines, B. A. (2007). Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Coyoacán.

SINIA. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. Lima.

Vargas Prada, W. A. (2023). DISEÑO DE PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA DISTRIBUCION DE AGUA EN BENEFICIO DE LA VERADA SALCEDO DEL MUNICIPIO DE APULO CUNDINAMARCA. GIRARDOT.

Amado Arias, A. S. (2022). Diseño de un clarificador de 22 metros de diámetro y 6.60 metros de altura, para la recuperación de agua de proceso en una planta concentradora de Molibdeno [Universidad Católica de Santa María]. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/12449>

APHA, AWWA, & WEF. (2012). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. En American Public Health Association (Ed.), American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation (22a ed.). American Public Health Association. <https://yabesh.ir/wp-content/uploads/2018/02/Standard-Methods-23rd-Perv.pdf>

Autoridad Nacional del Agua. (2018). Guía Técnica Para Reúso Municipal de Aguas Residuales Tratadas en el Riego de Áreas Verdes (Autoridad Nacional del Agua,

Ed.; Primera). <https://www.ana.gob.pe/publicaciones/guia-tecnica-para-reuso-municipal-de-aguas-residuales-tratadas-en-el-riego-de-areas>

Benavides Getial, J. A., & Ortiz Viveros, L. Y. (2014). Implementación y evaluación del desempeño de un atorre de sedimentación en el laboratorio de hidráulica de la Universidad De Nariño [Universidad de Nariño]. <https://sired.udenar.edu.co/2263/>

Cisneros Chavez, M. L. (2023). Propuesta de diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para el distrito de Vitoc, Chanchamayo [Universidad peruana los andes]. En Universidad Peruana Los Andes. <http://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/5472>

Cota Espericueta, A. D., & Ponce Corral, C. (2008). Eliminación de bacterias patógenas en lodos residuales durante el secado solar. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 24(4), 161–170. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992008000400002](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992008000400002)

Davis, M. L., & Masten, S. J. (2004). *Principles of environmental engineering and science*. McGraw-Hill. [https://books.google.com/books/about/Principles\\_of\\_Environmental\\_Engineering.html?id=0sXM9DRtw58C](https://books.google.com/books/about/Principles_of_Environmental_Engineering.html?id=0sXM9DRtw58C)

Droste, R. L. ., & Gehr, R. L. . (2019). *Theory and practice of water and wastewater treatment (Second)*. Jhon Wiley & Sons. [https://books.google.com/books/about/Theory\\_and\\_Practice\\_of\\_Water\\_and\\_Wastewa.html?id=gmV-DwAAQBAJ](https://books.google.com/books/about/Theory_and_Practice_of_Water_and_Wastewa.html?id=gmV-DwAAQBAJ)

Gil, M. J., Soto, A. M., Usma, J. I., & Gutiérrez, O. D. (2012). Contaminantes emergentes en aguas, efectos y posibles tratamientos. *Producción + Limpia*, 7(2), 52–73.

[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552012000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552012000200005&lng=en&nrm=iso&tlng=es)

Gómez Chaves, J. M., & Manrique Prieto, I. A. (2016). Diseño y construcción de una torre de sedimentación para la evaluación de los procesos de remoción y eficiencia en el tratamiento de agua potable [Universidad Católica de Colombia]. <https://repository.ucatolica.edu.co/entities/publication/20e5315f-2b73-46ab-b2e5-ccddb6b3d2ec>

Guerrero Pillasagua, O. T., & Álvarez Álvarez, M. J. (2021). Diseño de la segunda etapa de decantación primaria de la planta depuradora de aguas residuales de Jipijapa del sector Joa [UNIVERSIDAD ESTATAL DEL SUR DE MANABI ]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/3340>

Guillín Medina, G. A., & Contreras Ortega, J. L. (2018). Diseño y Construcción a Escala Piloto De Un Prototipo De Sedimentador Rectangular [ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL]. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/46742>

Hammer Sr, M. J., & Hammer Jr, M. J. (2014). Water and Wastewater Technology (Seventh). Pearson Education Limited. [https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292034294\\_A24589366/preview-9781292034294\\_A24589366.pdf](https://api.pageplace.de/preview/DT0400.9781292034294_A24589366/preview-9781292034294_A24589366.pdf)

Instituto Nacional de Calidad. (2012, octubre 12). NTP-ISO 5667-10:2012. Calidad del agua. Muestreo. Parte 10: Guía para el muestreo de aguas residuales. . [https://es.scribd.com/document/599014061/NTP-ISO-5667-10-2012-Muestreo-de-Aguas-Residuales?utm\\_source=chatgpt.com](https://es.scribd.com/document/599014061/NTP-ISO-5667-10-2012-Muestreo-de-Aguas-Residuales?utm_source=chatgpt.com)

- Metcalf & Eddy, I. (1995). *Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización: Vol. I* (J. de D. Trillo Montsoriu, Trad.; Tercera). McGraw-Hill Education.
- Metcalf & Eddy Inc., Tchobanoglous, G., Burton, F. L., & Stensel, H. D. (2003). *Wastewater Engineering: Treatment and Reuse*. En *Wastewater Engineering - Treatment and Reuse* (4th ed.). McGraw-Hill. [https://books.google.com/books/about/Wastewater\\_Engineering\\_Treatment\\_and\\_Reu.html?id=-eoeAQAAIAAJ](https://books.google.com/books/about/Wastewater_Engineering_Treatment_and_Reu.html?id=-eoeAQAAIAAJ)
- Ministerio de Vivienda, C. y S. (2017). Norma Técnica OS.090 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. [https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas\\_Legales/saneamiento/OS.090.pdf](https://www.saludarequipa.gob.pe/desa/archivos/Normas_Legales/saneamiento/OS.090.pdf)
- Ministerio del Ambiente del Perú. (2009). Tratamiento y reuso de aguas residuales. <https://sinia.minam.gob.pe/sites/default/files/sinia/archivos/public/docs/153.pdf>
- Osorio Rivera, M. Angel., Carrillo Barahona, W. E., Negrete Costales, J. H., Loor Lalvay, X. A., & Riera Guachichullca, E. J. (2021). La calidad de las aguas residuales domésticas. *Polo del Conocimiento: Revista científico - profesional*, ISSN-e 2550-682X, Vol. 6, No. 3, 2021, págs. 228-245, 6(3), 228–245. <https://doi.org/10.23857/pc.v6i3.2360>
- Paz García, A. E., & Ruíz Valderrama, M. E. (2017). Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales municipales para el distrito de Santiago de Chuco [Universidad nacional de Trujillo]. <https://hdl.handle.net/20.500.14414/9882>
- Peña Prieto, L. E., Muñoz Martínez, M., & Espinosa Correa, A. M. (2001). Tratamiento de aguas residuales municipales y su impacto ambiental sobre un ecosistema. *Tecnura*, 5(9), 37–45. <https://doi.org/10.14483/22487638.6116>

Ramalho Sette, R. (2003). Tratamiento de aguas residuales. En Tratamiento de Aguas Residuales. Reverté.

[https://books.google.com/books/about/Tratamiento\\_de\\_aguas\\_residuales.html?hl=es&id=30etGjzPXyWC](https://books.google.com/books/about/Tratamiento_de_aguas_residuales.html?hl=es&id=30etGjzPXyWC)

Ramos Corral, J. M., Martínez González, G. M., Jiménez Islas, H., & Cervantes Reséndiz, J. D. (2017). MODELAMIENTO Y DISEÑO DE UN SEDIMENTADOR DE AGUAS RESIDUALES ANALIZANDO EL EFECTO DE VARIOS TAMAÑOS DE PARTÍCULAS. Memorias del XXXVIII Encuentro Nacional de la AMIDIQ. [https://www.researchgate.net/publication/322317439\\_MODELAMIENTO\\_Y\\_DISEÑO\\_DE\\_UN\\_SEDIMENTADOR\\_DE\\_AGUAS\\_RESIDUALES\\_ANALIZANDO\\_EL\\_EFECTO\\_DE\\_VARIOS\\_TAMANOS\\_DE\\_PARTICULAS](https://www.researchgate.net/publication/322317439_MODELAMIENTO_Y_DISEÑO_DE_UN_SEDIMENTADOR_DE_AGUAS_RESIDUALES_ANALIZANDO_EL_EFECTO_DE_VARIOS_TAMANOS_DE_PARTICULAS)

Salgado Bernal, I., Cárcamo Ramírez, H., Martínez, A., Carballo Valdés, M. E., Cruz Arias, M., & Durán Domínguez de Bazúa, M. del C. (2011). Efectos ambientales de contaminantes químicos en las aguas: una propuesta biotecnológica para su eliminación. *Revista Cubana de Química*, XXIII, 87–95. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543724011>

Solís, M., Gil, J. L., Solís, A., Pérez, H. I., Manjarrez, N., & Perdomo, M. (2013). El proceso de sedimentación como una aplicación sencilla para reducir contaminantes en efluentes textiles. *Revista mexicana de ingeniería química*, 12(3), 585–594. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1665-27382013000300020](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-27382013000300020)

Spellman, F. R. (2013). *Water & Wastewater Infrastructure: Energy Efficiency and Sustainability*. En *Water & Wastewater Infrastructure: Energy Efficiency and Sustainability*. CRC Press.

[https://www.google.com.pe/books/edition/Water\\_Wastewater\\_Infrastructure/BE\\_TSBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1](https://www.google.com.pe/books/edition/Water_Wastewater_Infrastructure/BE_TSBQAAQBAJ?hl=es-419&gbpv=1)

Yamit Filtration. (s/f). Filtración de agua cruda. Recuperado el 6 de enero de 2025, de <https://www.yamit-f.com/es/applications/raw-water-filtration/>

Zurita Martínez, F., Castellanos Hernández, O. A., & Rodríguez Sahagún, A. (2011). El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 2(SPE1), 139–150. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-09342011000700011](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342011000700011)

Los anexos, panel fotográfico y otros documentos están resguardados en la oficina de repositorio digital institucional en la Biblioteca Central de la Universidad Tecnológica de los Andes