



UNIVERSIDAD  
CATÓLICA  
DE CUENCA

**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA, INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**PROPUESTA DE DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE  
UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES  
PARA EL CENTRO CANTONAL DE PUCARÁ, PROVINCIA  
DEL AZUAY**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

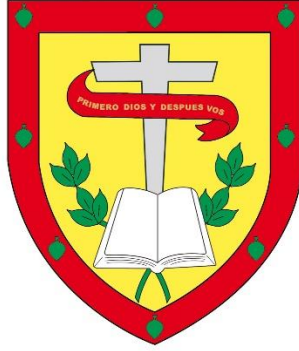
**AUTOR: SILVANA NATHALY NARVAEZ CEDILLO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS, Mgs**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA**

*Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo*

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y  
CONSTRUCCIÓN**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

PROPUESTA DE DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA  
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CENTRO  
CANTONAL DE PUCARÁ, PROVINCIA DEL AZUAY.

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA AMBIENTAL**

**AUTOR: SILVANA NATHALY NARVAEZ CEDILLO**

**DIRECTOR: ING. CARLOS MARCELO MATOVELLE BUSTOS, Mgs.**

**CUENCA - ECUADOR**

**2023**

**DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO**

## DECLARATORIA DE AUTORÍA Y RESPONSABILIDAD

Yo, Silvana Nathaly Narvaez Cedillo, portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0106299654, declaro ser la autora de la obra: “Propuesta de dimensionamiento y simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará, provincia del Azuay”, sobre la cual me hago responsable sobre las opiniones, versiones e ideas expresadas. Declaro que la misma ha sido elaborada respetando los derechos de propiedad intelectual de terceros y eximo a la Universidad Católica de Cuenca sobre cualquier reclamación que pudiera existir al respecto. Declaro finalmente que mi obra ha sido realizada cumpliendo con todos los requisitos legales, éticos y bioéticos de investigación, que la misma no incumple con la normativa nacional e internacional en el área específica de investigación, sobre la que también me responsabilizo y eximo a la Universidad Católica de Cuenca de toda reclamación al respecto.

Cuenca, 25 de julio de 2023

F:   
.....  
Silvana Nathaly Narvaez Cedillo  
0106299654

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Silvana Nathaly Narvaez Cedillo, bajo mi supervisión.

 CARLOS  
MARCELO  
MATOVELLE  
BUSTOS

Firmado  
digitalmente por  
CARLOS MARCELO  
MATOVELLE BUSTOS  
Fecha: 2023.07.26  
20:26:22 -05'00'

---

**Ing. Carlos Marcelo Matovelle Bustos, Mgs.**

**DIRECTOR**

## DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado:

A mi hermana, quien siempre ha estado allí apoyándome con su amor, paciencia y esfuerzo para que sea posible esta meta, dándome ánimos, en todo momento de mi vida, acompañándome en mis proyectos de superación personal y técnica para que no me rinda.

A mi padre, por ser el ejemplo de lucha y ayudarme durante mi crecimiento profesional, moral, y su amor incondicional, que siempre ha estado para mí.

A mi madre, que es la primera profesora de mi vida, quien me ha instruido con el ejemplo a trabajar y a esforzarme en cada uno de mis objetivos, por estar pendiente siempre de mí y de toda la familia.

## **AGRADECIMIENTOS**

En este espacio, en primer lugar, quiero agradecerle Jehová por permitirme llegar a este momento muy importante para mí, por todo en cuanto me ha brindado, por sostenerme valiente en los momentos difíciles en el trascurso de esta meta.

A mis amados padres, gracias por ese apoyo constante al cual acudo siempre. A ustedes que me han enseñado a trabajar duro, a perseverar dentro de buenos valores, y a cumplir con lo que me he propuesto.

A mis hermanos, gracias por el apoyo económico, moral, sentimental y su hermosa compañía.

Agradezco a mis docentes y director de tesis, docentes de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Cuenca, por haberme compartido sus conocimiento y sabiduría durante mi proceso académico.

A mis compañeros de la universidad, amigos fuera de ella y familiares que de cualquier forma o medio nos hemos apoyado durante este proceso.

## RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en el centro cantonal de Pucará, provincia del Azuay, el cual propone el dimensionamiento y simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales, busca promover el cuidado del medio ambiente y el cumplimiento de la normativa ambiental de descargas de efluentes al recurso agua, como lo establece el Acuerdo Ministerial 097-A. Proceso que se realizó en cuatro etapas: a) muestreo y aforo del caudal residual; b) análisis y caracterización del efluente; c) determinación y proyección de la población; d) elección, dimensión y simulación (Excel y Stoa). Se efectuó un análisis físico químico de la calidad de agua donde los parámetros DQO, DBO5 y SS incumplen con los límites máximos admisibles, a partir de los cuales se determinó finalmente las unidades adecuadas de tratamiento y la eficiencia de los mismos, como: la cámara de rejillas que cuenta con 7 barras, desarenador que tiene una longitud de 3,50m y el canal Parshall con una altura de 65cm; tanque IMHOFF (70%) con un volumen de 21m<sup>3</sup>, filtro percolador (85%) con un área de 215m<sup>2</sup>, y un tanque de cloración de un área 10m<sup>2</sup>. El caudal presentó un promedio proyectado para 20 años de 5,55 L/s, dato que sirvió para la dimensión de las estructuras y mediante la simulación, la función del sistema remueve un aproximado del 80% la contaminación de las aguas residuales.

*Palabras clave: análisis de agua, efluente, dimensiones, caudales.*

## **ABSTRACT**

This research was conducted in the Pucará, Azuay province's cantonal center, to design and simulate a wastewater treatment system to promote environmental conservation and compliance with environmental regulations for effluent discharge into water resources, as outlined in Ministerial Agreement 097- A. The process involved four stages: a) sampling and measuring the residual flow; b) analysis and characterization of the effluent; c) determination and projection of the population; d) selection, sizing, and simulation (using Excel and Stoat). Physical-chemical analysis of water quality revealed that parameters such as COD (Chemical Oxygen Demand), BOD<sub>5</sub> (Biochemical Oxygen Demand), and SS (Suspended Solids) exceeded the maximum allowable limits. This data determined appropriate treatment units and their respective efficiencies, including a grating chamber with 7 bars, a desander with a length of 3.50m, and a Parshall channel with a height of 65cm. The system also includes an Imhoff tank (70%) with a volume of 21m<sup>3</sup>, a trickling filter (85%) with an area of 215m<sup>2</sup>, and a chlorination tank with an area of 10m<sup>2</sup>. The projected average flow rate for the next 20 years was estimated at 5.55 L/s, which served as the basis for sizing the structures. Through simulation, the system was found to remove approximately 80% of wastewater contamination.

*Keywords: water analysis, effluent, dimensions, flow rates*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	I
DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS	VI
LISTA DE ILUSTRACIONES	IX
LISTA DE TABLAS	X
LISTA DE ANEXOS	XII
<b>CAPÍTULO I</b>	<b>- 1 -</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>- 1 -</b>
1.1 OBJETIVOS.	- 3 -
1.1.1 OBJETIVO GENERAL.	- 3 -
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	- 3 -
1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.	- 4 -
1.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.	- 4 -
1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.	- 4 -
<b>CAPÍTULO II</b>	<b>- 5 -</b>
<b>2. REVISIÓN LITERARIA</b>	<b>- 5 -</b>
2.1 ESTADO DEL ARTE.	- 5 -
2.2 EL AGUA.	- 5 -
2.2.1 LAS AGUAS RESIDUALES.	- 5 -
2.2.2 PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES.	- 6 -
2.2.3 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.	- 6 -
2.2.4 TIPOS DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.	- 7 -
2.3 TIPOS DE AFORO.	- 7 -
2.3.1 AFORO VOLUMÉTRICO.	- 8 -
2.4 MUESTREO DE AGUA.	- 8 -
2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.	- 9 -
2.4.2 PARÁMETROS BÁSICOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.	- 10 -
2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.	- 10 -
2.5.1 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE UNA PTAR.	- 11 -
2.6 PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.	- 13 -
2.6.1 PRETRATAMIENTO.	- 13 -
2.6.2 CRIBADO.	- 13 -
2.6.3 REJILLAS MANUALES.	- 13 -
2.6.4 REJILLAS MECÁNICAS.	- 14 -
2.6.5 DESARENADOR.	- 14 -
2.6.6 CANAL PARSHALL	- 15 -
2.7 EFICIENCIA DE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	- 16 -
2.7.1 TRATAMIENTO PRIMARIO.	- 18 -
2.7.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO.	- 19 -
2.8 LA SIMULACIÓN.	- 20 -

2.8.1 IMPORTANCIA Y COMPROBACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	- 21 -
2.8.2 TIPOS DE SIMULACIÓN	- 21 -
2.8.3 ETAPAS DE UNA SIMULACIÓN.	- 22 -
2.8.4 FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN DE UNA PTAR	- 23 -
2.9 MARCO LEGAL.	- 23 -
<b>CAPÍTULO III</b>	<b>- 27 -</b>
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>- 27 -</b>
3.1 DEFINICIÓN BÁSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.	- 28 -
3.2 HIDROGRAFÍA Y PUNTO DE MUESTREO.	- 29 -
3.3 TÉCNICAS IN SITU DE CAMPO.	- 29 -
3.3.1 LA OBSERVACIÓN.	- 29 -
3.3.2 AFORO DE CAUDALES.	- 29 -
3.4 MATERIALES E INDUMENTARIA DE AFORO.	- 31 -
3.5 MUESTREO.	- 32 -
3.5.1 ROTULACIÓN DE BOTELLAS.	- 33 -
3.5.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL EFLUENTE.	- 33 -
3.5.3 MANEJO DE MUESTRAS EN BOTELLAS AMBAR.	- 34 -
3.5.4 CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.	- 34 -
3.6 MONITOREO IN SITU DE LAS DESCARGAS.	- 35 -
3.6.1 MONITOREO CONTINUO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EFLUENTE.	- 35 -
3.7 TÉCNICAS EX SITU ANÁLISIS.	- 38 -
3.7.1 ALÍCUOTAS.	- 38 -
3.8 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS, MÉTODOS Y PROCESOS EN EL LABORATORIO.	- 39 -
3.8.1 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)	- 39 -
3.8.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)	- 40 -
3.8.3 NITRATOS.	- 40 -
3.8.4 AMONIO.	- 41 -
3.8.5 DUREZA	- 41 -
3.8.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS	- 41 -
3.9 MATERIALES Y EQUIPOS.	- 42 -
3.9.1 ACEITES Y GRASAS.	- 42 -
3.9.2 COLIFORMES FECALES.	- 42 -
3.9.3 TAMAÑO DE LA POBLACIÓN.	- 42 -
3.9.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA POBLACIÓN.	- 43 -
3.9.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.	- 44 -
3.10 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.	- 44 -
3.11 PRETRATAMIENTO.	- 45 -
3.11.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DE REJAS.	- 45 -
3.11.2 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL DESARENADOR.	- 51 -
3.11.3 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL CANAL PARSHALL.	- 54 -
3.12 TRATAMIENTO PRIMARIO.	- 56 -
3.12.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL TANQUE IMHOFF.	- 56 -
3.13 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL LECHO DE SECADO.	- 61 -
3.13.1 PARÁMETROS PARA LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADO.	- 61 -
3.14 TRATAMIENTO SECUNDARIO.	- 62 -
3.14.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL FILTRO BIOLÓGICO.	- 62 -
3.15 DESINFECCIÓN.	- 64 -
3.15.1 CÁLCULO DE CÁMARA DE CLORO.	- 64 -
3.16 SIMULACIÓN	- 65 -
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>- 67 -</b>

<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>- 67 -</b>
4.1 ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA DESCARGA RESIDUAL.	- 67 -
4.1.1 PORCENTAJE DE REMOCIÓN SEGÚN EL ANÁLISIS DE AGUA	- 72 -
4.2 CAUDALES DE DESCARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PTAR	- 73 -
4.2.1 DOTACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA PARA LA DIMENSIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.	- 74 -
4.3 RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO – PRETRATAMIENTO.	- 75 -
4.3.1 CAJA DE REJAS.	- 75 -
4.3.2 DESARENADOR.	- 76 -
4.3.3 CANAL PARSHALL.	- 78 -
4.4 TRATAMIENTO PRIMARIO.	- 79 -
4.4.1 TANQUE IMHOFF.	- 79 -
4.4.2 LECHO DE SECADOS.	- 82 -
4.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO.	- 84 -
4.5.1 FILTRO BIOLÓGICO.	- 84 -
4.6 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.	- 87 -
4.6.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN - TANQUE IMHOFF.	- 89 -
4.6.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN – FILTRO BIOLÓGICO.	- 90 -
4.6.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA CÁMARA DE CLORO.	- 90 -
4.8.4 COMPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN CON LA NORMATIVA ECUATORIANA.	- 90 -
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>- 92 -</b>
<b>V. CONCLUSIONES</b>	<b>- 92 -</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>- 93 -</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES</b>	<b>- 93 -</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>- 94 -</b>
<b>GLOSARIO DE TÉRMINOS</b>	<b>- 98 -</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>- 99 -</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Diferentes tipos de descargas.....	- 7 -
<b>Ilustración 3.</b> Características de los tipos de muestreo.....	- 8 -
<b>Ilustración 4.</b> Identificación y cuantificación de propiedades presentes en aguas residuales.....	- 10 -
<b>Ilustración 5.</b> Esquema de tratamiento de las aguas residuales.....	- 11 -
<b>Ilustración 6.</b> Rejillas manuales.....	- 14 -
<b>Ilustración 7.</b> Rejillas mecánicas.....	- 14 -
<b>Ilustración 8.</b> Dimensión y ubicación del canal Parshall después del desarenador.....	- 15 -
<b>Ilustración 9.</b> a) Vista del tanque IMHOFF desde diferentes ángulos.....	- 19 -
<b>Ilustración 10.</b> Filtro percolador.....	- 20 -
<b>Ilustración 11.</b> Relación entre realidad mundo real, modelado y simulación.....	- 21 -
<b>Ilustración 12.</b> Etapas de un estudio de simulación.....	- 23 -
<b>Ilustración 13.</b> Simulación de PTAR mediante de lodos activados, con el software GPS- X.....	- 23 -
<b>Ilustración 14.</b> Ubicación de la zona de estudio.....	- 28 -
<b>Ilustración 15.</b> Punto de mezcla de las vertientes.....	- 32 -
<b>Ilustración 16.</b> Etiquetado de las muestras.....	- 33 -
<b>Ilustración 17.</b> Muestreos de las aguas residuales del alcantarillado.....	- 33 -
<b>Ilustración 18.</b> Embotellado de las muestras de aguas residuales.....	- 34 -
<b>Ilustración 19.</b> Cooler y hielos para mantenimientos y traslado de muestras.....	- 34 -
<b>Ilustración 20.</b> Medidor multiparamétrico.....	- 35 -
<b>Ilustración 21.</b> Procedimiento de alícuotas de las aguas residuales.....	- 39 -
<b>Ilustración 22.</b> Simulación del software WRc Stoa 5,0.....	- 66 -
<b>Ilustración 23.</b> Máximos, mínimos y promedios de los parámetros del agua.....	- 71 -
<b>Ilustración 24:</b> Parámetros alterados del efluente.....	- 72 -
<b>Ilustración 25.</b> Caudales de descarga.....	- 73 -
<b>Ilustración 26:</b> Caudales de descarga.....	- 74 -
<b>Ilustración 27.</b> Diseño de rejas, vista frontal.....	- 76 -
<b>Ilustración 28.</b> Dimensión de rejas, vista lateral.....	- 76 -
<b>Ilustración 29.</b> Diseño del desarenador.....	- 77 -
<b>Ilustración 30.</b> Diseño del desarenador.....	- 77 -
<b>Ilustración 31.</b> Diseño del canal, ángulo frontal.....	- 78 -
<b>Ilustración 32.</b> Perfil frontal de la dimensión del canal Parshall.....	- 79 -
<b>Ilustración 33.</b> Dimensión del tanque IMHOFF.....	- 80 -
<b>Ilustración 34.</b> Componentes del tanque INHOFF.....	- 81 -
<b>Ilustración 35.</b> Dimensiones de la cámara de digestión.....	- 82 -
<b>Ilustración 36.</b> Unidades de lecho de secado.....	- 83 -
<b>Ilustración 37.</b> Vista lateral del lecho de secado.....	- 84 -
<b>Ilustración 38.</b> Filtro.....	- 85 -
<b>Ilustración 39.</b> Proceso de filtración.....	- 85 -
<b>Ilustración 40.</b> Número de brigretas en la cámara de cloro.....	- 86 -
<b>Ilustración 41.</b> Vista lateral de la cámara de cloro.....	- 87 -
<b>Ilustración 42.</b> Dimensión simulación en Stoa 5.0.....	- 88 -
<b>Ilustración 43.</b> Resultados de simulación en Stoa 5.0.....	- 89 -

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Propiedades y contribuyentes físicas, químicas y biológicas básicas del agua residual. ....	- 9 -
<b>Tabla 2.</b> Características relevantes individuales de las etapas de tratamiento. ....	- 12 -
<b>Tabla 3.</b> Distintos tipos de cribados. ....	- 13 -
<b>Tabla 4.</b> Porcentajes de remoción de contaminantes por tecnologías existentes. ....	- 17 -
<b>Tabla 5.</b> Tipos de simulación. ....	- 22 -
<b>Tabla 6.</b> Normativas ambientales legales vigentes nacionales. ....	- 24 -
<b>Tabla 7.</b> Límites de descarga de efluentes a la red de alcantarillado público ....	- 25 -
<b>Tabla 8.</b> Limite de descarga a un cuerpo de agua dulce. ....	- 25 -
<b>Tabla 9.</b> Contribución per-cápita del aumento de parámetros del agua según la normativa peruana. ...	- 26 -
<b>Tabla 10.</b> Caudales de la descarga (L/s). ....	- 30 -
<b>Tabla 11.</b> Datos del río al cual se vierten las aguas residuales.....	- 31 -
<b>Tabla 12.</b> Monitoreo característico del agua in situ del día 1.....	- 35 -
<b>Tabla 13.</b> Monitoreo de calidad del agua in situ del día 2.....	- 36 -
<b>Tabla 14.</b> Monitoreo de calidad del agua in situ del día 3.....	- 36 -
<b>Tabla 15.</b> Monitoreo de calidad del agua in situ del día 4.....	- 37 -
<b>Tabla 16.</b> Monitoreo de calidad del agua in situ del día 5.....	- 38 -
<b>Tabla 17.</b> Aplicacion de métodos para obtener la población futura.....	- 43 -
<b>Tabla 18.</b> Niveles de eficiencia de los parámetros del agua.....	- 45 -
<b>Tabla 19:</b> Coeficiencia de variación del caudal residuales. ....	- 45 -
<b>Tabla 20.</b> Características de las rejas.....	- 46 -
<b>Tabla 21.</b> Características del canal de rejas.....	- 46 -
<b>Tabla 22.</b> Características principales del desarenador.....	- 51 -
<b>Tabla 23.</b> Características de los criterios de dimensión.....	- 52 -
<b>Tabla 24.</b> Características estándar del ancho de la garganta ....	- 55 -
<b>Tabla 25.</b> Dimensiones estándar del Canal Parshall.....	- 56 -
<b>Tabla 26.</b> Características del Tanque IMHOFF.....	- 57 -
<b>Tabla 27.</b> Características de la zona de digestión.....	- 57 -
<b>Tabla 28.</b> Características del lecho de secado.....	- 61 -
<b>Tabla 29.</b> Características del lecho de secado.....	- 62 -
<b>Tabla 30.</b> Características del lecho de secado.....	- 64 -
<b>Tabla 31:</b> Resultados del estudio de laboratorio día 1. ....	- 67 -
<b>Tabla 32:</b> Resultados de análisis de laboratorio.....	- 68 -
<b>Tabla 33.</b> Resultados de las muestras analizadas en laboratorio, niveles máximos permisibles.....	- 68 -
<b>Tabla 34.</b> Resultados del análisis de laboratorio comparados con los valores máximos admisibles....	- 69 -
<b>Tabla 35:</b> Resultados en comparación con los limites permisibles. ....	- 70 -
<b>Tabla 36:</b> Máximos, promedios y mínimos de las muestras de agua residual.....	- 70 -
<b>Tabla 37:</b> Datos de la dotación. ....	- 74 -
<b>Tabla 38:</b> Caudales futuros de diseño a 20 años. ....	- 75 -
<b>Tabla 39:</b> Componentes del canal y rejas.....	- 75 -
<b>Tabla 40:</b> Componentes del desarenador.....	- 77 -
<b>Tabla 41:</b> Componentes de la dimensión del canal Parshall.....	- 78 -
<b>Tabla 42:</b> Resultados dimensionales de componentes del Tanque IMHOFF.....	- 79 -
<b>Tabla 43:</b> Dimensión de los componentes del Tanque IMHOFF.....	- 80 -
<b>Tabla 44:</b> Dimensiones de los componentes del tanque IMHOFF.....	- 81 -
<b>Tabla 45:</b> Lecho de secados.....	- 83 -
<b>Tabla 46:</b> Componentes de la dimensión del lecho de secados.....	- 83 -
<b>Tabla 47:</b> Componentes de la dimensión del filtro biológico.....	- 84 -
<b>Tabla 48:</b> Componentes del filtro. ....	- 86 -
<b>Tabla 49:</b> Componentes de la dimensión del filtro biológico.....	- 86 -
<b>Tabla 50:</b> Valores de eficiencia del tanque IMHOFF.....	- 89 -

**Tabla 51:** Valores de eficiencia del filtro secundario ..... - 90 -  
**Tabla 52:** Valores de eficiencia de la cámara de cloro ..... - 90 -  
**Tabla 53:** Datos de salida y normativa en base al sistema propuesto ..... - 91 -

## LISTA DE ANEXOS

<b>ANEXO 1.</b> <i>Recopilación fotográfica.</i>	_____	- 99 -
<b>ANEXO 2.</b> <i>Análisis fisicoquímicos y biológicos de la descarga del centro cantonal de Pucará.</i>	_____	- 104 -

# CAPÍTULO I

## 1. INTRODUCCIÓN

En un inicio, cuando el ser humano era cazador, el mundo era totalmente renovable. Con el tiempo, surge el sedentarismo debido a la necesidad del consumo de agua, es entonces que empiezan a producir el suelo, y con ello nace el comercio. Es ahí, donde ya se percibe las primeras aguas residuales que eran vertidas directamente a los recursos naturales. Según Lozano - Rivas (2012), todos los cuerpos de agua tienen una capacidad natural para auto depurar la contaminación, pero con efluentes pequeños. Por ello, no se presenciaba mayores problemas en esta época, ya que los ríos, riachuelos y lagunas alcanzaban a purificar todo, sin embargo, el crecimiento significativo de la población y la industrialización han bloqueado esa virtud natural. Por ende, el ser humano se ha visto obligado asistir a la naturaleza con ayuda de la ciencia y la tecnología mediante sistemas de tratamiento que eliminen o reduzcan la carga contaminante.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Educación y la Cultura (ONU), los países de altos ingresos tratan un aproximado del 70% de las aguas cloacales municipales e industriales, un 38% los países de ingresos medios-altos, un 28% los países de ingresos medios-bajos y un 8% los países de entradas bajas. Estos porcentajes señalan que, comúnmente, en los países latinos, más del 70% vierte los efluentes al medio ambiente sin ningún preliminar tratamiento (ONU, 2017).

En Ecuador, el 61,86% de los GAD municipales no realizan ningún tratamiento de aguas residuales, por lo que se deduce que estos efluentes son vertidos, sin antes ser tratados, mientras que el 38,14%, sí. El país cuenta con una suma de 241 plantas residuales distribuidos de la siguiente manera: 49,88% en la Sierra, el 30,64% en la Costa, el 19% en la Amazonía y el 0,48% en Galápagos (INEC, 2016).

En la actualidad, el manejo adecuado de las aguas residuales representa un desafío importante para garantizar la preservación del medio ambiente y la salud de las comunidades. En particular, el cantón de Pucará, ubicado en la provincia de Azuay, se enfrenta a problemas asociados con sus efluentes. Por tanto, se busca motivar el desarrollo de proyectos que ayuden a minimizar los impactos ambientales y garantizar el nivel de vida. Por ello, se desarrolla la presente tesis **“PROPUESTA DE DIMENSIONAMIENTO Y SIMULACIÓN DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PARA EL CENTRO CANTONAL DE PUCARÁ, PROVINCIA DEL AZUAY”**. La dimensión se ajusta a la zona de estudio, a las características de efluente y a las necesidades del municipio.

Para desarrollar el presente proyecto y cumplir con los objetivos, se determinó el punto de descarga, se aforó y muestreó el caudal durante cinco días en cada hora desde las 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde, llegando a sumar un total de 12 muestras por día, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para el correspondiente análisis y caracterización de la calidad del

agua residual; también, se proyectó la población actual de 1728 personas que se obtuvo de las listas de usuarios del alcantarillado para un tiempo futuro de 20 años.

Stoat es uno de los Software de ingeniería competente en la simulación y esquematización de plantas de purificación de aguas residuales. Es una herramienta de control, que permite conocer el rendimiento y la optimización que tiene una planta de agua residual, además de que permite el simular modelos propios, acepta varias configuraciones en reactores biológicos. Se puede acceder a modelos justificados en la DBO Y DQO para procedimientos de tratamientos primarios, secundarios y terciarios con el que se puede reutilizar para actividades agrícolas (Sánchez Ramírez et al., 2015).

Se emplearon las aplicaciones informáticas Excel y Stoat para llevar a cabo la simulación. Aquí, se tomó en cuenta la caracterización de las aguas residuales, los caudales y las medidas de los elementos dimensionados, que validaron la dimensión del sistema de tratamiento. Por ello, se deduce que son herramientas útiles, ya que permitieron analizar los beneficios de las distintas unidades del sistema de tratamiento para adecuar los elementos y su fusión (González, 2017).

En el marco legal, se considera, primeramente, las normativas nacionales del Ecuador, como la Constitución, el COA y el acuerdo ministerial 097<sup>a</sup>. A partir de estas normativas, se comprende los parámetros y procesos para la dimensión y simulación del sistema de tratamiento de aguas residuales para el cantón Pucará. Asimismo, se consideró normativas internacionales, como la normativa peruana RNE OS.090, que presenta la tabla de límites máximos permisibles en concentraciones para el punto de mezcla del agua residual y para el río al cual se vierten los efluentes tratados y no tratados, algunas sugerencias de dimensiones para plantas de tratamiento de aguas negras. Igualmente, se tomó en cuenta a las guías de esquemas y cálculos de la Normativa Nacional Ecuatoriana, así como también guías y normativas internacionales.

En el contexto legal, se da prioridad a las regulaciones nacionales ecuatorianas, como la Constitución, el Código Orgánico Ambiental (COA) y el Acuerdo Ministerial 097-A. A partir de estas disposiciones, se comprenden los criterios y procesos para la dimensión del sistema de tratamiento de aguas residuales en el cantón de Pucará. Además, se tuvieron en cuenta guías y normativas internacionales, como la normativa peruana RNE os.090, que establece los límites máximos permitidos de concentración en el punto de mezcla con el río receptor. También se consideró las directrices y cálculos proporcionados por la guía Mexicana CONAGUA.

## **1.1 OBJETIVOS.**

### **1.1.1 OBJETIVO GENERAL.**

Proponer el dimensionamiento y la simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar la composición físico química de las aguas residuales provenientes de la descarga del centro cantonal de Pucará.
- Dimensionar un sistema de tratamiento de aguas residuales óptimo y eficiente que cumpla con la normativa ambiental ecuatoriana.
- Simular los procesos del sistema de tratamiento propuesto utilizando un software.

## **1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.**

En la actualidad, en el centro cantonal de Pucará, se vierten las aguas residuales generadas por la población directamente a los cursos de agua superficiales existentes, sin dar ningún tipo de tratamiento previo. Esta acción está ocasionando una serie de problemas ambientales, como la degradación de los ecosistemas tanto vegetales como animales. Además, tiene consecuencias negativas en el ámbito social, ya que provoca malos olores, residuos y otros impactos indeseables. Estas descargas, también, representan un riesgo para la salud de los habitantes tanto directa como indirectamente, pues afectan tanto a los residentes del cantón como a la población en general. Esta situación está deteriorando los ecosistemas y generando conflictos sociales en la comunidad de Pucará, especialmente en las zonas cercanas a los puntos de vertido, donde se acumulan malos olores, residuo y sedimentos de materia orgánica.

En el punto de vertido de aguas abajo en el río, las personas se dedican principalmente a actividades agrícolas y ganaderas. La ganadería se desarrolla utilizando el agua que contiene las aguas residuales mezcladas con los riachuelos. Además, los agricultores de la región utilizan estos arroyos contaminados con aguas residuales para el riego de sus cultivos y como fuente de agua para abrevaderos de ganado.

### **1.2.1 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.**

Los avances tecnológicos han permitido encontrar soluciones para los problemas ocasionados por las descargas de aguas residuales. Un ejemplo de estos avances son los sistemas de tratamiento de aguas residuales (PTAR), los cuales utilizan componentes primarios, secundarios y terciarios para reducir o eliminar la concentración de contaminantes presentes. Por lo tanto, se propone la implementación de una PTAR en el municipio de Pucará. Es importante que los municipios cumplan con las normativas ambientales vigentes y protejan el bienestar de la comunidad. Por esta razón, se plantea un diseño que reduzca o elimine la mayoría de la contaminación presente en estas descargas de aguas residuales.

### **1.2.2 DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.**

El proyecto de titulación actual se enfoca en proponer y simular, utilizando el software Stoa 5.0, un sistema de tratamiento de aguas residuales para las descargas del alcantarillado en el centro cantonal de Pucará, considerando el aforo y la caracterización de la calidad de los líquidos residuales. Así mismo, se considera las necesidades del municipio, población de la zona originaria de las descargas y como base se usó la normativa ambiental vigente del país.

## **CAPÍTULO II**

### **2. REVISIÓN LITERARIA**

#### **2.1 ESTADO DEL ARTE.**

Las aguas residuales nacen con el sedentarismo, el comercio, y la producción, en el tiempo neolítico hace aproximadamente más de 8.500 A.C. Esto ocurre con la concentración de núcleos poblados, la formación de grupos humanos que después fueron formando ciudades, la producción artesanal y la formación del poder político (Wearewater, 2017).

Desde hace mucho tiempo atrás, las culturas a nivel del mundo acostumbraban a dejar que la naturaleza depure la contaminación ambiental ocasionada por el hombre, descargando todo tipo de residuos, entre ellos las aguas residuales en fuentes de aguas naturales aledañas a sus asentamientos o directamente al suelo. Como el hombre no era excedente en la tierra, el agua diluía sin ninguna dificultad la contaminación presente, por lo que los pobladores aguas abajo podían usarlas para riego. Al pasar de los años, el tema se agravó, debido a que la población aumentó y las actividades del ser humano eran cada vez más diversas, pues contienen más químicos. Por ello, estas aguas residuales son altamente contaminadas y está en tan grandes cantidades que la naturaleza es incapaz de depurarlas.

Una de las primeras instalaciones de saneamiento de aguas residuales fueron los pozos ciegos que aparecieron hace 4000 a.C. en Babilonia. Estos consistían en realizar un pozo en el terreno donde concentraban los excrementos. Con el tiempo, se generalizó por otras localidades del imperio en el área rural y, a medida que avanzó, los años desarrollaron tecnologías hidráulicas para el transporte de las aguas negras que provenían de los baños o sistemas sanitarios.

#### **2.2 EL AGUA.**

El agua es un recurso natural crucial y desempeña un papel fundamental en el desarrollo y la existencia de la vida en nuestro planeta. Es considerado un derecho humano básico, “agua para todos”, debido a su importancia vital. Sin embargo, en la sociedad actual, nos enfrentamos a problemas de escasez de agua, lo que ha llevado a que este recurso se convierta en un bien valioso y altamente valorado. Lamentablemente, la aparente abundancia de agua ha llevado a su utilización como un vertedero habitual para todo tipo de residuos, lo cual ha dado lugar a graves problemas de contaminación hídrica en ríos y mares en todo el mundo. Estos problemas se han extendido y se han vuelto cada vez más serios, representando una amenaza significativa para la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

##### **2.2.1 LAS AGUAS RESIDUALES.**

Conocidas también como aguas grises, son mezclas de líquidos y sólidos domésticos, que contienen orina, lodos fecales, líquidos del lavado de ropa y duchas, de establecimientos comerciales e instituciones, efluentes industriales, aguas pluviales, escorrentías urbanas,

escorrentías agrícolas, hortícola y acuícola, etc (Raschid-sally & Jayakody, 2008). Cuando el agua se ve influenciada por la intervención humana o escorrentías fluviales, experimenta una serie de cambios que alteran sus características físicas, químicas y biológicas. (Fernandez-Alba et al., 1997).

### **2.2.2 PROBLEMÁTICA DE LAS AGUAS RESIDUALES.**

En los últimos años, en países en desarrollo o emergentes, se ha observado un aumento significativo en la actividad industrial, la minería, el comercio, la actividad hotelera, así como también el aumento de la población y el crecimiento demográfico. Estos factores han generado graves problemas de contaminación debido a la falta de preparación para enfrentar estos nuevos desafíos. Entre las causas, se encuentran la escasa educación ambiental, la falta de valoración del medio ambiente, la asignación limitada de recursos económicos para el cuidado ambiental, la falta de compromiso por parte de las autoridades en materia de clasificación y valorización de efluentes, y la limitada disponibilidad de fondos para desarrollar alternativas de remediación y mitigación, como es el caso de la implementación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR).

La problemática de las aguas residuales se refiere a los desafíos relacionados con la gestión inadecuada de los efluentes generados por actividades humanas, ya sean domésticas, industriales o municipales. Algunos de los problemas principales incluyen:

**Contaminación del agua:** Las aguas residuales no tratadas contienen una variedad de contaminantes, como productos químicos, nutrientes y patógenos, que pueden afectar negativamente la calidad del agua en ríos, lagos y acuíferos subterráneos.

**Impacto en la salud pública:** La presencia de patógenos en las aguas residuales sin tratar puede propagar enfermedades transmitidas por el agua, como cólera, hepatitis y fiebre tifoidea, lo que pone en riesgo la salud de las comunidades.

**Degradación del medio ambiente:** La descarga de aguas residuales sin tratar puede dañar los ecosistemas acuáticos y terrestres, causando la muerte de la vida acuática, la reducción de la biodiversidad y la degradación del suelo.

Actualmente, debido a los desafíos mencionados, nos enfrentamos a una situación en la que ya hay escasez del recurso hídrico en nuestro país. A pesar de ser uno de los países de Sudamérica con grandes reservas de agua dulce.

### **2.2.3 TIPOS DE AGUAS RESIDUALES.**

Principales efluentes de las aguas residuales:

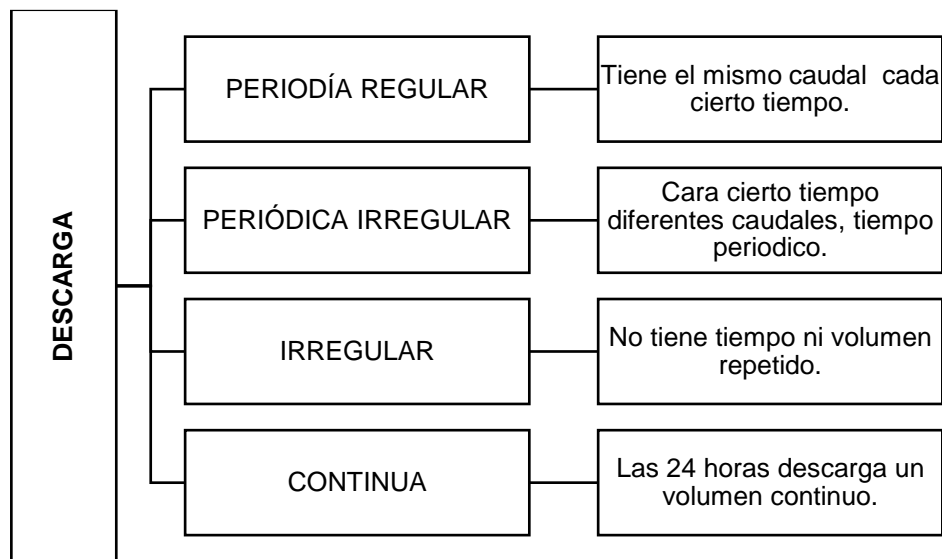
- **Aguas cloacales:** Son fluidos residuales derivados de domicilios y zonas residenciales, edificaciones o localidades comerciales e instituciones (Romero, 2010).

Lozano - Rivas, (2012), menciona que este tipo de efluentes se dividen en:

- **Aguas negras:** Líquidos que tienen contenido de heces y orina, proveniente de tazas sanitarias.
- **Aguas servidas:** Son líquidos que contienen grasas, proveniente de la ducha, lavamanos, lavaplatos, y lavadoras.
- **Aguas residuales municipales:** Son desechos líquidos que se transportan por un red sanitaria de una ciudad o pueblo conglomerado urbano o también rural (Romero, 2010).
- **Aguas procedentes de industrias:** son líquidos residuales que proceden de procesos productivos, generalmente contienen componentes químicos y hasta sustancias tóxicas (Ramalho, 1983).
- **Aguas pluviales:** Este tipo de aguas en sitios de zonas urbanizadas puede tener efectos contaminantes considerables (Ramalho, 1983).

#### 2.2.4 TIPOS DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES.

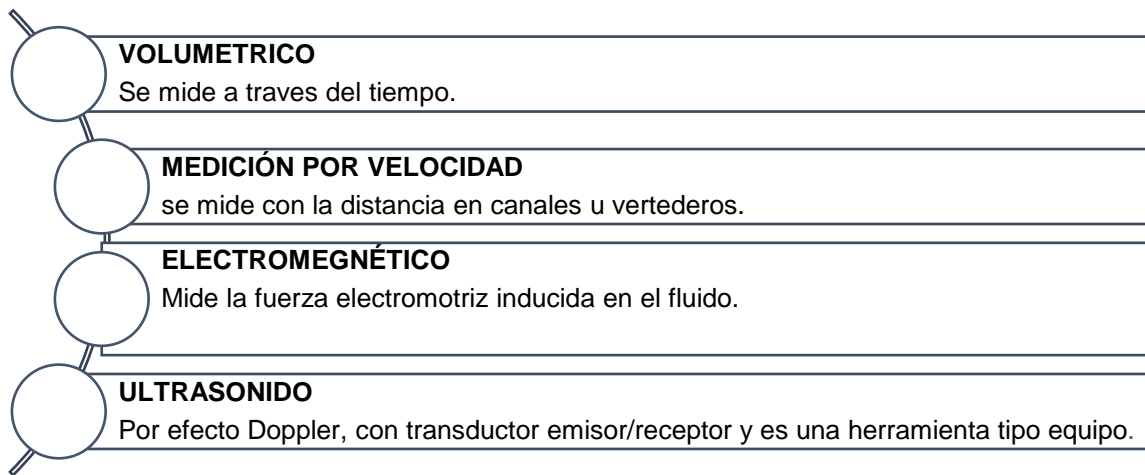
Acto de depositar una sustancia sea esta gaseosa, sólida y líquida a un cuerpo receptor. Esta descarga, bien puede depositarse a cursos de agua o directamente al suelo (Ilustración 1).



**Ilustración 1.**Diferentes tipos de descargas.

#### 2.3 TIPOS DE AFORO.

Es una operación en campo que permite conocer o determinar el valor del caudal. Existen varios tipos, se describe los más usados a continuación en la Ilustración 2.



**Ilustración 2.**Tipos de aforo

### 2.3.1 AFORO VOLUMÉTRICO.

Es uno de los métodos más exactos, el cual consiste en ubicar en la descarga un depósito o recipiente impermeable, cuyo volumen se conozca y contar el tiempo en que el envase se llena, para lo cual se usa la siguiente formula (Sánchez, 2013).

$$Q = V / t \quad \text{Donde } Q: \text{caudal}$$

V: volumen

t: tiempo

### 2.4 MUESTREO DE AGUA.

Es la recolección de una muestra o porción de agua en un envase de vidrio con la finalidad de conocer la calidad de agua. Para esta actividad de campo, existen diferentes tipos de muestreo de agua, que se detallan a continuación en la (Ilustración 3).

TIPOS DE MUESTREO				
M. COMPUESTA	M. PUNTUAL	M. PERIODICA	M. EN SERIE	M. CONTINUA
Esta formada por la mezcla de dos o más muestras y las proporciones de la mezcla estan basadas en el flujo y el tiempo.	Se toma al azar, en relación con el tiempo/ lugar de un volumen de agua.	Son tomadas a intervalos fijos de tiempo o flujos fijos, que dependen del tiempo, flujo o volumen.	Son tomadas en una profundidad especifica o varias profundidades que sirven para determinar perfiles de área de estas.	Son tomadas a flujos fijos o variables, se analizan de manera deparada.

**Ilustración 3.**Características de los tipos de muestreo.

**Fuente:** (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

## 2.4.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES.

Para dimensionar las partes unitarias de un correcto y adecuado sistema de tratamiento de desechos residuales y con un adecuado porcentaje de acuerdo con la carga de concentración, es necesario conocer la fuente de este tipo de aguas residuales, así como también sus propiedades y procedencia. Se pueden observar las propiedades y contribuyentes más comunes en aguas residuales en la Tabla 1.



**Tabla 1.** Propiedades y contribuyentes físicas, químicas y biológicas básicas del agua residual.

	CARACTERÍSTICAS	PROCEDENCIA
Propiedades Físicas	Sólidos	Agua de suministro, agua residual doméstica e industrial, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
	Olor	Agua residual en descomposición y vertidos industriales.
	Color	Agua residual doméstica e industrial, erosión del suelo, infiltración y conexiones incontroladas.
	Temperatura	Agua residual doméstica e industrial.
Constituyentes Químicos (Orgánicos)	Aceites y grasas.	Agua residual urbana, domestica, comercial o industrial.
	Fenoles	Vertidos industriales.
	Agentes tensoactivos	Agua residual doméstica e industrial.
	Pesticidas	Residuos agrícolas.
	Proteínas	Agua residual doméstica y comercial.
	Otros	Desintegración natural de materiales orgánicos.
Constituyentes Químicos (Inorgánicos)	Cloruros	Agua de suministro, agua residual doméstica, infiltración del agua subterránea, ablandadores de agua.
	Alcalinidad	Agua residual domésticas, agua de suministro, infiltración del agua subterránea.
	Nitrógeno	Agua residual doméstica y residuos agrícolas.
	Metales pesados	Vertidos industriales.
	pH	Vertidos industriales.
	Fósforo	Agua residual doméstica y residuos agrícolas.
	Azufre	Aguas de suministro, agua residual doméstica e industrial.
	Compuestos tóxicos	Vertidos industriales.
Propiedades biológicas	Animales	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
	Protistas	Agua residual doméstica y plantas de tratamiento.
	Plantas	Cursos de agua y plantas de tratamiento.
	Virus y bacterias	Agua residual, hospitalaria y doméstica.

Fuente:(Metcalf & Eddy, 1995).

## 2.4.2 PARÁMETROS BÁSICOS EN LA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES.

Son medidas físicas, químicas y biológicas que sirven para medir la composición o caracterizar la calidad de agua residual. A continuación, se muestran los contaminantes más comunes en la (Ilustración 4).

	<p><b>DQO.-</b> Demanda química de oxígeno, es una oxidación química, transformaciones oxidativas de compuestos biodegradables y no biodegradables.</p>
	<p><b>DBO<sub>5</sub>.-</b> Demanda bioquímica de oxígeno al quinto día, es decir, los microorganismos necesitan consumir oxígeno para procesar el agua contaminada por la materia orgánica, donde se deduce que, a más consumo de oxígeno mayor cantidad de materia orgánica.</p>
	<p><b>Sólidos totales.-</b> Suma total de solidos suspendidos, sedimentables y precipitables (en solución).</p>
	<p><b>Sólidos sedimentables.-</b> Tienen un tamaño de partícula grande, sedimentan bastante rápido ya que tiene una forma que le permite desplazarse al fondo por acción de la gravedad.</p>
	<p><b>Sólidos suspendidos.-</b> Partículas muy pequeñas que permanecen en suspensión en el agua, que demoran mucho en sedimentar.</p>
	<p><b>Grasas y aceites.-</b> Son lípidos que flotan en el agua.</p>
	<p><b>pH.-</b> Es el grado de acidez o alcalinidad, depende del número de protones libres en el agua, lo cual lleva una escala de 0 -14.</p>
	<p><b>Temperatura .-</b> Velocidad o movimiento de átomos y moléculas.</p>
	<p><b>Turbidez.-</b> Es la dificultad del paso de luminosidad a través del agua (FNU).</p>

**Ilustración 4.** Identificación y cuantificación de propiedades presentes en aguas residuales.

**Fuente:**(Barreto, 2010).

La caracterización de aguas residuales se utiliza para identificar y cuantificar los contaminantes en los fluidos residuales a tratar, información que luego se usa para determinar y aplicar un tratamiento adecuado que logre la reducción e eliminación en gran magnitud de la contaminación del agua de manera eficiente.

## 2.5 PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL.

Son sistemas que purifican o depuran aguas contaminadas (PTAR), en la cual forman una conexión de sucesos y acciones unitarias orientadas a eliminar o reducir concentraciones contaminantes en el agua. Este proceso se realiza antes de su vertimiento al cuerpo receptor, de

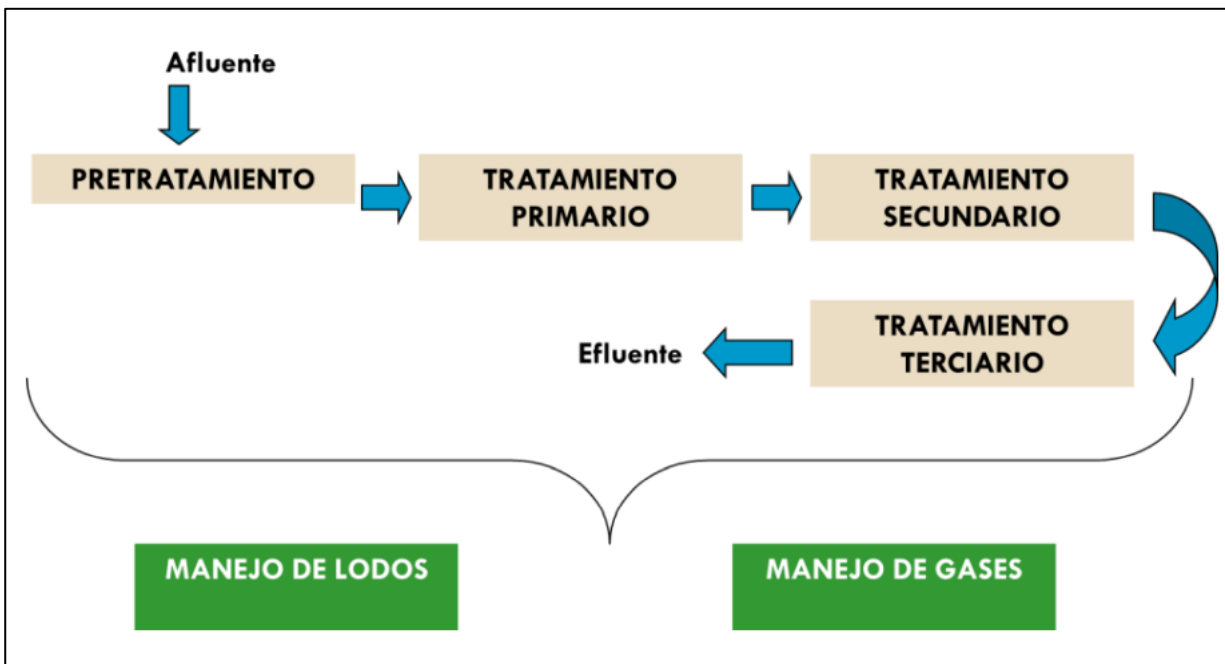
manera que logre mitigar la contaminación en ecosistemas, medios acuáticos y medio ambiente en general (Lozano Rivas, 2012).

La eficacia de la PTAR se logra y se conforma de acuerdo con el origen y necesidades del efluente a través de un buen análisis de agua de acuerdo con la descarga, promedios de caudales a tratar. Se debe tomar en cuenta la población presente y, a su vez, proyectarla para un tiempo rentable en combinación con los caudales estadísticos como punta, promedio, mínimo y cargas contaminantes (Metcalf & Eddy, 1995).

### 2.5.1 OPERACIONES Y PROCESOS UNITARIOS DE UNA PTAR.

Las acciones unitarias se refieren a procesos en los que prevalecen mecanismos físicos y no registran o produzcan cambios a nivel químico. Ejemplo de estos son las rejillas de retención de sólidos o un desarenador (Ilustración 5). Por otro lado, los procesos individuales incluyen reacciones químicas o bioquímicas y alteraciones moleculares, algunos ejemplos son las unidades de coagulación y floculación, biorreactores y cámaras de esterilización. De este modo, se pueden expeler o reducir las impurezas mediante tratamientos químicos, físicos y biológicos. (Lozano Rivas, 2012).

Las principales etapas en un sistema tratamiento de efluentes, de las cuales, las cuatro descontaminan excelente, a tal punto que permite la reutilización del agua para riego o actividades agrícolas, mientras que, sin la última etapa, solo se hace posible regresar al curso hídrico la descarga, y, de este modo, se logra prevenir la contaminación de los recursos naturales (Ramalho, 1983). A continuación, se muestran las etapas de tratamiento en la Ilustración 5.



**Ilustración 5.**Esquema de tratamiento de las aguas residuales

**Fuente:** (Lozano Rivas, 2012).

En los desarrollos individuales de transformación bioquímica especialmente en reactores biológicos, la eliminación de contaminantes se logra mediante la participación de microorganismos, que aprovechan la materia orgánica soluble e insoluble como fuente para alimentarse, generando así nuevas combinaciones, gases, energías, y llegan a reproducirse, dando lugar a nuevas células (síntesis celular) (Lozano Rivas, 2012).

Es importante detallar la finalidad y la funcionalidad de cada etapa de la planta de tratamiento, ya que cada unidad tiene una función de descontaminación específica. Por ello, son diseñados de acuerdo con los parámetros de la calidad del agua, lo que hace que cada sistema de tratamiento sea único, como se demuestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.** Características relevantes individuales de las etapas de tratamiento.

ETAPA	OBJETIVO	UNIDADES MÁS REPRESENTATIVAS	TIPO DE FENÓMENOS INVOLUCRADOS	NIVELES DE EFICIENCIA
PRETRATAMIENTO	Eliminar en lo posible sólidos gruesos para evitar atascos, abrasión y daños a tuberías, bombas, equipos.	Pozo de gruesos -Rejillas -Desarenador - Desengrasador - Tanque de lgalación u homogenización	Físicos Químicos (neutralización).	No se espera que se pueda llegar a remover cantidades significativas BQO/DQO.
TRATAMIENTO PRIMARIO	Su principal función es remover la mayor parte de la materia orgánica suspendida decantable.	Decantadores primarios (por gravedad o asistidos químicamente). - DAF (unidades de flotación por aire). - Tamices ( efluentes industriales).	Físicos. Químicos (decantación asistida).	DBO: Será posible la remoción de 50% (hasta 80% con decantación asistida).
TRATAMIENTO SECUNDARIO	Remover materia orgánica soluble y suspendida. Eliminar patógenos y otros elementos contaminantes.	Reactores biológicos aerobios (lodos activados, filtros percoladores, biodiscos, humedales, lagunas) -Reactores biológicos Anaerobios.	Biológicos	SST: Remoción de hasta 70% (hasta 85% con decantación asistida).  DBO: hasta un 92% SST: hasta un 90 %.
TRATAMIENTO Terciario	Elimina todos los contaminantes patógenos; específicos (nitratos, metales, pesticidas)	Coagulación-floculación - Adsorción - Intercambio iónico - Filtración - Lagunas - Desinfección.	Químicos, Biológicos.	Eficiencias variables de remoción, dependiendo de las características.

**Fuente:** (Metcalf & Eddy, 1995; (Metcalf & Eddy, 1998).

## 2.6 PROCESOS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO.

### 2.6.1 PRETRATAMIENTO.

Prepara el efluente a través de la reducción de características específicas y preserva el sistema de posibles problemas, durante el funcionamiento de los diferentes procesos, el mismo que está coordinado a lo largo del tratamiento; por ende, recorta costos de mantenimiento (CONAGUA, 2016).

### 2.6.2 CRIBADO.

Las rejas constan de barras de acero o hierro con pequeñas aperturas perpendiculares inclinadas llevadas a cabo por un cálculo de fórmulas que pueden ser mecánicas o manuales y retienen los sólidos gruesos para evitar posibles daños a la planta de tratamiento. En ese sentido, existen diferentes cribados según el tamaño de sólidos que se desea tratar para el caudal como se muestra en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Distintos tipos de cribados.

TIPOS DE CRIBADOS			
CRIBADO	APRETURA	UNIDAD	INFORMACIÓN
Rejas	15	cm	Eliminan sólidos grandes, trapos y sólidos de gran tamaño de las aguas residuales.
Rejillas gruesas	6 - 2,5	mm - cm	Eliminan sólidos grandes, trapos y sólidos de gran tamaño de las aguas residuales.
Rejillas finas	1,5 - 6	mm	Eliminar el material que puede alterar significativamente el funcionamiento y el mantenimiento de las unidades de proceso.
Rejillas muy finas	0,2 - 1,5	mm	pueden reducir los sólidos en suspensión cerca del nivel del tratamiento primario.

**Fuente:** (CONAGUA, 2016).

### 2.6.3 REJILLAS MANUALES.

Requieren de una limpieza manual periódica o cada que se observe acumulación de sólidos, los cuales se rastrillan regularmente hacia una placa perforada donde se drenan los desechos. Estos sistemas requieren bajo mantenimiento (Ilustración 6).

Los caudales de alta velocidad pueden causar dificultad en la captura de sólidos y estos, a su vez, pasar a las siguientes unidades del sistema de tratamiento, provocando un bloqueo del mismo (Ramalho, 1983). Estas son colocadas en instalaciones donde se realiza, la construcción de la base y la implementación de los demás procesos de una PTAR (CONAGUA, 2016).



**Ilustración 6.**Rejillas manuales.

**Fuente:** (SINERTECH, 2021).

#### **2.6.4 REJILLAS MECÁNICAS.**

Este tipo de rejas cuenta con un sistema de autolimpieza mecánica, lo cual resulta una reducción significativa de costos asociados a la limpieza. El diseñador tiene la posibilidad de seleccionar entre diversas marcas de rejas disponibles en el mercado, de acuerdo con las necesidades específicas de su proyecto.

Tiene la facilidad de ajustar el largo de las rejillas para detener los sólidos, acorde al tipo de agua residual que se requiera tratar, en algunos casos también sirve como sedimentador (Ilustración 7). (CONAGUA, 2016).



**Ilustración 7.**Rejillas mecánicas

**Fuente:** (SINERTECH, 2021).

#### **2.6.5 DESARENADOR.**

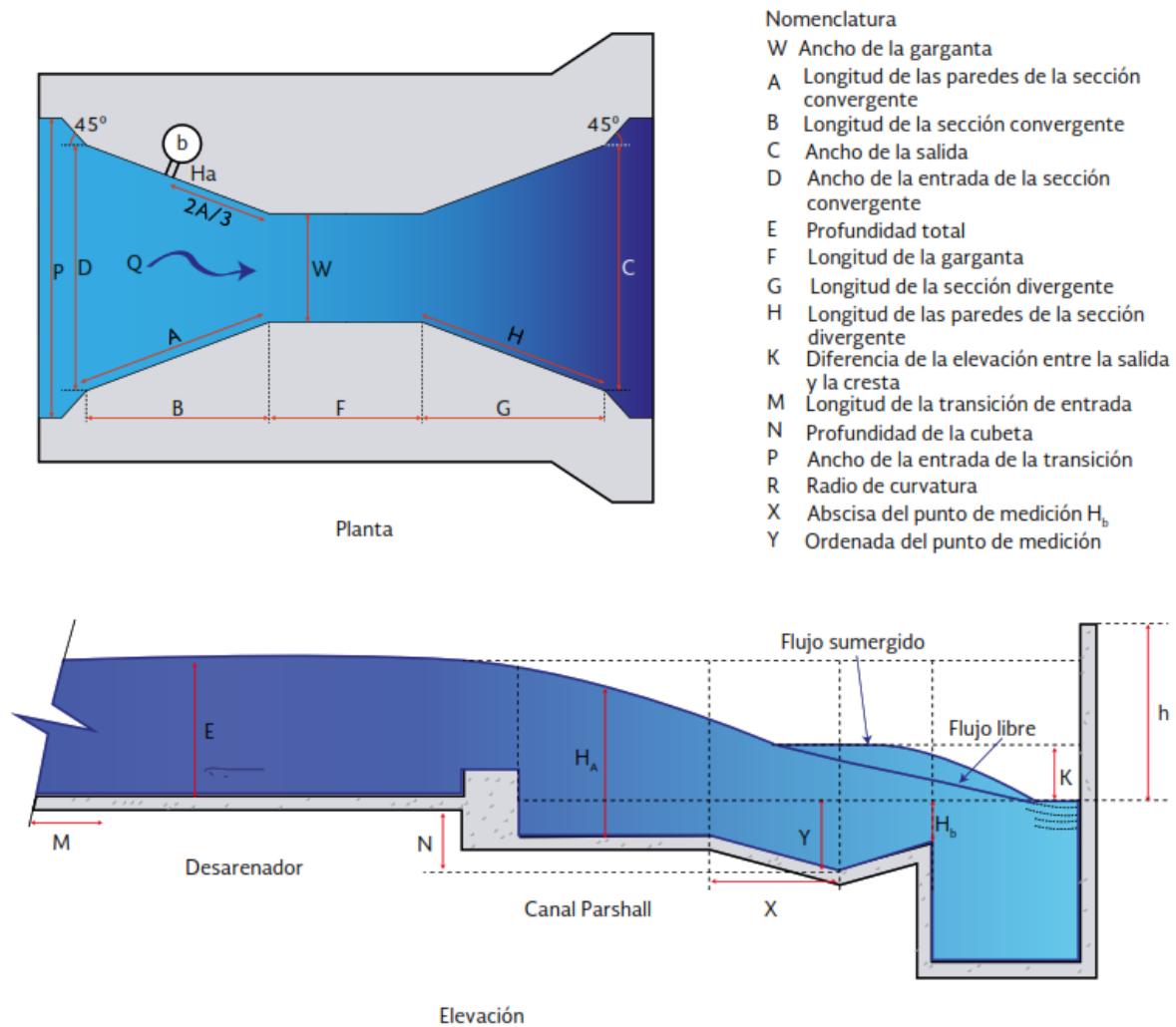
Son tanques diseñados con el objetivo de separar las arenas del líquido, sin remover o tratar la masa orgánica que se encuentre suspendida en las aguas residuales. Estos previenen

obstrucciones en los procesos, por lo que consiguen asegurar el normal funcionamiento y tratamiento del sistema de aguas residuales (Sánchez & Román, 2020).

Por otro lado, los desarenadores reducen la constante limpieza del digestor debido a la acumulación de arenas, lo cual es importante para proteger las bombas centrífugas que maneja los lodos y el almacenamiento de la arena en el sistema, ya que puede dañarse alguna función o impedir la normalidad de los procesos de tratamiento (CONAGUA, 2016).

### 2.6.6 CANAL PARSHALL

Sirve como un dispositivo que controla la velocidad, regula los flujos de los caudales residuales manteniéndolos casi constantes, ya que maneja caudales picos, medios y mínimos para estandarizarlos. Se colocan al final de los desarenadores, requieren de caída libre y una cresta o área libre que vaya por debajo del desarenador para que su función sea de manera correcta (Ilustración 8). (CONAGUA, 2016).



**Ilustración 8.** Dimensión y ubicación del canal Parshall después del desarenador

**Fuente:** (CONAGUA, 2016).

## **2.7 EFICIENCIA DE PRINCIPALES TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Los principales elementos necesarios para seleccionar la tecnología adecuada con cada operación y proceso individual de tratamiento, según requiera la caracterización del efluente municipal, son:

- La composición del efluente en términos de contaminación es un factor clave que determina el tipo de tecnología que debe emplearse para lograr la eficiencia necesaria y cumplir con las regulaciones establecidas en la normativa ambiental vigente.
- Conocer la eficiencia de remoción y polución de las diferentes tecnologías de tratamiento existentes y escoger la que mejor se adecue de acuerdo con la zona de estudio. (Rodríguez Miranda et al., 2015).

A continuación, se detallan los distintos componentes de tratamiento, junto con el porcentaje de eficiencia correspondiente para la eliminación de la concentración de cada parámetro en el agua residual en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Porcentajes de remoción de contaminantes por tecnologías existentes.

TECNOLOGÍAS DE TRATAMIENTO	REFERENCIA	EFICIENCIA DE REMOCIÓN (%)					
		SST	DBO5	DQO	N TOTAL	P TOTAL	COLIFORMES
Desarenador convencional	RAS (2000)	0-10	0-5	0-5			
	Metcalf & Eddy (2001)	0-10	0-5	0-5			
	Metcalf & Eddy (2001)	50-65	30-40	30-40		10-20	
Sedimentador primario	Fair (1954)	40-70	25-40	20-35			25 - 75
Tanque Imhoff	Tchobanoglous (2000)	50	40-50	35-50			
Primario avanzado	Yáñez (1995)	70-90	50-85				40 - 80
	Tsukamoto (2002)	73-84	46-70		<30	10-20	80 - 90
Filtro anaerobio	Rodríguez et al. (2006)		70-80	75-85			
UASB – laguna facultativa	CDMB (2006)	84	88				
UASB – lodo activado	Van Haandel – Lettinga	85-95	85-95		15-25	10-20	70 - 95
UASB – lodo a ctivado SBR	Torres (2000)	84-86	87-93		20-90	72	70 - 90
Reactor anaerobio de flujo pistón RAP	RAS (2000)	60-70	65-80	60-80		30 - 40	
Reactor anaerobio de contacto	Rodríguez et al. (2006)			75-90			
Sedimentador secundario	RAS (2000)	80-90	80-95	80-95		10-25	
Lodo activado convencional	Yáñez (1995)	85-98	70-98				95-98
Reactor anaerobio de flujo pistón RAP	Fair (1954)	55-95	55-95	50-80			90 - 98
Reactor anaerobio de contacto	Rodríguez et al. (2006)	80-90	85-93		30-40	30-45	60 - 90
Lodo activado – SBR	Von Sperling (1996)	80-90	85-95		30-40	30-45	60 - 90
Filtro percolador alta tasa	Metcalf & Eddy (2001)	60-85	65-80	60-80	15-30	8-12	90 - 95
	Von Sperling (1996)	85-95	80-93		30-40	30-45	60-90
Filtro percolador súper tasa	RAS (2000)	65-85	65-85	65-85		8 - 12	

**Fuente:** (Rodríguez Miranda et al., 2015).

Mientras, más eficiencia tiene una planta de tratamiento mayores son los costos, por lo que también son tecnologías más complicadas y avanzadas, que, a su vez, hacen uso de más energía, etc. Desde un punto de vista económico, implica mayores costos de ejecución y mantenimiento, por lo tanto, al seleccionar las unidades de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales

PTARM, también es necesario considerar estos aspectos especialmente en un país en vía de desarrollo. En este contexto, los valores de financiamiento son una variable crucial que influye en la aplicación o construcción de una PTARM. En la mayoría de los casos, estas plantas son construidas por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GAD municipal), cuyos medios económicos están relacionados con las políticas y propósitos de inversión específicos de cada cantón (Rodríguez Miranda et al., 2015).

Al optar por un sistema de tratamiento, es crucial tener en cuenta varios elementos adicionales. Estos incluyen la viabilidad, la flexibilidad, la accesibilidad, controles y procedimientos técnicos de construcción pluridisciplinarios que se ajusten estrictamente a las regulaciones ambientales actuales, para la descarga de aguas residuales en cuerpos de agua dulce o directamente al suelo (Rodríguez Miranda et al., 2015).

### **2.7.1 TRATAMIENTO PRIMARIO.**

Son procesos unitarios empleados que buscan eliminar la materia orgánica en aguas residuales y que se basan en la precipitación o asentamiento de sólidos. Estos procesos pueden o no involucrar el uso de reactivos y pueden incluir diversos métodos de oxidación. La concentración acumulativa de sólidos suspendidos tiene lugar en un tanque conocido como sedimentador primario, donde las aguas residuales se retienen durante un período de tiempo que puede variar desde media hora hasta varias horas. Durante este lapso, aproximadamente el 40% a 65% de los sólidos se sedimentan al asiento del tanque, y luego se extraen en forma de lodos mediante recopiladores mecánicos. Algunos de estos lodos, presentan características naturales de ser pegajosos y floculantes, por lo que no requieren la adición de productos químicos ni operaciones de mezclado. Sin embargo, para la eliminación de sólidos livianos, como grasas y aceites, se deben utilizar otros procesos, como el empleo de trampas de grasas. (Ponce, 2020).

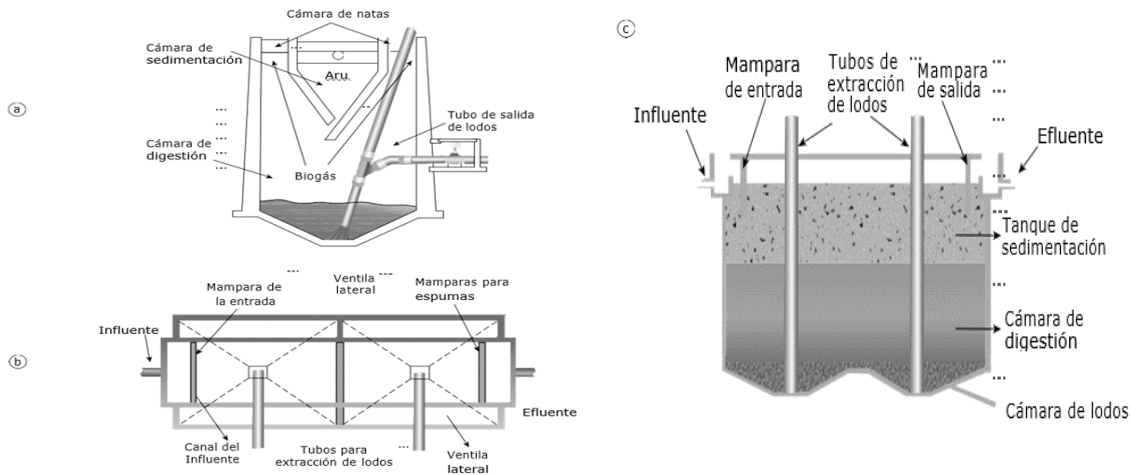
Los tanques utilizados en este proceso pueden ser de forma circular, lo cual resulta beneficioso debido a que no hay espacios donde se acumule la materia orgánica ni se formen algas, mientras que, en el tanque cuadrado, los sólidos tienden a irse a las orillas o bordes en forma de triángulo que con el tiempo se producen algas.

#### **a. TANQUE IMHOFF.**

Es un tanque de concreto armado, que pueden ser de forma cuadrada o circular, su función es sedimentar los sólidos sedimentables. Su interior se encuentra dividido en dos secciones y procesos diferentes, los cuales son la sedimentación y la digestión de lodos; consta de cuatro áreas: a) La entrada, que es un tubo mismo que empuja el agua contaminada a fluir hacia la zona del sedimentador mediante un deflector; b) La sedimentación, aquí el agua residual permanece entre dos y cuatro horas mientras los sólidos van cayendo al fondo, c) Cámara de digestión, lugar donde los lodos se descomponen por dos o tres meses y d) una salida que está conformada por un tubo (Ilustración 9).

El tanque Imhoff es un componente de tratamiento primario que opera bajo condiciones anaeróbicas, generalmente es bastante adecuado para comunidades de entre 500 a 5 000 habitantes debido a su bajo costo de construcción y operación (CONAGUA, 2015).

La Ilustración 9 muestra en el literal a) vista del tanque IMHOFF desde un plano; b) vista del tanque IMHOFF desde una planta, y c) vista interna desde una planta.



**Ilustración 9.** a) Vista del tanque IMHOFF desde diferentes ángulos.

**Fuente:** (CONAGUA, 2016).

## 2.7.2 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

Esta etapa emplea procesos biológicos y químicos con el fin de eliminar la materia orgánica, incluyendo sólidos en suspensión y compuestos orgánicos biodegradables. Además, se implementan procesos de esterilización, como cámaras de contacto de cloración, ya que este proceso representa uno de las últimas fases en el tratamiento de las aguas residuales antes de su vertido en cuerpos de agua o directamente en el suelo (Metcalf & Eddy, 1995).

En este tratamiento, se logra eliminar de manera notable, en un rango de, entre el 40% y el 60%, la concentración de sólidos y nutrientes presentes en las aguas residuales. Esto es posible gracias al diseño personalizado basado en las características específicas de dichas aguas, lo que permite la implementación de los procesos unitarios necesarios para tratar el agua residual de manera eficiente y efectiva.

### a. FILTRO BIOLÓGICO.

Los filtros biológicos son altamente eficientes, con una capacidad de remoción que oscila entre el 70% y el 85%. Estos filtros son muy recomendables debido a su mantenimiento económico. Consisten en contenedores que contienen un material filtrante llamado biopelícula, en el cual se forma una capa compuesta por microorganismos que justamente se denomina biopelícula. Esta se asemeja a un tejido celular y tiene como objetivo principal reducir o eliminar la carga orgánica

presente en el agua residual. Los filtros biológicos son un método efectivo, ya que facilitan la interacción entre las aguas residuales y la materia orgánica adherida a un medio estable, con lo que se crea una capa de oxidación biológica; como se muestra en la (Ilustración 10) (Romero, 2010).



**Ilustración 10.**Filtro percolador.

**Fuente:** (ABIONIK, 2019).

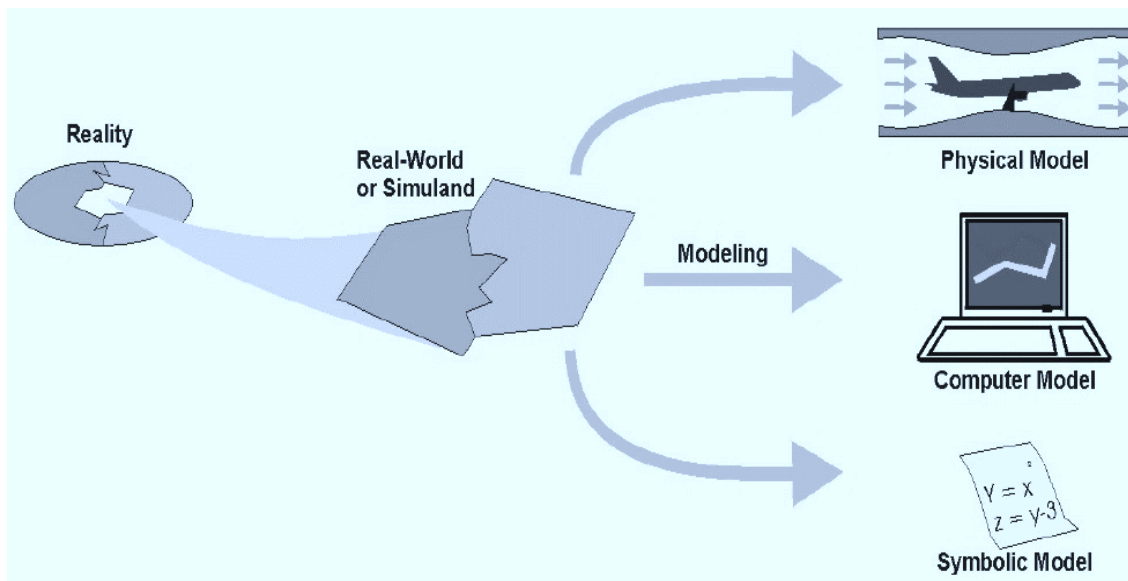
#### **b. CÁMARA DE CONTACTO DE CLORO.**

En esta zona se retiene el agua residual como última etapa del segundo o tercer tratamiento, donde se desinfecta con una dosis de cloro calculada según su caudal. Basándose en las normativas y guías nacionales, con el propósito de eliminar patógenos presentes en el agua para luego ser reintegrada al ecosistema natural. Esta cámara es un tanque, de forma cuadrada o circular, que remueve la acción bacteriana.

### **2.8 LA SIMULACIÓN.**

La simulación se determina como la sucesión de esquematizar una representación computarizada de la realidad de los diferentes procesos de tratamiento, donde se puede comprender y evaluar las actividades del sistema compuesto para, posteriormente, validar el modelo y técnicas para la operación de un sistema de tratamiento de aguas contaminadas (Robson, 1985).

A la simulación se la puede ver como una representación de la realidad, tiene como fin explicar desde un amplio panorama la función de un modelo o sistema de procesos que se busca implementar a futuro. Además, tiene la capacidad de mostrar la conducta de un acontecimiento o suceso en el tiempo que se presenta en nuestro entorno (Ilustración 11).



**Ilustración 11.**Relación entre realidad mundo real, modelado y simulación.

Fuente:(Roza, 2005).

### 2.8.1 IMPORTANCIA Y COMPROBACIÓN DE LA SIMULACIÓN DE SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Es fundamental destacar la importancia de la simulación, ya que nos permite realizar pruebas virtuales para anticiparnos a los futuros procesos reales, validar el comportamiento y la eficacia de un sistema de tratamiento de aguas residuales, considerando las características del efluente y buscando cumplir con las necesidades del proyecto.

- El entender y plantear una simulación puede facilitar el desarrollo, también, de un modelo de comportamiento en una computadora y, se la puede validar con otros procesos de la realidad.
- Permite controlar el desempeño de un sistema de tratamiento.
- Permite garantizar la optimización de los distintos procesos individuales de una PTAR.
- Permite analizar la sensibilidad o factibilidad a la que actúa una PTAR.
- Científicamente son sistemas de formación eficiente y valioso en los varios procesos.

### 2.8.2 TIPOS DE SIMULACIÓN

Existe una gran cantidad de simulaciones que varían de acuerdo con el origen de las variables y procesos, que involucran características específicas del efluente. En la Tabla 5 se evidencia la taxonomía y la descripción de los diferentes modelos de simulación (Hernández, 2015).

**Tabla 5.**Tipos de simulación.

<b>SIMULACIONES</b>		
Tipo de simulación	Subdivisión	Característica representativa
Estática o dinámica	Estática	Representación del sistema o proceso bajo estudio en un tiempo determinado, aunque este tiempo no representa ningún papel.
	Dinámica	Se representa como un sistema o proceso que evoluciona en el tiempo. Generalmente se expresa como un modelo matemático conformado a base de ecuaciones diferenciales.
Determinista o estocástica	Determinista	El modelo no considera variables aleatorias.
	Estocástica	El modelo considera variables aleatorias.
Discreta o continua	Discreta	Las variables del modelo son de tipo discreto.
	Continua	Las variables del modelo son de tipo continuo.
Secuencial o no secuencial	Secuencial	Los números aleatorios que se generan conforman secuencias que definen otras variables.
	No secuencial	Los números aleatorios que se generan no conforman secuencias que definen otras variables.
Secuencial y asincrónica	Sincrónica	El paso del reloj de la simulación es fijo, por ejemplo cada hora, cada día, cada semana, etc.
	Asincrónica	El paso del reloj de la simulación es variable, y se determina según un evento, por ejemplo, cada vez que exista un fenómeno fuera de lo común dentro de un sistema.

**Fuente:** (Hernández, 2015).

### **2.8.3 ETAPAS DE UNA SIMULACIÓN.**

Es primordial establecer un cierto número de pasos para el desarrollo completo de un proceso de simulación, lo que permitirá llevar una secuencia ordenada y lógica en el transcurso de la investigación (Ilustración 12). Estas son etapas de una simulación según las herramientas de modelamiento y simulación comúnmente aplicados por (Roza, 2005).

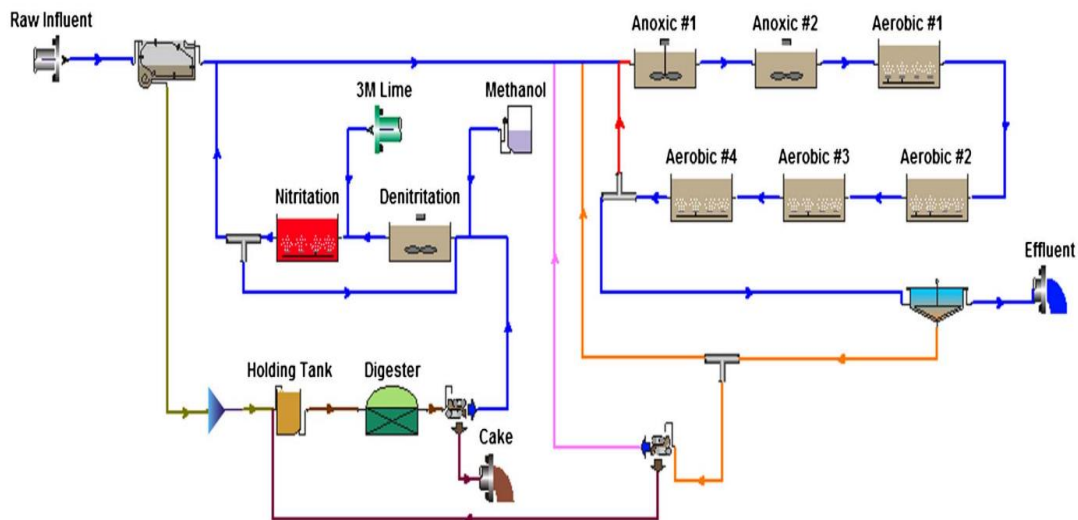


**Ilustración 12.** Etapas de un estudio de simulación

Fuente: (Roza, 2005).

### 2.8.4 FUNDAMENTOS DE LA SIMULACIÓN DE UNA PTAR

Para la simulación de modelos de tratamientos de efluentes municipales, como se indica en la (Ilustración 13), se utiliza un sistema implementado en un programa informático. Estos ejemplos están compuestos por procedimientos mediante fórmulas diferenciales totales o parciales orientadas por la ley de la preservación de la materia.



**Ilustración 13.** Simulación de PTAR mediante de lodos activados, con el software GPS- X

Fuente: (Roza, 2005).

### 2.9 MARCO LEGAL.

En el presente proyecto, se considera las normativas vigentes del país para la simulación de los procedimientos y acciones unitarias de la planta de tratamiento de aguas residuales, las cuales se reflejan en la Tabla 6,7 y 8.

En la Tabla 6, se observa los artículos que defienden el cuidado del agua y las obligaciones del tratamiento de las normativas ambientales vigentes, según la Constitución Política de la República del Ecuador y el Código Orgánica Ambiental del Ambiente (COA).

**Tabla 6.** Normativas ambientales legales vigentes nacionales.

CUERPO LEGAL	TÍTULO Y/O CAPITULO	ARTICULO	DESCRIPCIÓN
CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	Título II Capítulo Segundo Sección Segunda	14	Se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, <i>sumak kawsay</i> .  Conservación de los ecosistemas, la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados.
		15	El Estado promoverá, en el sector público y privado, el uso de tecnologías ambientalmente limpias y de energías alternativas no contaminantes y de bajo impacto.
	Título VII Capítulo Segundo Sección Primera	395	1. El Estado garantizará un modelo sustentable de desarrollo, ambientalmente equilibrado y respetuoso de la diversidad cultural, que conserve la biodiversidad y la capacidad de regeneración natural de los ecosistemas, y asegure la satisfacción de las necesidades de las generaciones presentes y futuras.
CÓDIGO ORGÁNICO DEL AMBIENTE (COA)	Capítulo II De Los Mecanismos De Control Y Seguimiento Ambiental	201	De los mecanismos. El control y seguimiento ambiental pueden efectuarse por medio de los siguientes mecanismos: 1. Monitoreos; 2. Muestreos; 3. Inspecciones; 4. Informes ambientales de cumplimiento; 5. Auditorías Ambientales; 6. Vigilancia ciudadana o comunitaria; y, 7. Otros que establezca la Autoridad Ambiental Competente.
	Capítulo V Calidad De Los Componentes Abióticos Y Estado De Los Componentes Bióticos	191	Del monitoreo de la calidad del aire, agua y suelo. La Autoridad Ambiental Nacional o el Gobierno Autónomo Descentralizado competente, en coordinación con las demás autoridades competentes, según corresponda, realizarán el monitoreo y seguimiento de la calidad del aire, agua y suelo, de conformidad con las normas reglamentarias y técnicas que se expidan para el efecto.
		196	Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales deberán contar con la infraestructura técnica para la instalación de sistemas de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales, de conformidad con la ley y la normativa técnica expedida para el efecto.
ACUERDO MINISTERIAL 097-A	Tabla 9 Límites De Descarga Al Sistema De Alcantarillado Publico	-	Tiene como objetivo proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general, donde específicamente en la Tabla 9 se establece los límites de descarga al sistema de alcantarillado público.

**FUENTE:** (Asamblea Nacional del Ecuador, 2017), ( Código orgánico del Ambiente, 2017).

El Acuerdo Ministerial 097-A, normativa vigente que determina los parámetros y regula los límites máximos permisibles a los cuales se puede verter un efluente a una fuente de agua dulce, como se muestra en la Tablas 7 y 8.

**Tabla 7.** Límites de descarga de efluentes a la red de alcantarillado público

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Soluble en hexano	mg/l	70
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	250
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	500
Fosforo total	P	mg/l	15
Nitrógeno total	N	mg/l	60
Solidos sedimentables	SS	mg/l	20
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	220
Solidos totales		mg/l	1600
Mercurio	Hg	mg/l	0.01

FUENTE: (Código Orgánico del Ambiente, 2017)

**Tabla 8.** Límite de descarga a un cuerpo de agua dulce.

PARÁMETROS	EXPRESADO COMO	UNIDAD	LÍMITE MÁXIMO PERMISIBLE
Aceites y grasas	Soluble en hexano	mg/l	30
Coliformes fecales	NMP	NMP/100ml	Remoción > al 99%
Demanda bioquímica de oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/l	100
Demanda química de oxígeno	DQO	mg/l	200
Fosforo total	P	mg/l	10
Nitrógeno total	N	mg/l	50
Nitrógeno amoniacal	N	mg/l	30
Solidos sedimentables		mg/l	20
Solidos suspendidos totales	SST	mg/l	80
Solidos totales	ST	mg/l	1600
Mercurio total	Hg	mg/l	0.005

FUENTE: (Código Orgánico del Ambiente, 2017).

La Tabla 9 muestra el monto que se calcula y asigna individualmente a cada persona en función del aumento de ciertos parámetros relacionados con la calidad del agua, de acuerdo con las regulaciones establecidas en la normativa peruana. Se utiliza para distribuir equitativamente la responsabilidad de abordar y mitigar los efectos negativos del deterioro de la calidad del agua entre los individuos o miembros de una comunidad. Estos datos se usaron para, de manera matemática, comprobar la dimensión con la simulación.

**Tabla 9.** Contribución per-cápita del aumento de parámetros del agua según la normativa peruana.

<b>APORTES PER CÁPITA PARA AGUAS RESIDUALES</b>	
<b>PARÁMETROS</b>	<b>CANTIDAD</b>
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> ), g/ (hab. día)	50
Demanda química de oxígeno (DQO) g/ (hab. día)	100
Sólidos suspendidos, g/ (hab. día)	90
Fosforo Total, g/ (hab. día)	3
Coliformes fecales. N° de bacterias / (hab. día).	<b>2x10<sup>11</sup></b>

**Fuente:** (Ministerio de vivienda, 2006).

## CAPÍTULO III

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo primordial de este proyecto consistió en la dimensión y simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales municipales para el centro cantonal de Pucará, ubicado en la Provincia del Azuay. Para cumplir con el mismo, se emplearon diversas técnicas tanto dentro del área del proyecto (in situ) como aforo de caudales, determinación de la población y variables relacionadas a la calidad del agua, y técnicas (ex situ) para el análisis de calidad del agua en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca CIITT.

En efecto, el método de investigación usado en el presente proyecto fue el de esquema inductivo, el cual implica la cuasi experimentación en la realización y la recopilación de datos cuantitativos, descriptivos, analíticos e inferenciales. Los resultados obtenidos fueron minuciosamente analizados y se realizaron por revisión bibliográfica para complementar los hallazgos del proyecto (Sánchez & Román, 2020).

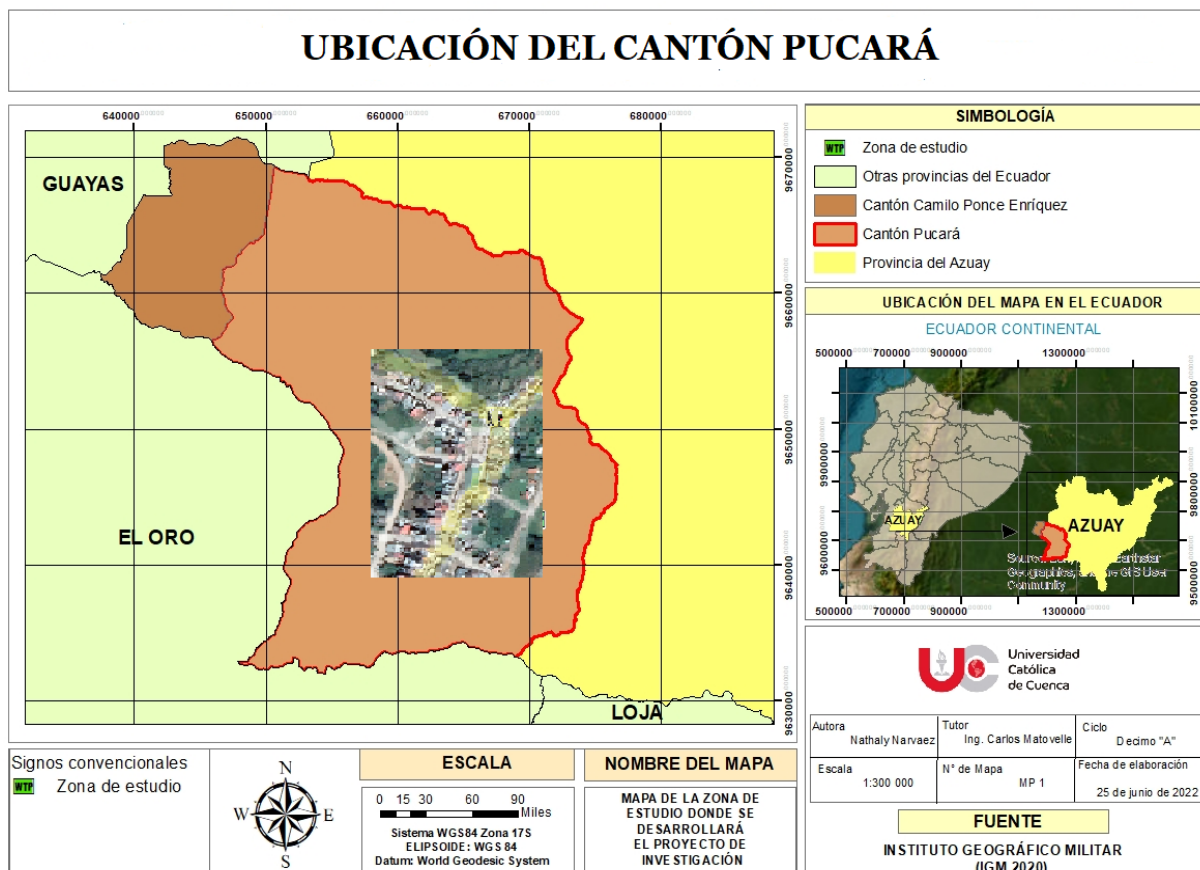
Para efectuar el presente proyecto de investigación y cumplir con los objetivos propuestos, se llevaron a cabo los procesos paso a paso de la siguiente manera:

1. Se realizaron actividades de muestreo y aforo tanto del efluente (descargas de aguas residuales del alcantarillado) como del afluente (río al que se descargan las aguas residuales). Estas actividades se llevaron a cabo durante un período de 5 días, abarcando cada hora desde las 6:00 a.m. hasta las 18:00 p.m.
2. Se recolectó información detallada acerca de los usuarios del sistema de alcantarillado mediante una reunión con los mismos, donde se recaudó el número de personas por hogar. Esta recopilación de datos permitió obtener una estimación más precisa de la población. misma que se proyectó para los próximos 20 años.
3. Se determinaron los indicadores físicos y químicos de la calidad del agua de tratamiento residual municipal.
4. Se llevaron a cabo mediciones y análisis de los indicadores físicos y químicos de la calidad del agua.
5. Se dimensionó los componentes del sistema de tratamiento de acuerdo a las normativas nacionales, internacionales (peruana), caudales, caracterización del agua, población futura, datos del área y guías estandarizadas.
6. Simulación mediante el software Stoat de los procesos de la PTAR , donde se tomó en cuenta los caudales picos, dimensiones y procesos unitarios.

### 3.1 DEFINICIÓN BÁSICA DE LA ZONA DE ESTUDIO.

El proyecto se encuentra ubicado en la zona urbana del centro cantonal de Pucará, provincia del Azuay, limita con los siguientes cantones: (Ilustración 14) (GAD Municipalidad de Pucará, 2018).

- **Norte y este:** cantón Santa Isabel.
- **noroeste:** cantón Camilo Ponce Enrique.
- **Sur:** con el cantón Zaruma y Uzhcurrumi perteneciente al cantón Pasaje.



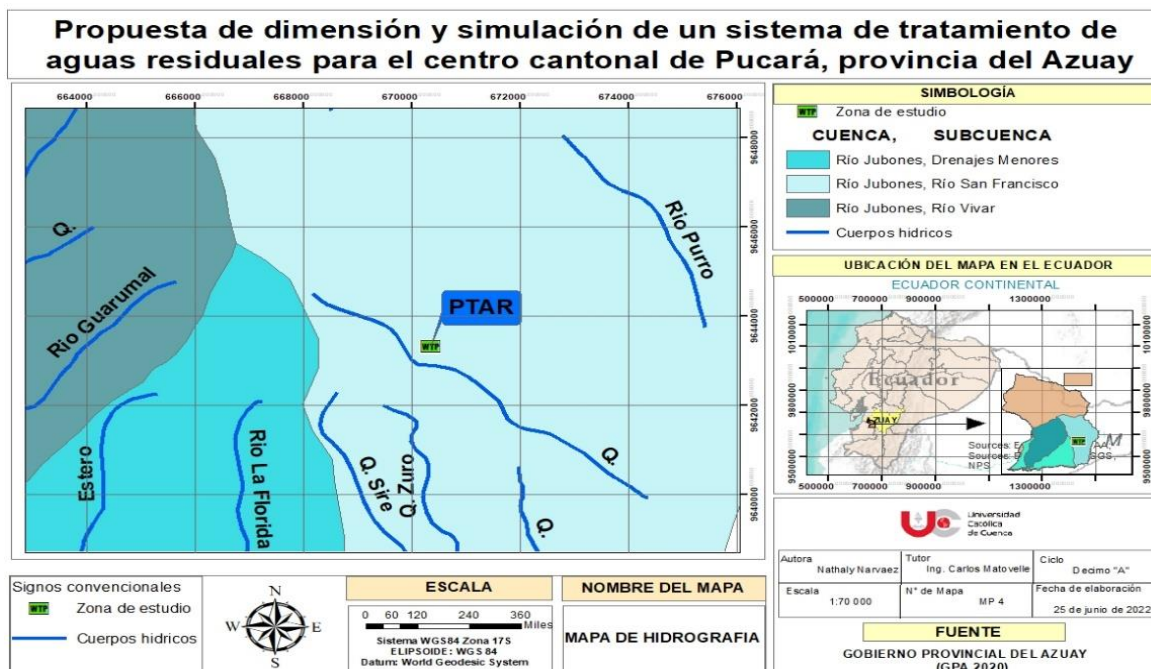
**Ilustración 14.**Ubicación de la zona de estudio.

**Fuente:** (GAD Municipalidad de Pucará, 2018).

Se caracteriza por poseer tres pisos climáticos que van desde 200 msnm hasta los 3800 msnm. Tiene una diversidad de flora y fauna, lo que le convierte en un lugar prodigioso en términos de biodiversidad. Además, el cantón ofrece una amplia variedad de paisajes y gastronomía nativa (GAD Municipalidad de Pucará, 2018).

### 3.2 HIDROGRAFÍA Y PUNTO DE MUESTREO.

El territorio de Pucará pertenece a la hoya hidrológica del río Jubones (al sur) y a las subcuencas de los ríos San Francisco, y río Vivar (Ilustración 15) (GAD Municipalidad de Pucará, 2018).



**Ilustración 15.** Hidrografía del cantón Pucará

**Fuente:**(GAD Municipalidad de Pucará, 2018).

### 3.3 TÉCNICAS IN SITU DE CAMPO.

La descarga directa de aguas residuales sin un tratamiento previo contamina las fuentes hídricas, como ríos, lagos, ojos de agua y manantiales. Por esta razón, la ciencia ha desarrollado alternativas y métodos para determinar el nivel de contaminación por efluentes no tratados. Estos métodos incluyen monitoreo continuo, determinación de caudales y análisis de propiedades físicas, químicas y biológicas del agua.

#### 3.3.1 LA OBSERVACIÓN.

Esta técnica nos permite observar la problemática ambiental para obtener información directa del área donde se emplea el proyecto, además también se obtuvo conocimientos del área y agua residual in situ.

Esta técnica nos brinda la oportunidad de examinar la problemática ambiental y obtener información sobre el entorno y las aguas residuales en el lugar de estudio.

#### 3.3.2 AFORO DE CAUDALES.

Se realizó el aforo del caudal residual y del afluente al cual se descarga las aguas residuales, hora por hora desde las 6:00 am hasta las 18:00 pm durante cinco días, usando el método volumétrico,

que consiste en usar un recipiente cuyo volumen se conozca, se lo ubica en el punto de descarga (la cual es de tipo circular) y con un cronómetro se toma el tiempo en el tarda en llenarse. Con estos datos, mediante la ecuación(1) se realizó los cálculos para la dimensión de los componentes que tendrá la planta de tratamiento de aguas contaminadas (Valencia, 2014)

Al iniciar el proceso en campo, se realizó el aforo tres veces por hora. Posteriormente, a estos datos, se les sacó un promedio y se formó una tabla de caudales con la ayuda de la siguiente fórmula (1).

**Donde:** 
$$Q = \frac{V}{t} \quad (1)$$

Q = flujo ( $\frac{m^3}{s}$ )

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

t = Tiempo (seg)

Mediante la observación y toma de caudales del efluente se determinó que la descarga es de tipo irregular, debido a que no tiene tiempo ni volumen repetido según la normativa técnica ecuatoriana, puesto que se determina que el aforo es compuesto (INEN, 2013). Se resumen los resultados del aforo del caudal de descarga en la Tabla 10, mostrando los valores diarios, en cada hora desde las 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde.

**Tabla 10.** Caudales de la descarga (L/s), (m<sup>3</sup>/h).

<b>AFOROS DEL CAUDAL DE LAS AGUAS RESIDUALES</b>										
<b>Hora</b>	<b>DÍA 1</b>		<b>DÍA 2</b>		<b>DÍA 3</b>		<b>DÍA 4</b>		<b>DÍA 5</b>	
	<b>(L/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>(L/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>(L/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>(L/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>	<b>(L/s)</b>	<b>(m<sup>3</sup>/h)</b>
<b>0.29</b>	4.97	17.89	3.09	11.12	4.68	16.848	4.28	15.408	3.34	12.024
<b>0.33</b>	3.51	12.64	4.60	16.56	5.33	19.188	4.38	15.768	4.21	15.156
<b>0.38</b>	4.36	15.70	3.52	12.67	4.65	16.74	3.91	14.076	3.99	14.364
<b>0.42</b>	3.99	14.36	3.37	12.13	3.26	11.736	3.72	13.392	4.31	15.516
<b>0.46</b>	2.88	10.37	4.58	16.49	4.29	15.444	5.26	18.936	4.2	15.12
<b>0.50</b>	3.57	12.85	4.42	15.91	4.67	16.812	5.04	18.144	5.3	19.08
<b>0.54</b>	4.85	17.46	5.56	20.02	4.52	16.272	5.28	19.008	4.99	17.964
<b>0.58</b>	3.45	12.42	4.17	15.01	4.92	17.712	4.43	15.948	3.96	14.256
<b>0.63</b>	3.20	11.52	3.40	12.24	4.09	14.724	4.55	16.38	3.44	12.384
<b>0.67</b>	4.71	16.96	3.42	12.31	4.8	17.28	4.59	16.524	5.19	18.684
<b>0.71</b>	5.08	18.29	4.06	14.62	5.07	18.252	5.32	19.152	4.5	16.2
<b>0.75</b>	4.78	17.21	4.58	16.49	4.91	17.676	4.82	17.352	6.03	21.708

En cuanto a los resultados se puede analizar una fluctuación de caudales a lo largo de las horas en cada día, determinando que el caudal más alto es de 6,03 L/s y el caudal más bajo es de 2,88 L/s, De manera general, los caudales son más altos en primeras horas y últimas horas del día.

En la Tabla 11, se detallan los caudales del río donde se vierten las aguas residuales del centro cantonal de Pucará. Allí, se realizó el aforo durante cuatro días, dos días en las mismas fechas que se aforó el efluente y dos en tiempo de invierno.

**Tabla 11.**Datos del río al cual se vierten las aguas residuales

<b>AFORO DE CAUDAL DEL RÍO ALEDAÑO A LA DESCARGA</b>				
<b>CAUDALES</b>	<b>TIEMPO DE ESQUIAJE</b>		<b>TIEMPO DE INVIERNO</b>	
	<b>Caudal (L/s)</b>		<b>Caudal (L/s)</b>	
<b>Hora</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>	<b>Día 1</b>	<b>Día 2</b>
7:00	1,04	4,30	8,55	8,75
8:00	1,10	4,15	8,33	8,43
9:00	4,98	4,11	7,78	7,88
10:00	4,95	4,97	7,25	7,65
11:00	4,97	4,97	7,23	7,57
12:00	5,23	4,83	7,13	7,33
13:00	5,09	5,09	8,09	7,89
14:00	5,12	5,12	8,12	8,12
15:00	5,41	5,27	8,19	8,21
16:00	5,33	5,33	8,33	8,33
17:00	5,43	5,43	8,43	8,43
18:00	5,57	5,19	8,71	8,72

Según los caudales obtenidos del río, se verifica que el caudal más bajo es de 1,04 L/s, que se presentó en tiempo de esquíaje, y el caudal más alto es de 8,75 L/s que está en los días de invierno. Estos datos se levantaron para comprobar el diseño del sistema de tratamiento con la simulación.

### **3.4 MATERIALES E INDUMENTARIA DE AFORO.**

Para aforar se levantó las coordenadas del punto de descarga, se encendió el horómetro y se tomó un balde del cual previamente se conoce el volumen, se le ubicó justo en el caudal hasta que se llene. Se realizó este proceso unas tres veces y, en una libreta, se registraron los datos para luego ser calculados mediante una fórmula (1).

Para desarrollar el método del aforo de caudales del efluente y afluente se utilizaron los siguientes materiales como podemos observar en la ilustración 15.

- 1 balde
- 1 horómetro
- 1 libreta

- 1 bolígrafo
- Botas de seguridad
- Casco
- Lentes
- Mascarilla
- Chaleco
- Guantes



**Ilustración 15.** Punto de mezcla de las vertientes.

### 3.5 MUESTREO.

Se muestreo las descargas del alcantarillado y el punto de mezcla del afluente al cual se vierten las aguas residuales, según la normativa INEN es un muestreo compuesto y de descarga irregular.

Para la recolección, preservación y traslado de las muestras un muestreo compuesto es decir hora por hora desde las 6:00am hasta las 18:00 pm durante 5 días. También, se llevaron a cabo varias técnicas para la recolección y la preservación de las muestras, basadas en la normativa INEN. A continuación, se detallan desde la toma de muestras hasta la entrada al laboratorio:

1. Se georreferenció el punto de descarga mediante un GPS
2. Los envases son de vidrio ámbar.
3. Se rotulo los envases con numero de muestra, fecha y hora.
4. El contenedor debe estar lleno, dejando poco espacio para la expansión térmica durante el transporte al laboratorio CIITT de la Universidad Católica de Cuenca.
5. Las muestras fueron transportadas inmediatamente para el análisis.

## PROCESOS:

### 3.5.1 ROTULACIÓN DE BOTELLAS.

Se rotulan las botellas ámbar para llevar un registro ordenado de todas las muestras. Las etiquetas incluyen información como la hora y fecha de recolección, lo que facilita la trazabilidad y el análisis posterior de las muestras, como se muestra en la (Ilustración 16).



**Ilustración 16.**Etiquetado de las muestras

### 3.5.2 RECOLECCIÓN DE MUESTRAS DEL EFLUENTE.

Recolección de una cantidad de agua de la descarga del alcantarillo del centro cantonal de Pucará, para ubicar en las botellas ámbar, como se ve en la (Ilustración 17).



**Ilustración 17.**Muestreos de las aguas residuales del alcantarillado.

### 3.5.3 MANEJO DE MUESTRAS EN BOTELLAS AMBAR.

Se tomó una cantidad de agua, en un recipiente, con la que se llenó las botellas ámbar. Estos son recipientes de vidrio de color marrón oscuro que ayudan conservar las muestras y previenen la posibilidad de degradarse, proceso que se repitió en cada hora durante los cinco días de muestreo.



**Ilustración 18.**Embotellado de las muestras de aguas residuales

### 3.5.4 CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.

Cada muestra fue colocada en un cooler con hielos y enfriadores con el propósito de mantener la temperatura y conservar las mismas, lo que se justifica en la (Ilustración 19).



**Ilustración 19.**Cooler y hielos para mantenimientos y traslado de muestras

### 3.6 MONITOREO IN SITU DE LAS DESCARGAS.

Se llevaron a cabo monitoreos de la calidad del agua residual utilizando un Multiparameter HI 98194 (Ilustración 20), equipo portátil que permitió medir in situ parámetros como el pH, la temperatura, el oxígeno disuelto y la conductividad eléctrica. El equipo fue proporcionado por la Universidad Católica de Cuenca, y se utilizó la guía colombiana de HANNA Instruments para su manejo adecuado (Hanna, 2011).



Ilustración 20. Medidor multiparamétrico

#### 3.6.1 MONITOREO CONTINUO DE LA CALIDAD DEL AGUA DEL EFLUENTE.

En las siguientes Tablas 12, 13, 14, 15 y 16, se detallan los datos recopilados durante el monitoreo in situ de la calidad del agua, durante un período de 5 días, de forma horaria, desde la 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde. En la Tabla 12. Se muestran los datos del monitoreo del primer día de la descarga.

Tabla 12. Monitoreo característico del agua in situ del día 1.

MONITOREO CONTINUO DEL EFLUENTE				
HORA	PH	OXÍGENO DISUELTO MG/LOD	CONDUCTIVIDAD MS/CM	TEMPERATURA
7:00	6,91	7,14	200	14,7
8:00	7,1	7	200	14,77
9:00	6,85	5	200	14,89
10:00	6,9	0	200	15,01
11:00	6,79	8,1	200	15,07
12:00	6,65	10,29	200	15,38
13:00	6,57	8,27	200	15,24
14:00	6,61	7,96	0	15,26
15:00	6,47	0,61	200	15,23
16:00	6,4	1,36	200	14,87
17:00	6,4	0,82	200	15,13
18:00	6,25	0,88	200	15,32
PROMEDIO	6,66	4,79	183,33	15,07
MÍNIMO	6,25	0,00	0,00	14,70
MÁXIMO	7,10	10,29	200,00	15,38

Según los datos, el pH se mantiene neutro entre 8 y 9, la conductividad eléctrica conserva los 200mS/cm en casi todas las horas y la temperatura.

En la Tabla 13, se muestran los datos del monitoreo del segundo día de la descarga.

**Tabla 13.** Monitoreo de calidad del agua in situ del día 2.

<b>MONITOREO CONTINUO DEL EFLUENTE</b>				
<b>HORA</b>	<b>PH</b>	<b>OXÍGENO DISUELTO MG/LOD</b>	<b>CONDUCTIVIDAD MS/CM</b>	<b>TEMPERATURA</b>
7:00	8,93	7,52	0	14,79
8:00	8,91	6,72	200	14,95
9:00	8,82	12,33	200	15,09
10:00	8,6	8,96	200	15,02
11:00	8,42	10,09	200	15,26
12:00	8,64	8,209	200	15,23
13:00	9,67	8,48	200	15,18
14:00	8,66	7,39	200	15,32
15:00	9,52	8,32	200	15,56
16:00	8,59	6,79	200	15,29
17:00	8,61	9,93	0	14,96
PROMEDIO	8,67	8,61	163,63	15,15
MÍNIMO	8,42	6,72	0	14,79
MÁXIMO	8,93	12,33	200	15,56

Según los datos, el pH se mantiene entre 6 y 8, la conductividad eléctrica conserva los 200mS/cm en casi todas las horas, en minoría son cero y la temperatura se maneja entre 15 C°,

En la Tabla 14. Se muestran los datos del monitoreo del tercer día de la descarga que se tomó de forma horaria, desde la 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde.

**Tabla 14.** Monitoreo de calidad del agua in situ del día 3

<b>MONITOREO CONTINUO DEL EFLUENTE</b>				
<b>HORA</b>	<b>PH</b>	<b>OXÍGENO DISUELTO MG/LOD</b>	<b>CONDUCTIVIDAD MS/CM</b>	<b>TEMPERATURA</b>
7:00	6,94	7,71	200	14,77
8:00	6,76	6,4	0	15,09
9:00	6,71	0	200	15,57
10:00	6,69	0	200	15,57
11:00	6,71	8,25	200	15,71
12:00	6,71	9,05	200	16,00
13:00	6,64	7,46	200	15,69
14:00	6,77	0	200	15,67
15:00	6,86	0	200	15,68
16:00	6,75	8,32	200	14,80
17:00	6,92	9,1	0	14,93
PROMEDIO	6,77	5,12	163,64	15,41
MÍNIMO	6,64	0	0	14,77
MÁXIMO	6,94	9,1	200	16

Según los datos, el pH es neutro entre 8 y 9, la conductividad eléctrica conserva los 200mS/cm en casi todas las horas y la temperatura se maneje entre 15 °C.

En la Tabla 15. Se muestran los datos del monitoreo del segundo día de la descarga que se tomó de forma horaria, desde la 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde.

**Tabla 15.**Monitoreo de calidad del agua in situ del día 4.

<b>ANÁLISIS EN CAMPO</b>				
<b>HORA</b>	<b>PH</b>	<b>OXÍGENO DISUELTO MG/LOD</b>	<b>CONDUCTIVIDAD MS/CM</b>	<b>TEMPERATURA</b>
7:00	8.65	0	200	15.15
8:00	7.71	0	200	15.16
9:00	7.65	3.56	200	15.14
10:00	6.33	15.91	200	15.13
11:00	6.36	15.73	200	15.16
12:00	8.23	10.71	200	15.15
13:00	6.58	9.73	200	15.67
14:00	7.48	5.66	200	15.68
15:00	8.39	4.51	200	14.80
16:00	8.35	4.15	200	15.87
17:00	8.52	2.9	200	15.9
18:00	6.68	4.55	0	14.96
PROMEDIO	6	7	200	15
MÍNIMO	6	0	0	15
MÁXIMO	7	16	200	16

En el cuarto día de monitoreo se maneja un pH neutro entre 6 y 7, la conductividad es de 200 mS/cm excepto las 18:00 de la tarde, la temperatura se maneja entre los 15°C y el oxígeno disuelto maneja el promedio más alto de todos los días con un 7mg/LOD.

En la Tabla 16, se muestran los datos del monitoreo del segundo día de la descarga que se tomó de forma horaria, desde la 7:00 de la mañana hasta las 18:00 de la tarde.

**Tabla 16.**Monitoreo de calidad del agua in situ del día 5.

<b>ANÁLISIS EN CAMPO</b>				
<b>HORA</b>	<b>PH</b>	<b>OXÍGENO DISUELTO MG/LOD</b>	<b>CONDUCTIVIDAD MS/CM</b>	<b>TEMPERATURA</b>
7:00	11.76	5.11	200	15.1
8:00	6.97	3.36	0	15.13
9:00	8.86	0	200	15.20
10:00	6.27	0	200	15.15
11:00	9.50	3.49	200	15.56
12:00	8.51	7.73	200	15.28
13:00	6.62	4.32	200	15.34
14:00	10.58	3.48	200	15.36
15:00	6.44	3.1	200	15.43
16:00	9.68	3.28	200	15.13
17:00	8.40	3.26	200	15.13
18:00	9.8	6.64	0	15.31
PROMEDIO	6.62	3.65	166.67	15.26
MÍNIMO	6.27	0	0	15.1
MÁXIMO	6.97	7.73	200	15.56

En el cuarto día de monitoreo se maneja un pH neutro entre 6 y 7, la conductividad es de 200 mS/cm excepto las 18:00 de la tarde, la temperatura se maneja entre los 15°C y el oxígeno disuelto maneja el promedio más alto de todos los días con un 7mg/LOD.

### 3.7 TÉCNICAS EX SITU ANÁLISIS.

Técnica con la que se trasladaron las muestras para el análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos, la cual se ayuda de algún equipo técnico para dicho estudio.

Una vez que se extrajeron las muestras en campo, se las trasladó al laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca, donde se procedió a conformar la muestra compuesta mediante el cálculo de alícuotas.

#### 3.7.1 ALÍCUOTAS.

Se calculó de acuerdo al caudal que se levantó hora por hora, todas las muestras proporcional al tiempo que fueron tomadas, mediante la fórmula usada por (Villada, 2014).

$$Vi = (V) \times Qi \quad (n \times Qp) \quad (3)$$

#### Detalles:

Vi: Volumen por alícuota.

V: Volumen total.

Qp: Caudal promedio del aforo.

Qi: Caudal tomado del instante individual por muestra.

n: Número de las muestras realizadas.

Una vez calculadas las alícuotas obtenidas por las doce muestras de las descargas del efluente municipal, se procedió a verter la cantidad calculada de cada muestra en un vaso de precipitación de 250ml, con lo que se formó una muestra compuesta que nos sirvió para realizar todos los siguientes análisis programados (Ilustración 21).



**Ilustración 21.**Procedimiento de alícuotas de las aguas residuales.

### **3.8 DESCRIPCIÓN DE TÉCNICAS, MÉTODOS Y PROCESOS EN EL LABORATORIO.**

Para determinar la caracterización de las aguas residuales, se emplearon métodos cuantitativos que incluyeron enfoques gravimétricos, volumétricos y fisicoquímicos. Estos métodos permitieron determinar las propiedades químicas, físicas y biológicas del agua en cuestión. Para ello, se aplicaron las directrices establecidas en la normativa Acuerdo Ministerial 97A.

#### **3.8.1 DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO)**

Para obtener el resultado de esta variable, se utilizó el método 5220 – literal D y la técnica espectrofotetría, para el proceso se llevó los siguientes pasos:(Method, 1998)

- 1 Agitamos la muestra compuesta, con una placa de agitación.
- 2 Active la alimentación del reactor DRB200. Precalentar a 150 °C, por 10 minutos.
- 3 Preparamos la muestra: Retiramos la tapa de un vial para una condición seleccionada. sostenemos el vial en un ángulo de 45°.Utilizamos un cuentagotas limpia para agregar 2,00 ml de muestra compuesta al vial.

- 4 Preparamos el blanco: Retiramos la tapa del segundo vial para una amplitud seleccionada, sostenemos un vial en un ángulo aproximado de 40 grados y utilizamos una pipeta limpia para adicionar 2,00 ml de agua desionizada al vial.
- 5 Cerramos bien los viales, enjuagamos los viales con agua y secamos con cualquier tipo hoja de papel nueva.
- 6 Los viales por lo general se calientan mucho, por ello debemos sostener de la tapa y sobre un fregadero, tratar de no tocar los lados de los viales.
- 7 Colocamos los viales en el reactor DRB200 precalentado y cerramos la tapa del equipo.

### **3.8.2 DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXIGENO (DBO)**

Para obtener el resultado de este indicador, se utilizó el método 5210 – literal D y la técnica Respiro métrica, para el proceso se llevó los siguientes pasos (USEPA, 2008).

- 1 Permitimos que la temperatura de la muestra alcance la temperatura ambiente antes del análisis.
- 2 Obtenemos 164ml de la muestra compuesta con un cilindro graduado limpio.
- 3 Vertimos los 164ml de la muestra en cada(dos) botella limpia de vidrio.
- 4 Colocamos un buffer, que es como una barra agitadora del tamaño de 3,8cm, igualmente en cada una de las botellas.
- 5 Agregamos el contenido de un sobre de nutriente BOD en las botellas para lograr un crecimiento bacteriano óptimo en las muestras.
- 6 Colocamos un tapón de sello en el cuello de cada botella.
- 7 Con una cuchara colocamos dos pepitas de hidróxido de litio en el hoyo del tapón de cada botella.
- 8 Colocamos las botellas en la base del BODTraK, conectamos el tubo de las botellas y apretamos los tapones.
- 9 Colocamos la base en la incubadora, verificamos que las barras de agitación estén en el centro de las botellas y giren correctamente e iniciamos la prueba aplastando el número del canal en la incubadora con el tiempo seleccionado de 5 días y el rango de 0 – 350 mg/L y mantenemos aplastado ON para dar inicio a la prueba.

### **3.8.3 NITRATOS.**

Para adquirir el resultado de este parámetro, se usó el método 4500 – NO3 Literal E y la técnica espectrofotetría, para el proceso se llevó los siguientes pasos: (Klein & Gibbs, 2019)

- 1 Preparamos un vial (celda) con 40ml de muestras de agua residual compuesta.
- 2 En una celda agregamos el contenido de una sobre plástico que contiene el reactivo en polvo NitraVer 5 Nitrate y ponemos el tapón, sellando así a celda, agitamos un minuto esta mezcla y dejamos reposar 5min.

- 3 Mientras preparamos el blanco como base, limpiamos la celda, enceramos (0,0 mg/L) el equipo DR 500, a insertamos la muestra blanca.
- 4 Insertamos luego la muestra con agua residual clic en medición y obtenemos los resultados.

#### 3.8.4 AMONIO.

Para obtener el resultado de este parámetro, se utilizó la siguiente metodología (Nakamura et al., 2004).

- 1 Preparamos el blanco en donde añadimos 0,1 m de agua residual.
- 2 En la muestra a analizarse ponemos 0,1ml de agua contaminada agregamos un AmVer™ Reactivo diluyente Test 'N Tubo para amoníaco de rango alto Nitrógeno tapamos el frasco y agitamos un minuto a esto agregamos un salicilato d amoniaco en polvo tapamos el frasco y nuevamente agitamos, dejamos reposar por 20 min.
- 3 Limpiamos el blanco e insertamos en la porta celdas, enceramos y medimos en el equipo.
- 4 Limpiamos la celda con muestra de agua residual e insertamos en el equipo y llenos los resultados.

#### 3.8.5 DUREZA

Se midió a través del método 2130 – Literal: B, se realizó mediante los siguientes procedimientos (HACH, 2019)

1. Se añade 50ml de agua residual al vaso medidor, luego agregamos dos pastillas una por una, mientras vamos comparando los colores.
2. Mediante la siguiente formula se calcula los mg/L de dureza.

$$(N \text{ tab} * 40) - 20 \quad (4)$$

N tab: Número de pastillas.

#### 3.8.6 SÓLIDOS SUSPENDIDOS

Para obtener los resultados de este parámetro, se utilizó la técnica gravimétrica y se realizaron los siguientes pasos (Torres, 2006):

1. Calentamos un crisol limpio a 105°C con una hoja de filtro en la estufa durante unos 30 min, sacamos de la estufa con una pinza y conservamos en un desecador por unos 15 min. Tomamos una pinza y sacamos del desecador a una balanza el cual viene siendo nuestro peso inicial.
2. Armamos nuestro equipo ubicando, primero, el matraz; luego, el embudo; encima de esto, colocamos la hoja o papel filtro y; por último, el vaso.
3. Al vaso le agregamos 20ml de la muestra del efluente residual bien mezclada a el crisol.
4. Para que se evapore y se seque, dejamos evaporar la muestra siquiera por una hora en una estufa a 105°C.

5. Enfriamos el crisol en un deshidratador para igualar la temperatura y pesamos en la báscula, tomamos el peso siendo este el peso final para efectuar los cálculos.

$$\text{Ecuación. SS (mg)} = \frac{(Pf - Pi)}{\text{Vol(ml)}} \text{ transformar unidades } \frac{\text{mg}}{\text{ml}} - \frac{\text{mg}}{\text{L}}$$

**Donde:**

Pf = Peso final (mg)

Pi = Peso inicial (mg).

Vol (ml) = Volumen de Muestra (mL).

### **3.9 MATERIALES Y EQUIPOS.**

- Cápsulas de porcelana (100 ml).
- Mufla (T° ambiente - 1100°C)
- Horno de límite (T° ambiente - 250 +/- 5 °C)
- Estufa para secados
- Deshidratador
- Báscula analítica (+/- 0.0001g)
- Filtros para sólidos suspendidos
- Estufa
- Reactivos

#### **3.9.1 ACEITES Y GRASAS.**

Para determinar este parámetro, se utilizó el método de extracción Soxhlet que determina grasas y aceites, el cual es aplicable a la determinación de lípidos biológicos para aguas residuales tratadas que contengan estas sustancias (Hernandez et al., 2007).

#### **3.9.2 COLIFORMES FECALES.**

Se realizó por el método del número más probable o varios tubos de fermentación (NMP). Según la NC-ISO, se reportan como NMP de coliformes/100 mL de agua y se utilizaron tanto el BLVE como el caldo EC (Fernández-Santisteban, 2017).

- **OLOR:** Métodos sensoriales, se midió a través de discos de comparación de color (unidad de color escala platino/ cobalto (Pt/Co<sup>2</sup>). (Valencia, 2014).

#### **3.9.3 TAMAÑO DE LA POBLACIÓN.**

Para obtener la población actual, se recaudó la lista de usuarios del alcantarillado y, mediante una reunión que suelen hacer mensualmente los usuarios, acudimos junto con el ingeniero Diego Berrezueta, encargado del área sanitaria dentro del municipio del cantón Pucará, en la que se preguntó

usuario por usuario la suma de personas que habitan en sus casas para, de este modo, tener la población que genera las aguas residuales. Este procedimiento nos da como resultados 1728 personas actualmente.

### 3.9.4 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE LA POBLACIÓN.

Método inferencial estadístico sobre crecimiento por tipo de población depende de las particularidades socioeconómicas y ambientales de la población Tabla 17.

**Tabla 17.** Aplicación de métodos para obtener la población futura.

MÉTODO	PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN			
	POBLACIÓN (HABITANTES)			
	HASTA 500	DE 5001 A 20000	DE 20001 A 100000	MAYORES A 100000
Aritmético	x	x		
Geométrico	x	x	x	x
Exponencial	x (2)	x (2)	x (1)	X
Curva logística				x

**Fuente:** (Magne Ayllon, 2008)

Según el tamaño y las particularidades de la población, es necesario distinguir de manera precisa las zonas de crecimiento futuro, industriales, comerciales, de infraestructura y espacios verdes (Magne Ayllon, 2008).

$$Pf = P_0 \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (5)$$

**Donde:**

$P_f$ : Población a futuro (habitantes).

$P_0$ : Población (Hab).

$i$ : Índice del crecimiento anual de la población (%).

$t$ : Número del año investiga.

Para realizar el cálculo del índice de crecimiento poblacional anual se emplea la ecuación 6,7,8 y 9

$$D_p = (y_1 - y_e) \quad (6)$$

$$D_a = (t_1 - t_e) \quad (7)$$

$$K = \frac{(y_1 - y_e)}{(y_1)} * 100 \quad (8)$$

$$i: \frac{K}{D_a} \quad (9)$$

**Donde:**

$K$ : Tasa de crecimiento de la población según la diferencia entre  $(t_1 - t_e)$  (%).

$D_p$ : Diferencia de población

$D_a$ : Diferencia de años

$y_1$ : Número de habitantes en el último año.

$y_e$ : Número de habitantes en el año inicial.

$t_1$ : Último año que se tenga registro del número de habitantes.

$t_e$ : Año inicial que se tenga registro del número de habitantes.

$i$ : tasa de crecimiento anual.

Aplicando la ecuación 2 y 3. El número de habitantes del cantón Pucará se tomó de la INEC.

$$D_p = (y_1 - y_e) // D_p = (10584 - 10510) // D_p = 74 \text{ habitantes.} \quad (10)$$

$$D_a = (t_1 - t_e) // D_a = (2020 - 2010) // D_p = 10 \text{ años.} \quad (11)$$

Seguidamente se aplica la ecuación 13.

$$K = \frac{(y_1 - y_e)}{(y_1)} // K = \frac{74}{10584} * 100 // K = 1,2 \% \quad (13)$$

Por último, se aplica la ecuación 14.

$$i: \frac{K}{D_a} // i = \frac{0,70 \%}{10} // i = 1,2 \% \text{ anual} \quad (14)$$

Se proyecta para los próximos 20 años, ya que en estructura civil las construcciones se remodelan después de 20 años de construidas, para ello se usó la ecuación 14, se ingresó el dato de la tasa de crecimiento anual, calculada por la ecuación 15 (INEC, 2010).

$$P_f = P_o \left(1 + \frac{i}{100}\right)^t \quad (15)$$

$$P_{40} = N \text{ ACTUAL DE POBLACION} \left(1 + \frac{1,2}{100}\right)^{20} // P_{40} = \text{habitantes para 2043} \quad (16)$$

### 3.9.5 POBLACIÓN Y MUESTRA.

- **Población.** -Todas las descargas de aguas radiales producidas por el centro cantonal de Pucará
- **Muestra.** - Muestreos realizados durante el tiempo establecido en la normativa ambiental o límites máximos permisibles.

### 3.10 CÁLCULOS DE DIMENSIONAMIENTO PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA.

Para determinar la dimensión de un sistema óptimo de descargas para el centro cantonal de Pucará, se consideró el porcentaje de remoción que tiene cada unidad de tratamiento, se observa en la Tabla 18. También se consideró las características de la zona como:

- Condiciones ambientales y área topográfica.
- Población presente, proyección y periodo de diseño.
- Caudales de descarga y río al cual se descarga el efluente.

- Caracterización del agua residual y del río.
- Situación económica.

Para considerar un sistema de tratamiento adecuado a las cualidades de las aguas residuales del análisis obtenido, se calculó el porcentaje que necesita de remoción el sistema de tratamiento que se propone. Se diseñan las unidades del sistema de tratamiento utilizando ecuaciones y guías de diseño por las normativas nacional e internacionales.

En la Tabla 18, mediante cálculos del análisis de la calidad de agua y la normativa ambiental de descargas residuales vigente, según el Acuerdo Ministerial 097-A, determinamos el porcentaje de remoción que necesita el sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará, ubicado en la provincia del Azuay.

**Tabla 18.** Niveles de eficiencia de los parámetros del agua

EFICIENCIA NECESARIA PARA SISTEMA							
PARÁMETROS		DBO	DQO	NITRATO	SÓLIDOS SUSPENDIDOS	SÓLIDOS TOTALES	COLIFORMES FECALES
Resultados De Laboratorio	Día 1	790	1264	0	545	796	2586
	Día 2	392	745	0,83	220	548	2585
	Día 3	348	661,1	0,53	1110	1577	2558
	Día 4	390	651	0,75	1670	1983	2563
	Día 5	429	838	0,86	887	370	2551
PROMEDIO		469,8	831,82	0,59	886,4	1054,8	2568,6
LMD (MG/L)		100	200	10	130	1600	2000
DIFERENCIA		369,8	631,82	9,41	756,4	545,2	568,6
PORCENTAJE DE EFICIENCIA (%)		79%	76%	6%	83%	27%	22%

En la Tabla 19, se calculó la variación del caudal de descarga entre el caudal máximo y promedio.

**Tabla 19:** Coeficiencia de variación del caudal residuales.

CÁLCULO DE COEFICIENTES DE VARIACIÓN DE CAUDAL		
SÍMBOLO	VARIACIÓN	
K2	1,405	Coeficiente máximo
K3	0,580	Coeficiente mínimo

### 3.11 PRETRATAMIENTO.

Diseño de la tubería de llegada. – Este es un sistema artificial de tubería PVC de plástico y circular, el cual es apto para la adición al sistema de tratamiento sin ninguna remodelación.

#### 3.11.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DE REJAS.

Para dimensionar las rejillas, se tomó la información del caudal promedio, caudal máximo horario y mínimo de la descarga.

### a. PARÁMETROS DE DISEÑO DE REJAS.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que forman las rejjas, se tomó el cálculo del caudal promedio, caudal máximo horario y mínimo de la descarga, según la guía y normativa RNE OS.090 peruana.

En la Tabla 20, según KISCHMER, estas características son estándar para diseñar o simular el sistema unitario de rejjas.

**Tabla 20.**Características de las rejjas

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DE DIMENSIÓN DE REJAS			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Forma de la barra rectangular	K:	2,42	*
Espesor de la barra 5 - 15 mm	e:	1/4	pulg
Separación entre barras 20 - 50 mm	a:	1	pulg
Profundidad de las barras 30 - 75 mm	b:	1 1/2	l/s
Velocidad en las barras (0.60 - 0.75 m/s)	Vr:	0,60	m/s
Vel. antes de las barras (0.30 -0.60 m/s)	Vc:	0,50	m/s
Ang. de inclinación de las barras 45 - 60°	θ:	45	°
Gravedad	g:	9,81	m/s
Coeficiente De rugosidad del canal	n:	0,013	*

\*: Adimensional.

### b. CRITERIOS DE CÁLCULOS DE DIMENSIONES.

Cantidades de construcción del canal de rejjas Tabla 21.

**Tabla 21.**Características del canal de rejjas

CARACTERÍSTICAS PARA DIMENSIONES DE REJAS				
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND	FUENTE
Ancho del Canal	B:	0,25	m	Criterio técnico - propio
Diámetro de ingreso	Φ:	0,20	m	Cálculo de Emisor

### c. CÁLCULO DE EFICACIA DE LAS BARRAS.

Mediante estos cálculos determinamos el porcentaje de retención de sólidos en las rejjas, según la eficiencia de las barras.

En el proceso de cálculos, todas las fórmulas van encadenadas; es decir, el resultado de la fórmula (1) lo usamos para resolver la siguiente.

$$E = \frac{a}{(a+e)} \quad (17)$$

**Donde:**

a: Separación barras entre si (pulg)

e: Espesor barras (pulg)

E: Eficacia (%)

#### **d. CÁLCULO DEL CANAL DE CRIBAS / REJAS.**

Determinamos el área útil separada del espesor de barras, mediante a fórmula de continuidad y despeje de fórmulas.

$$Au = \frac{Qmh}{(Vr*1000)} \quad (18)$$

**Donde:**

Qmh: Caudal máximo Horario (L/s)

Vr: Velocidad entre las barras (m/s)

Au: Área del canal m<sup>2</sup>

Fórmula 19: Reemplazamos el resultado de las fórmulas 17 y 18.

$$Ac = \frac{Au}{E} \quad (19)$$

**Donde:**

Ac: Área para el canal de criba.

Fórmula 20: Reemplazamos el resultado de la fórmula 19 y el dato de la Tabla 21.

$$Y \max = \frac{Ac}{B} \quad (20)$$

**Donde:**

B: Ancho para el canal.

Ymax: Tirante máximo del canal

Fórmula 21: Reemplazamos el resultado de las fórmulas 17 y 18.

$$Rh: \frac{Ac}{Pm} = \frac{Ac}{(2Y+B)} \quad (21)$$

Reemplazamos los datos de la Tabla 20 y resultados de las fórmulas anteriores.

**Donde:**

Rh: Radio hidráulico del canal(m)

Y= Ymax

s: Pendiente

$$S = \left( \frac{Q_{max} * n}{Ac * Rh^{2/3}} \right)^2 \quad (22)$$

Remplazamos datos de los cálculos anteriores

**Donde:**

Rh: Radio hidráulico

Vc: velocidad del canal

$$Vc = \frac{Q_{max}}{Ac} \quad (23)$$

**Donde:**

Qmin: Caudal mínimo

R: Radio hidráulico

$$R = \frac{Q_{min} * n}{s^{1/2} * B^{2/3}} \quad (24)$$

Remplazamos datos y formulas anteriores, para determinar velocidades del caudal en el canal.

**Donde:**

Ymin: Tirante mínimo

$$Ymin = 0.093 * B \quad (25)$$

**Donde:**

Amin: Área mínima

$$Amin = Ymin * B \quad (26)$$

**Donde:**

Vmin: Velocidad mínima

$$Vmin = \frac{Q_{min}}{Amin} \quad (27)$$

Formula 28: Remplazamos datos y formulas ya calculadas.

**Donde:**

N: Número de barras

$$N = \frac{(B-a)}{(e+a)} \quad (28)$$

### e. PÉRDIDA DE CARGA EN LAS REJAS.

Se determina la pérdida de energía en las rejas, mediante fórmulas de mecánica de fluidos, según Kirshner. Para ello, en la fórmula 29, reemplazamos datos de la Tabla 21.

**Donde:**

Vr: Velocidad entre las mismas barras.

G: Gravedad

Hv: Disminución de carga

$$hv = \frac{Vr^2}{2g} \quad (29)$$

Reemplazamos fórmulas ya realizadas y datos de la tabla 21, con esto determinamos la pérdida de energía de la reja a un 50% de obstrucción,

**Donde:**

K: Factor por división de barra.

e: Grosor de barra

a: Separador de barras

$$Ht = k * \left(\frac{e}{a}\right)^{\frac{3}{4}} * hv * \sin \vartheta \quad (30)$$

ϑ: Angulo de inclinación para la barra

Hr: Disminución de carga

Reemplazamos datos y determinamos la velocidad de las rejas de acuerdo con el 50% de obstrucción

**Donde:**

Vr: Velocidad en barrotes

$$V = \frac{Vr}{t} \quad (31)$$

t: % obstrucción (50%)

V'r: Velocidad

Reemplazamos datos de las fórmulas anteriores

**Donde:**

$$Hf = \left(\frac{V'^2 - Vr^2}{2G}\right) / Q70 \quad (32)$$

g: gravedad

Hf: Disminución de carga final

Ht: Perdida de carga elegida entre (Hr, Hf) es el mayor valor

#### f. CÁLCULO DE LA ALTURA DE LA REJA.

Remplazamos datos ya resueltos y determinamos la altura útil de las rejjas.

**Donde:**

Ymax: Tirante máxima del canal

BL: Borde libre del canal (70) 
$$H = Ymax + BL \quad (33)$$

H: Altura final

#### g. CÁLCULO LONGITUD DE LA REJA.

Se usa esta fórmula con ángulo de inclinación para que el flujo no se estanque

**Donde:**

H: Altura de la reja

Θ: Ángulo de inclinación 
$$L = \frac{H}{\text{Sen } \theta} \quad (34)$$

L: Longitud

**Donde:**

Ph: Proyección horizontal 
$$Ph = \frac{H}{\text{Tan } \theta} \quad (35)$$

#### h. CÁLCULO DE ZONA DE TRANSICIÓN.

**Donde:**

B: Ancho del canal 
$$i = \frac{(B-\phi)}{2 * \text{Tan}(\varphi)} \quad (36)$$

Θ: Diámetro de cañería de entrada

σ: Ángulo de dirección (12,5)

L: Largo

Determinamos el cribado

#### i. MATERIAL CRIBADO.

Reemplazamos fórmulas

**Donde:**

Qmh: Caudal máximo horario 
$$M_{tc} = Qmh * Mc * 86400 \quad (37)$$

Mc: Cantidad de material cribado (0,023)

Mtc: Material cribado

#### j. CÁLCULO DE VERTEDERO DE SALIDA.

Remplazamos fórmulas y determinamos el Vertedero que se encuentra en el bypass que funciona cuando las rejas estén obstruidas.

**Donde:**

Mc: Cantidad del material de tamiz 
$$Hv = \left( \frac{Mc}{1.838 \cdot B} \right)^{2/3} \quad (38)$$

B: Ancho del canal

Hv: Altura del vertedero

#### 3.11.2 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL DESARENADOR.

Para realizar los cálculos de la dimensión que forman el desarenador se tomó los datos del caudal promedio, caudal máximo horario y mínimo de la descarga de líquidos residuales provenientes del alcantarillado del centro cantonal de Pucará-Azuay, Ecuador.

##### a. PARÁMETROS PARA LA DIMENSIÓN DE DESARENADOR.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el desarenador, se tomó parámetros establecidos por la guía (CEPIS) y normativas mexicanas, peruanas RNE OS.090, criterio propio Tabla 22.

**Tabla 22.**Características principales del desarenador.

CARACTERÍSTICAS DE DIMENSIÓN			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Densidad relativa de la arena	Dr:	2,65	*
Diámetro de la partícula 0.20mm	Φ:	0,020	cm
Viscosidad cinética	b:	0,0101	cm <sup>2</sup> /s
Velocidad horizontal 0.30 + 20%	Vh:	0,30	m/s
Velocidad de sedimentación	Vs:	0,053	m/s
Tasa de remoción 40 -70 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h	Gr:	70	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Coeficiente. De rugosidad del canal	n:	0,013	*

**b. CRITERIOS DE DIMENSIÓN.**

**Tabla 23.**Características de los criterios de dimensión

CARACTERÍSTICAS PARA LA DIMENSIÓN			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Ancho del Canal ingreso desarenador	<b>B:</b>	<b>0,30</b>	<b>m</b>
Temperatura de agua	<b>T:</b>	<b>20</b>	<b>°c</b>

**c. CÁLCULO DEL ANCHO DEL CANAS DEL INGRESO DEL DESARENADOR.**

Se diseña con caudal máximo de las descargas con el mismo del canal de rejillas para que se ajuste a la estructura. Reemplazamos datos de la Tabla 22 y caudal máximo de la descarga.

$$A = \frac{Qmh}{Vh} \quad (39)$$

**Donde:**

Qmh: Caudal máximo horario( $m^3/s$ )

Vh: Velocidad de horizontal ( $\frac{m}{s}$ )

A: Zona del canal  $m^2$

$$A = 1.5 * B^2 \quad (40)$$

Reemplazamos datos de la Tabla 23

**Donde:**

B: Ancho de canal recomendable (0,30) (m)

H: Altura del canal (m)

**d. CÁLCULO DE LONGITUD DEL DESARENADOR.**

Fórmula 41. Reemplazamos datos de la tabla 22 y fórmula (40).

$$Tr = \frac{H}{Vs} \quad (41)$$

**Donde:**

H: Altura (m)

Vs: Velocidad de asentamiento (m/s)

Tr: Periodo de retención(seg)

Fórmula 42. Remplazamos datos y la multiplicación según la fórmula estándar

$$L = Tr * Vh \quad (42)$$

**Donde:**

Vh: Velocidad horizontal(m/s)

L: Longitud del desarenador(m)

Según normativa va más un 25% de cada lado

Lf: 25% \* L

#### **e. CÁLCULO DE LA PENDIENTE DEL CANAL.**

Fórmula 43. Despejamos las fórmulas y remplazamos datos.

$$Rh = \frac{Ac}{Pm} = \frac{Ac}{(2y+B)} \quad (43)$$

**Donde:**

Ac: Areal ( $m^2$ )

Y = H : Altura (m).

B: Ancho (m)

Rh: Radio hidráulico horizontal ( $\frac{m^2}{m}$ )

Fórmula 44. Despejamos las fórmulas para obtener la (s) pendiente(s) y remplazamos datos.

$$Vh = \frac{1}{n} * \frac{2}{Rh^3} * \frac{1}{S^2} \quad (44)$$

**Donde:**

n: Coeficiente de rugosidad

Vh: Velocidad horizontal (m/s)

Despejamos S(Pendiente)

#### **f. CÁLCULO DE LONGITUD DE ZONA DE TRANSICIÓN.**

$$LS = \frac{Bt-B}{Tam} \quad (45)$$

**Donde:**

Bt: Ancho total de desarenador

B: Ancho del canal de ingreso

$\Phi$ : Ángulo de inclinación (12,5)

Ls: Longitud

### 3.11.3 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL CANAL PARSHALL.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que forman el canal Parshall, al igual que todos los cálculos de las partes individuales que conforman el sistema de tratamiento, se tomó las cantidades del caudal promedio, caudal máximo horario y mínimo de la descarga de aguas residuales provenientes del alcantarillado del centro cantonal de Pucará, provincia del Azuay.

#### a. PARÁMETROS PARA LA DIMENSIÓN DEL CANAL PARSHALL.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el Canal Parshall, se tomó características estándar por normativas internacionales, parámetros establecidos por la normativas mexicanas, peruanas RNE OS.090, la normativa nacional del Ecuador y criterio propio (Comisión Nacional del Agua, 2016).

#### b. CÁLCULO DE LA ANCHURA DE LA GARGANTA DEL CANAL PARSHALL.

Fórmula 46. Tomamos formulas del desarenador, realizamos la división y de acuerdo con la Tabla 24 se determina el ancho final del canal.

**Donde:**

B: Ancho del desarenador

W: Ancho de la garganta

$$W = \frac{B}{2} \quad (46)$$

#### c. CÁLCULO DEL LA ALTURA DE AGUA PARA CAUDALES DIFERENTES.

Fórmula 47. Reemplazamos formulas, buscamos el factor(K) y la constante (n) en la Tabla 24

**Donde:**

Qmax: Caudal máximo horario(m3/s)

K: factor Tabla (m)

$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (47)$$

N: Constante Tabla N°01

Hmax: Altura máxima(m)

Fórmula 48. Buscamos en la Tabla 24 K, n y remplazos datos del caudal.

**Donde:**

Qmed : Caudal medio(m3/s)

K: factor (m) 
$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (48)$$

n: Constante

Hmin: Altura mínimo(m)

Fórmula 49. Remplazamos datos del efluente y características estándar de la Tabla 24

**Donde:**

Qmin: Caudal mínimo(m3/s)

K: factor Tabla (m) 
$$H = \left(\frac{Q}{K}\right)^{\frac{1}{a}} \quad (49)$$

a: Constante Tabla 24

Hmin: Altura mínima(m)

Tabla 24. Se presentan datos estándar para el Canal Parshall, según KISCHMER.

**Tabla 24.** Características estándar del ancho de la garganta

ANCHOS ESTÁNDAR DE LA GARGANTA				
W		a	K	
(Pulg)	(m)		unid (m)	unid (USA)
1	0,025	1,55	0,13	0,02
2	0,051	1,55	0,15	0,05
3	0,076	1,55	0,18	0,10
6	0,152	1,58	0,38	2,06
9	0,229	1,53	0,54	3,07
12	0,305	1,52	0,69	4,00
18	0,457	1,54	1,05	6,00
24	0,610	1,55	1,43	8,00
36	0,915	1,56	2,18	12,00
48	1,220	1,58	2,94	16,00
60	1,525	1,59	3,73	20,00
72	1,830	1,60	4,52	24,00
84	2,135	1,60	5,31	28,00
96	2,440	1,61	6,10	32,00

#### d. CÁLCULO DEL RESALTO “Z”.

Reemplazamos datos del caudal de descarga

**Donde:**

Qmax: Caudal máximo(m<sup>3</sup>/s)

Hmin: Altura mínimo(m)

Qmin: Caudal mínimo(m<sup>3</sup>/s)

$$Z = \frac{Q_{\max} * H_{\min} - Q_{\min} * H_{\max}}{Q_{\max} - Q_{\min}} \quad (50)$$

Hmax: Altura máximo(m)

Z: Resalto z(m)

**Tabla 25.** Se presentan datos estándar para el dimensionamiento del canal parshall, según la guía CONAGUA.

**Tabla 25.** Dimensiones estándar del Canal Parshall

DIMENSIONES ESTÁNDAR DEL CANAL PARSHALL																	
	W	A	a	B	C	D	E	T	G	K	M	N	P	R	X	Y	
	(pulg)	(cm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	2,54	25,4	363	245	356	93	167	229	76	203	19	29			8	13	
2	5,08	50,8	414	276	406	135	214	254	114	254	22	43			16	25	
3	7,62	76,2	467	311	457	178	259	610	152	305	25,4	57,2			25,4	38,1	
6	15,2	152	621	414	610	394	397	610	305	610	76	305	114	902	406	51	76
9	22,9	229	879	587	864	381	575	762	305	457	76	305	114	1080	406	51	76
12	30,5	305	1372	914	1343	610	845	914	610	914	76	381	229	1492	508	51	76
18	45,7	457	1448	965	1419	762	1026	914	610	914	76	381	229	1676	508	51	76
24	60,7	607	1524	1016	1495	914	1206	914	610	914	76	381	229	1854	508	51	76
36	91,4	914	1676	1118	1645	1219	1572	914	610	914	76	381	229	2222	508	51	76
48	122	1219	1829	1219	1794	1524	1937	914	610	914	76	457	229	2711	610	51	76
60	152	1524	1981	1321	1943	1829	2302	914	610	914	76	457	229	3080	610	51	76
72	183	1829	2134	1422	2092	2134	2667	914	610	914	76	457	229	3442	610	51	76
84	213	2134	2286	1524	2242	2438	3032	914	610	914	76	4567	229	3810	610	51	76

Fuente: (CONAGUA,2016)

### 3.12 TRATAMIENTO PRIMARIO.

#### 3.12.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL TANQUE IMHOFF.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que forman el tanque Imhoff, se tomó los datos del caudal promedio, caudal máximo horario y mínimo de la descarga de efluentes residuales provenientes del alcantarillado del centro cantonal de Pucará-Azuay, Ecuador.

##### a. PARÁMETROS PARA LA DIMENSIÓN DEL TANQUE IMHOFF.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el desarenador se tomó parámetros establecidos por las guías mexicanas, peruanas RNE OS.090 y criterio propio Tabla 26.

Las Tablas 26 y 27. Presentan datos característicos para la dimensión de un sedimentador y digestor para el tanque Imhoff.

**Tabla 26.** Características del Tanque IMHOFF

CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR DE SEDIMENTADORES			
ZONA DE SEDIMENTADOR			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Carga superficial	Cs:	1,00	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /h
Periodo de retención 1.5 -2.5	Tr:	2,00	hrs
Angulo de inclinación fondo 50 - 60°	β:	60	°
Ancho de la arista central 0.15 - 0.20	a:	0,20	m
Prolongación de lado 0.15 - 0.20	l:	0,20	m
Borde libre	BL:	0,30	m
La relación Largo/Ancho 3.00 - 10.00m	L/B:	4,00	m
La relación Largo/Altura 5.00 - 30.00 m	L/H:	6,00	m
Numero de sedimentadores	NS:	2,00	und

**Tabla 27.** Características de la zona de digestión

ZONA DE DIGESTIÓN			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Densidad de solidos	Ds:	1,05	kg/l
Altura máxima de lodos	HI:	0,50	m
Angulo de inclinación fondo 15 - 30°	α:	30	°
Espaciamiento libre mínimo 1.00m	e:	1,00	m
superficie libre será 30% super. Total	Al:	30,00	%
Temperatura del aire	T:	20,00	°c
Tasa de acumulación de lodos	Tal:	70,00	l/hab. Año

#### b. CÁLCULO DE UN SEDIMENTADOR.

Fórmula 51. Conversión de unidades y Remplazamos datos de la Tabla 26.

**Donde:**

Qd: Flujo de diseño (m<sup>3</sup>/h)

Ns: sedimentadores (und)

$$As = \frac{Qd}{Cs} \quad (51)$$

Cs: Carga superficial (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/h)

As: Área por sedimentación (m<sup>2</sup>)

Fórmula 52. Remplazamos datos y el resultado de la fórmula dividimos para el número de sedimentadores.

**Donde:**

R: Tiempo de retención (2 hrs)  $Vs = Qd * R$  (52)

Vs: Volumen del sedimentador (m<sup>3</sup>)

Fórmula 53. Despejamos L y reemplazamos datos.

**Donde:**

B: Amplitud unitaria de sedimentación (m)  $As = L * B - L = 4B$  (53)

L: Longitud individual del sedimentador(m)

**Donde:**

$\beta$ : Ángulo de inclinación (°)  $H1 = \left(\frac{B}{2}\right) * \tan \beta$  (54)

H1: Altura uno del sedimentador(m)

**Donde:**

V1: Volumen uno del sedimentador(m<sup>3</sup>)  $V1 = H1 * L * B/2$  (55)

**Donde:**

H2: Altura dos del sedimentador(m)  $H2 = \frac{(V-V1)}{(L*B)}$  (56)

Fórmula 57. Realizamos la suma y se obtiene la altura total del sedimentador.

**Donde:**

BL: Borde libre(m)  $HT = H1 + H2 + BL$  (57)

HT: Altura del sedimentador(m)

### c. CÁLCULO DE ZONA DE ESPUMA

Usamos ecuaciones de mecánica de fluidos, operaciones básicas de matemáticas y reemplazo de datos de las Tablas 26 y 27.

**Donde:**

Alt: Área libre total de digestión (m<sup>2</sup>)  $Alt = 30\% * At$  (58)

**Donde:**

Ats: Área total de sedimentación(m<sup>2</sup>)  $At = Ast + Al$  (59)

**Donde:**

At: Área total de tanque Imhoff (m<sup>2</sup>)  $Ast = 70\% * At$  (60)

**Donde:**

L: Longitud (m)  $Alt = L * alt$  (61)

alt: Ancho total de área libre (m)

Se debe tener en cuenta que según la normativa RNE OS. 090 peruana de construcción de PTAR la altura mínima es de 1, 00m de altura.

**Donde:**

ND: Número de digestores (und)  $altu = \frac{alt}{N^{\circ}}$  (62)

altu: Ancho unitario de área libre(m)

**Donde:**

ec: Espesor de concreto  $At' = (ND * altu + (ND + 1) * ec + NS * B) * L$  (63)

At': Área total nueva

Como mínimo de área libre en el ancho debe ser de 1.00 m

**Donde:**

Alt': Nueva área libre total(m<sup>2</sup>)

ec: Espesor de concreto(m)  $Alt' = ND * altu * L$  (64)

Debe ser mayor al 30%

#### **d. DIMENSIONAMIENTO DE CÁMARA DE DIGESTIÓN.**

Se dimensiona de acuerdo con la tasa de lodos per cápita y remplazamos datos de la Tabla 26.

**Donde:**

Tal: Medida de almacenamiento de lodos (m<sup>3</sup>/hab. año)  $Tal'' = Tal * f$  (65)

f: Factor de corrección

Tal'': Nueva medida por el acumular de lodos (m<sup>3</sup>/hab. año)

Fórmula 66. Se toma en cuenta el año de la proyección, remplazamos datos de fórmulas ya resueltas y realizamos la operación de matemática básica.

**Donde:**

Pf: Población al año 20 (Hab)  $Vd = Tal'' Pf$  (66)

Vd: Volumen de tanque de digestión (m<sup>3</sup>)

**Donde:**

N: Número de tanque Imhoff(und)  $V_{tdu} = V_{td} (N * n)$  (67)  
n: Tolvas estimadas(und)  
V<sub>tdu</sub>: Volumen de tolva(m<sup>3</sup>)

**Donde:**

N<sub>s</sub>: Número de los sedimentadores(und)  
B<sub>s</sub>: Ancho del sedimentador (m)  $a_{usd} = (N_s * B) + ((N_s + 1)x altu)$  (68)  
altu: Ancho de área libre unitaria(m)  
ausd: Ancho del área de digestión(m)

**Donde:**

N°: Número total de muros(und)  
am: Ancho por cada muro(m)  $at_{sd} = a_{uss} + N^{\circ} x am$  (69)  
at<sub>sd</sub>: Ancho total de zona de digestión(m)

**Donde:**

L<sub>s</sub>: Longitud de sedimentación(m)  $Abp = \left(\frac{L}{n}\right) * at_{sd}$  (70)  
Abp: Área base de la pirámide(m<sup>2</sup>)

**Donde:**

α: Ángulo de inclinación(°)  $h_3 = (at_{sd} * \tan \frac{\alpha}{2})$  (71)  
h<sub>3</sub>: Altura de tolva o vertedero

**Donde:**

V<sub>3</sub>: Volumen de la tolva  $V_3 = Abp * \left(\frac{h_3}{3}\right)$  (72)

**Donde:**

V<sub>4</sub>: Volumen cuatro  $V_4 = V_{tdu} - V_3$  (73)

**Donde:**

h4: Altura

$$h4 = V4/Abp$$

(74)

La altura del lodo se recomienda 0.50 m por debajo del sedimentador según RNE.

### 3.13 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL LECHO DE SECADO.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que forman el lecho de secado se ingresó los cálculos del caudal mínimo, promedio y máximo horario de las descargas de aguas residuales procedentes de la red de desagüé del centro cantonal de Pucará-Azuay, Ecuador.

#### 3.13.1 PARÁMETROS PARA LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADO.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el lecho de secado se tomó parámetros establecidos por la guías mexicanas, normativas ecuatorianas y peruanas RNE OS.090 y criterio propio Tabla 28 (Ministerio de vivienda, 2006).

**Tabla 28.**Características del lecho de secado

CRITERIOS DE DIMENSIONES			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Periodo de retención (4 a 6)	Tr:	5	Hrs
Contribución per cápita del solido	Cps:	90,00	gr/hab. día
Densidad de lodos digeridos (1.03 y 1.04)	Gsd:	1,04	Kg/l
% lodos digeridos primario (8% a 12%)	Ldp:	10,00	%
Profundidad de aplicación (20 -40 cm)	Ha:	0,30	m
Ancho de lecho de secado (3 -6 m)	B:	3,00	m
Periodo de digestión de lodo (4 a 8)	Td:	55,00	días

**Donde:**

Ss: Balanza de masa(mgSs/l)

Cs: Contribución Per cápita de solidos (Kgss/día)

$$Cs = \frac{Qd \times Ss}{1000} \quad (75)$$

**Donde:**

Msd: Masa de sólidos (Kd Msd/día)

$$Msd = (0.5 \times 0.7 \times 0.5 \times Cp) + (0.5 \times 0.3 \times Cp) \quad (76)$$

**Donde:**

Vld: Volumen de lodos a diario (Lt/día)

$$Vld = \frac{Msd}{blodo \times \left( \frac{\%solidos}{100} \right)} \quad (77)$$

**Donde:**

Vel: Volumen de lodos a extraer(m<sup>3</sup>)

$$Vel = \frac{Vld \times Td}{1000} \quad (78)$$

**Donde:**

$$\text{Als: Área de lecho de secado(m}^2\text{)} \quad \text{Als} = \frac{V_{el}}{H_a} \quad (79)$$

**Donde:**

$$\text{Als: Área unitaria de lecho(m}^2\text{)} \quad \text{Als} = \frac{Als}{N} \quad (80)$$

**Donde**

$$\text{B: Ancho asumido de lecho(m)} \quad \text{Als} = L * B \quad (81)$$

L: Longitud calculado(m)

### 3.14 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

#### 3.14.1 CÁLCULO DIMENSIONAL DEL FILTRO BIOLÓGICO.

Para dimensionar estos cálculos que forman el lecho de secado se ingresó los datos que se obtuvieron del caudal promedio, máximo horario y mínimo de la descarga de aguas contaminadas del sistema de desagüe del área central del cantón Pucará-Azuay. Así mismo, se hizo uso de la cantidad de concentraciones por sustancia contaminantes presente, según las evaluaciones elaborados en el laboratorio CIITT de la Universidad Católica de Cuenca, Ecuador.

##### a. PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADO.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el lecho de secado, se tomó parámetros establecidos por la guías y normativas mexicanas, resultados de análisis del laboratorio, límites máximos permisibles del país y peruanas RNE OS.090, características de la zona, métodos científicos y criterio propio Tabla 29 (Palate & Romero, 2020).

**Tabla 29.**Características del lecho de secado

CRITERIOS DE DIMENSIÓN			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Caudal de diseño	Qp:	286	m <sup>3</sup> /día
Población de diseño	P:	2220	Hab
Dotación de agua	D:	160	L/hab. día
Contribución de aguas residuales	C:	80	%
Temperatura de la zona	Tz:	13	°C
Aporte per cápita de DBO <sub>5</sub>	Y:	100	gr DBO/hab. día
DBO <sub>5</sub> Afluente	Sc:	389,75	mg DBO/l
Eficiencia de remoción tratamiento primario	Ep:	30,00	%
DBO <sub>5</sub> Requerida en efluente	Sr:	80,00	mg DBO/l

**b. CÁLCULO PARA EL FILTRO PERCOLADOR POR EL MÉTODO NATIONAL RESEACH COUNCIL (NRC).**

Para la dimensión de esta unidad de tratamiento, se toma en cuenta características de la zona temperatura, población, caudal, dotación y resultados del análisis de calidad de agua.

**Donde:**

So: DBO<sub>5</sub> Remanente (mg DBO/l)  $So = (1 - Ep) \times St$  (82)

**Donde:**

Ef: Eficiencia del filtro (%)  $Ef = (So - Sr) / So$  (83)

Fórmula 584. Remplazamos datos y el resultado de la fórmula dividimos para carga per cápita

**Donde:**

Wg: Carga de DBO (g DBO/día)  $Wg = (So \times Qp) / 1000$  (84)

El sistema dimensión no cuenta con caudal de recirculación por lo tanto es cero.

**Donde:**

R: Razón de circulación  $R = Qr / Qp$  (85)

**Donde:**

F: Factor de recirculación  $F = (1 + R) / (1 + \frac{R}{10})^{\wedge}2$  (86)

**Donde:**

V: Volumen de filtro  $V = \left(\frac{Wg}{F}\right) \times (0.4425 \frac{xEf}{1-Ef})^{\wedge}2$  (87)

Fórmula 88. Corrige el volumen del filtro de acuerdo con temperatura de la zona de estudio.

**Donde:**

Vc: Volumen corregido a temperatura de la zona  $Vc = V / (1,035^{(20-Ts)})$  (88)

**Donde:**

A: Área de medio filtrante(m<sup>2</sup>)  $A = \frac{Vc}{H}$  (89)

**Donde:**

B: Ancho del filtro(m)  $B = \left(\frac{A}{2}\right)^{(1/2)}$  (90)

**Donde:**

$$L: \text{Largo del filtro(m)} \qquad L = 2 \times B \qquad (91)$$

Reemplazamos datos del caudal y cálculo de fórmulas 89.

**Donde:**

$$\text{Tas: Medida aplicable superficial(m}^3\text{/m}^2\text{.dia)} \qquad \text{Tas} = \frac{Qp}{A} \qquad (92)$$

Reemplazamos los cálculos de las fórmulas 84 y 88.

**Donde:**

$$\text{Co: Carga orgánica(g/m}^3\text{.dia)} \qquad \text{Co} = \frac{Wg}{Vc} \qquad (93)$$

### 3.15 DESINFECCIÓN.

#### 3.15.1 CÁLCULO DE CÁMARA DE CLORO.

Para realizar los cálculos necesarios en el dimensionamiento de la cámara de cloro, se utilizó información del caudal promedio, el caudal máximo horario y el caudal mínimo, además se tomó en cuenta la composición física, química y biológica de la descarga proveniente del sistema de alcantarillado del centro cantonal de Pucará-Azuay.

##### a. PARÁMETROS DE LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADO.

Para realizar la dimensión de estos cálculos que conforman el lecho de secado, se tomó parámetros establecidos por la guías y normativas mexicanas, resultados de análisis del laboratorio, límites máximos permisibles del país, cálculos de los anteriores procesos y peruanas RNE OS.090, características de la zona y criterio propio Tabla 30.

**Tabla 30.**Características del lecho de secado

CRITERIOS DE DIMENSIONAMIENTO			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Coliformes de afluente	Cf:	2,71E+05	NMP/100ml
Tiempo de retención Hidráulica	TRH :	30,00	min
Coliformes de efluente	Ce:	2,71E+03	NMP/100ml
Dosis de cloro requerida (2 -8 mg/l)	Cl:	4	mg/l
Profundidad de la cámara	H:	1,00	m
Ancho de la cámara 10 deflación 0.30m	L:	3,60	m

**Donde:**

$$\text{Clr: Cloro requerida (Kg/d)} \quad \text{Clr} = 0.0864 * Q_p * Cl \quad (94)$$

**Donde:**

$$\text{Ct: Cantidad de clr para el efluente (mg/l)} \quad Ct = \frac{\left(\frac{C_e}{C_f}\right)^{\left(-\frac{1}{3}\right)} - 1}{0.23 * TRH} \quad (95)$$

**Donde:**

$$\text{Vc: Volumen para cámara de clr (m3)} \quad Vc = 0.06 * QP * TRH \quad (96)$$

**Donde:**

$$\text{Ac: Área para la cámara de clr (m2)} \quad Ac: \frac{Vc}{H} \quad (97)$$

**Donde:**

$$\text{B: Ancho de la cámara (m)} \quad B = \frac{Ac}{L} \quad (98)$$

**Donde:**

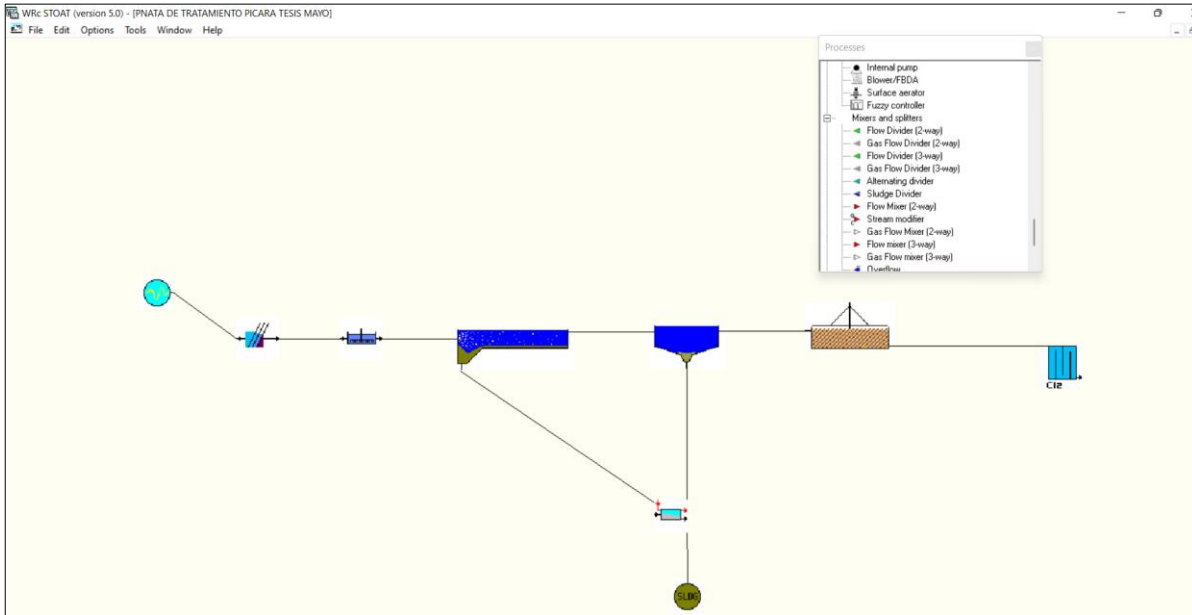
$$\text{Nb: Numero de briquetas(und)} \quad Nb: \frac{L}{0.30} \quad (99)$$

### 3.16 SIMULACIÓN

El software seleccionado para la simulación fue el WRc Stoa 5.0, el cual se utilizó para simular los mecanismos que conforman el sistema de tratamiento de aguas residuales. A continuación, se detallan los pasos:

- Definimos los objetivos que se desea lograr con la simulación, como la eficiencia del sistema de tratamiento y analizamos el impacto de los diferentes parámetros
- Configuración gráfica: Esta consiste en especificar las características físicas con la elección de cada unidad de tratamiento y conformar el modelo dimensionado en la Ilustración 22.
- Se ingresa al software las variables y parámetros, como caudales, concentraciones, cálculos de la dimensión.
- Se selecciona los parámetros y verificamos el comportamiento del sistema de tratamiento de efluente.
- Se ejecuta la simulación con los datos y parámetros establecidos. Esto implica proporcionar los valores de entrada, configurar las opciones de simulación y ejecutar el modelo final.

- Analizamos los resultados generados por la simulación, como concentraciones de contaminantes, eficiencia de remoción, perfiles de flujo. Validamos el
- Interpretamos y comparamos los resultados obtenidos de manera clara con las regulaciones nacionales y por último redactamos las conclusiones de la simulación



**Ilustración 22.** Simulación del software WRc Stoat 5,0

Se presenta el proceso de la simulación de todas las unidades del sistema de tratamiento dimensionado, verificado y aceptado, el mismo que cumple con los objetivos propuesto y la eficiencia requerida para tratar las características analizadas del afluente del centro cantonal de Pucará, ubicado en la provincia del Azuay.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 ANÁLISIS DEL ESTUDIO DE LA CALIDAD DE LA DESCARGA RESIDUAL.

En las siguientes tablas 31, 32, 33, 34, y 35, se muestran los resultados físicos, químicos y biológicos de las muestras compuestas del efluente, los cuales se realizaron en las siguientes fechas: 24, 26 y 31 de octubre, y así mismo el 8 y 11 de noviembre del 2022. Mismas que se analizaron en el laboratorio CIITT de la Universidad Católica de Cuenca.

Las muestras del análisis fueron de tipo compuesto, las cuales se recolectaron durante un periodo desde las 7:00 am hasta las 18:00 pm con un total de 12 muestras.

En la Tabla 31, se observa los resultados del primer día comparados con la normativa de calidad ambiental de descarga de efluentes a fuentes de agua dulce.

**Tabla 31:** Resultados del estudio de laboratorio día 1.

ANÁLISIS EN LABORATORIO DÍA 1				
PARÁMETROS	UNIDADES	RESULTADO	VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES	CUMPLIMIENTO
Grasas y aceites	mg/L	13,1	30 mg/L	sí cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	790	100 mg/L	no cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	1264	200 mg/L	no cumple
Nitratos	mg/L	0/0	10 mg/L	sí cumple
Amonio	mg/L	33,4	no aplica	sí cumple
Sólidos Suspendidos	mg/L	545	130 mg/L	no cumple
Dureza	mg/L	60	no aplica	no aplica
T°	°C	19,1	<30	si cumple
Conductividad	uS/cm	507	no aplica	no aplica
Solidos Disueltos	ppm	251	no aplica	no aplica
pH		8,46	neutro	basico
Sólidos Totales	mg/L	796	1600 mg/L	sí cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	2600	2000 NMP/100ml	No cumple

Se analizó que los siguientes parámetros, como demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS) y coliformes fecales (CF), no cumplen con los límites de descarga establecidos en la normativa.

En la Tabla 32, se observa los resultados del segundo día comparados con la normativa de calidad ambiental de descarga de efluentes a fuentes de agua dulce.

**Tabla 32:** Resultados de análisis de laboratorio.

<b>ANÁLISIS EN LABORATORIO</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
Grasas y aceites	mg/L	13,2	30 mg/L	sí cumple
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	392	100 mg/L	no cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	745	200 mg/L	no cumple
Nitratos	mg/L	0,83	10 mg/L	no cumple
Amonio	mg/L	38,3	no aplica	no aplica
Sólidos suspendidos	mg/L	220	130 mg/L	no cumple
Dureza	mg/L	60	no aplica	no aplica
T°	°C	18,7	<30	sí cumple
Conductividad	uS/cm	660	no aplica	no aplica
Sólidos disueltos	ppm	328	no aplica	no aplica
pH		7,65	no aplica	neutro
Sólidos Totales	mg/L	548	1600 mg/L	sí cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	2385	2000 NMP/100ml	no cumple

Se analizó que los siguientes parámetros, como demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS) y coliformes fecales (CF), no cumplen con los límites de descarga establecidos en la normativa.

En la Tabla 33, se observa los resultados del tercer día comparados con la normativa de calidad ambiental de descarga de efluentes a fuentes de agua dulce.

**Tabla 33.** Resultados de las muestras analizadas en laboratorio, niveles máximos permisibles

<b>ANÁLISIS EN LABORATORIO</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
Grasas y aceites	mg/L	13,3	30 mg/L	sí cumple
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	348	100 mg/L	no cumple
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	661,2	200 mg/L	no cumple
Nitratos	mg/L	0,53	10 mg/L	sí cumple
Amonio	mg/L	67,2	no aplica	no aplica
Sólidos Suspendidos	mg/L	1110	130 mg/L	no cumple
Dureza	mg/L	60	no aplica	no aplica
T°	°C	16,9	<30	sí cumple
Conductividad	uS/cm	931	no aplica	sí cumple
Sólidos Disueltos	ppm	467	no aplica	no aplica
pH		16,9	no aplica	neutro
Sólidos Totales	mg/L	1877	1600 mg/L	no cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	2687	2000 NMP/100ml	no cumple

Se analizó que los siguientes parámetros, como demanda bioquímica de oxígeno (DBO<sub>5</sub>), demanda química de oxígeno (DQO), sólidos suspendidos (SS) y coliformes fecales (CF), no cumplen con los límites de descarga establecidos en la normativa.

En la Tabla 34, se observa los resultados del cuarto día comparados con la normativa de calidad ambiental de descarga de efluentes a fuentes de agua dulce.

**Tabla 34.** Resultados del análisis de laboratorio comparados con los valores máximos admisibles.

<b>ANÁLISIS EN LABORATORIO</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
Grasas y aceites	mg/L	13,2	30 mg/L	si cumple
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	390	100 mg/L	no cumple
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	651	200 mg/L	no cumple
Nitratos	mg/L	0,75	10 mg/L	no cumple
Amonio	mg/L	40,6	no aplica	no aplica
Sólidos suspendidos	mg/L	1670	130 mg/L	no cumple
Dureza	mg/L	60	no aplica	no aplica
T°	°C	19,4	<30	si cumple
Conductividad	uS/cm	629	no aplica	no aplica
Sólidos disueltos	ppm	313	no aplica	no aplica
pH		7,36	no aplica	no aplica
Sólidos Totales	mg/L	1983	1600 mg/L	no cumple
Coliformos fecales	NMP/100ml	2889	2000 NMP/100ml	no cumple

En los resultados del cuarto día del análisis en comparación con la normativa los parámetros que no cumplen con los límites son: DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos en suspensión y coliformes fecales.

En la Tabla 35, se observa los resultados del quinto día comparados con la normativa de calidad ambiental de descarga de efluentes a fuentes de agua dulce.

**Tabla 35:** Resultados en comparación con los límites permisibles.

<b>ANÁLISIS EN LABORATORIO</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>RESULTADO</b>	<b>VALORES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
Grasas y aceites	mg/L	13,5	30 mg/L	sí cumple
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	429	100 mg/L	no cumple
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	838	200 mg/L	no cumple
Nitratos	mg/L	0,86	10 mg/L	no cumple
Amonio	mg/L	45	no aplica	no aplica
Sólidos suspendidos	mg/L	887	130 mg/L	no cumple
Dureza	mg/L	60	no aplica	no aplica
T°	°C	17,5	<30	sí cumple
Conductividad	uS/cm	728	no aplica	no aplica
Sólidos disueltos	ppm	370	no aplica	no aplica
pH		7,31	no aplica	neutro
Sólidos Totales	mg/L	1857	1600 mg/L	no cumple
Coliformes fecales	NMP/100ml	2170	2000 NMP/100ml	no cumple

En los resultados del quinto día, de acuerdo con el análisis obtenido en comparación del mismo modo que del día uno, con la normativa, los parámetros que incumplen los límites establecidos son DBO<sub>5</sub>, DQO, sólidos en suspensión y coliformes fecales.

En la Tabla 36, se refleja el mínimo, promedio y máximo de todos los análisis de laboratorio de la calidad del efluente.

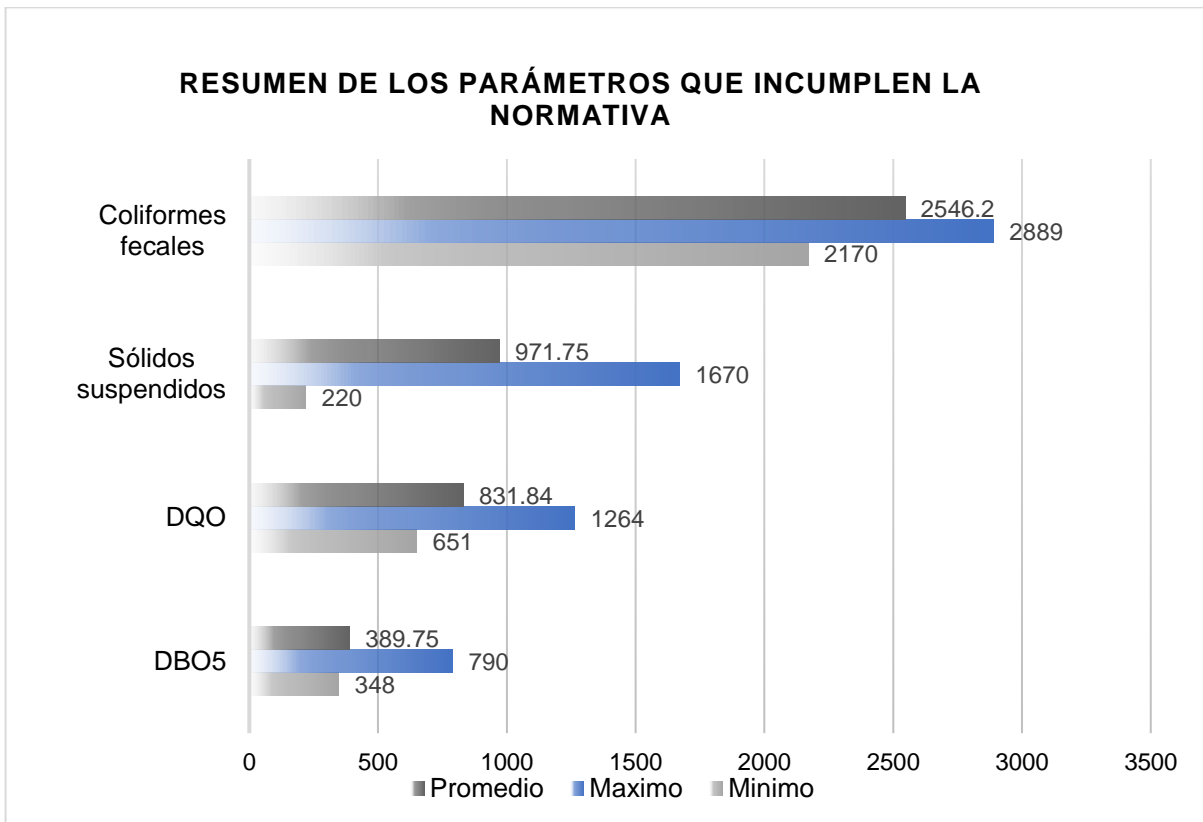
**Tabla 36:** Máximos, promedios y mínimos de las muestras de agua residual.

<b>ANÁLISIS DE LABORATORIO</b>				
<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDADES</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>PROMEDIO</b>
Demanda bioquímica de oxígeno (DBO <sub>5</sub> )	mg/L	348	790	389,75
Demanda química de oxígeno (DQO)	mg/L	651	1264	831,84
Nitratos	mg/L	0	0,86	0,59
Amonio	mg/L	33,4	67,2	44,9
Sólidos suspendidos	mg/L	220	1670	971,75
Dureza	mg/L	60	60	60
T°	°C	16,9	19,4	18,32
Conductividad	uS/cm	507	931	691
Sólidos disueltos	ppm	251	467	345,8
pH		7,31	16,9	9,34
Sólidos totales	mg/L	548	1983	1232,2
Coliformes fecales	NMP/100ml	2585	2889	2546,2
Grasas y aceites	mg/L	13,1	13,5	13,26

Como resultados estadísticos, la DBO<sub>5</sub> presenta valores que varían entre 348 mg/L y 790mg/L, con un promedio de 389,75mL/g. La muestra del día 1 exhibe la mayor demanda de oxígeno, mientras que la del día 3 tiene la menor demanda. En cuanto a la DQO, los valores oscilan entre 651 mg/L y 1264mg/L, con un promedio de 831,84mg/L.

Respecto a los sólidos disueltos, los valores se encuentran entre 251 ppm y 467 ppm, con un promedio de 345,8 ppm. La muestra del día 3 tiene la concentración más alta de sólidos disueltos, mientras que la del día 1 tiene la concentración más baja, en cuanto a los sólidos totales, los niveles oscilan entre 548 y 1983 mg/L, con un promedio de 1232,2 mg/L. La muestra del día 4 tiene la mayor cantidad de sólidos totales, mientras que la del día 2 tiene la menor cantidad y finalmente los coliformes fecales oscila valore entre 2170 NMP/100ml y 2889 NMP/100ml.

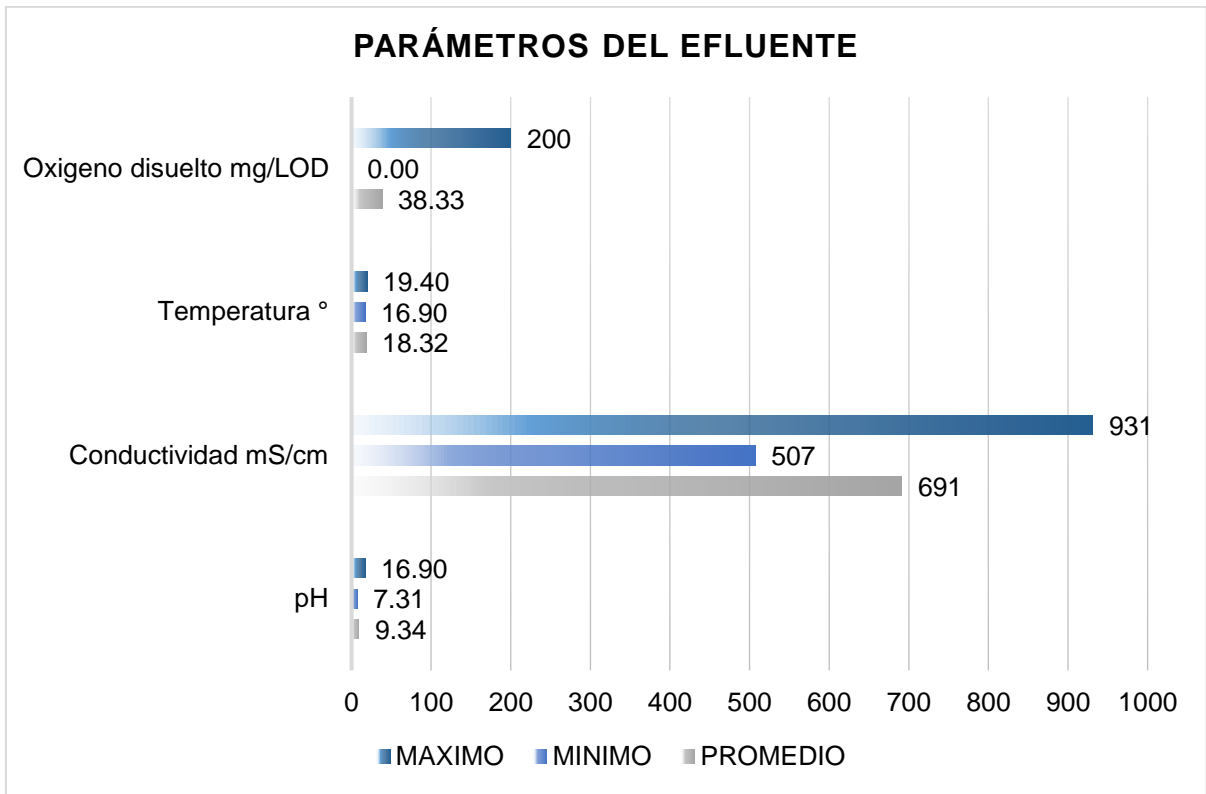
En la Ilustración 23, se presentan los cálculos estadísticos de los análisis como: el promedio, mínimo y de los parámetros, de los principales parámetros que incumplen la normativa.



**Ilustración 23.** Máximos, mínimos y promedios de los parámetros del agua.

Según la Ilustración 23, se observa en resumen cuatro parámetros que sobrepasan los límites de descarga, de acuerdo al análisis de agua y en base a los promedios de cada uno de los parámetros analizados la DQO, DBO<sub>5</sub>, SS, y coliformes fecales incumplen la normativa vigente, los cuales son caracterizados como materia orgánica soluble, para los cual se debe proponer sistemas unitarios de sedimentación y digestión según (Sergio, 1999).

En la ilustración 24, se exponen los cálculos estadísticos de monitoreo los cuales se usaron para determinar y seleccionar los criterios del sistema de tratamiento de aguas residuales a dimensionarse.



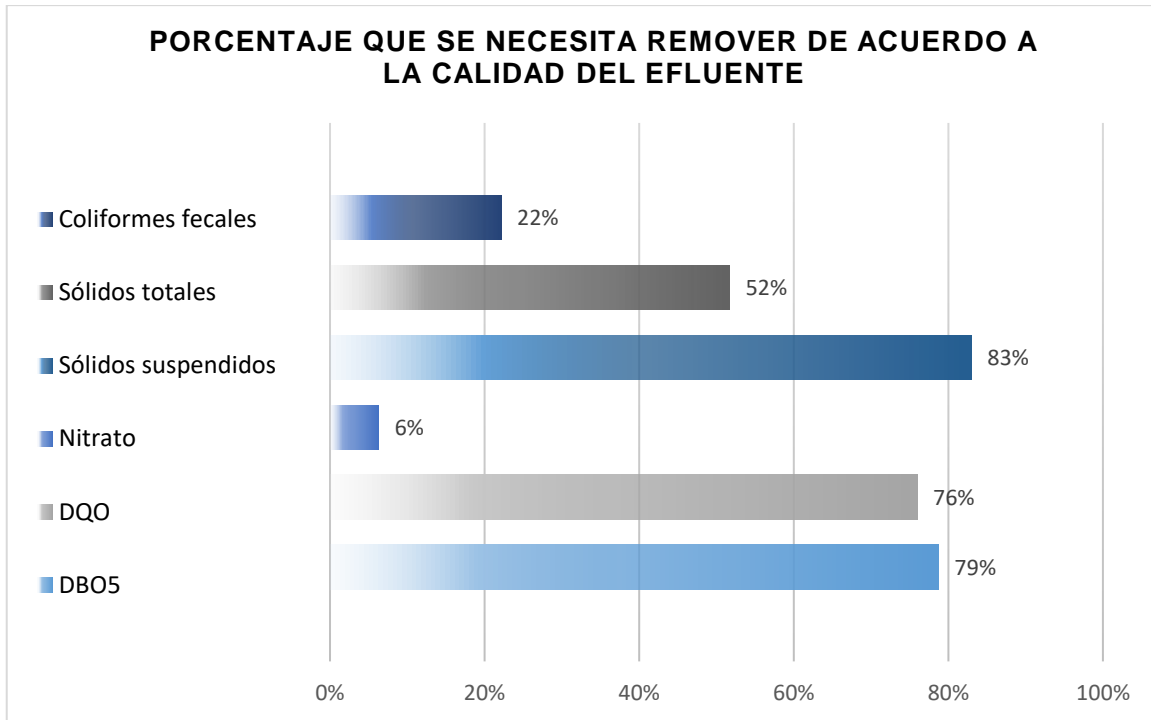
**Ilustración 24:** Parámetros alterados del efluente.

Sobre la base de los promedios que se observa en la gráfica 24 del caudal de descarga se deduce que: el pH es básico de 9, lo que indica que es bastante alcalino, tiene una alta conductividad de 691 mS/cm y de esto, se deduce que tiene bastante capacidad para conducir electricidad, la temperatura se maneja normal de 18,32 y el oxígeno disuelto de 38,33mg/LOD.

#### 4.1.1 PORCENTAJE DE REMOCIÓN SEGÚN EL ANÁLISIS DE AGUA

Se presenta el porcentaje de remoción que necesita el efluente tratar con el sistema de tratamiento propuesto, están calculados de acuerdo a la normativa ambiental vigente de descarga.

En la Ilustración 25, se muestran los porcentajes de remoción en los principales parámetros que incumplen la normativa ambiental precisamente el acuerdo ministerial 097-A.

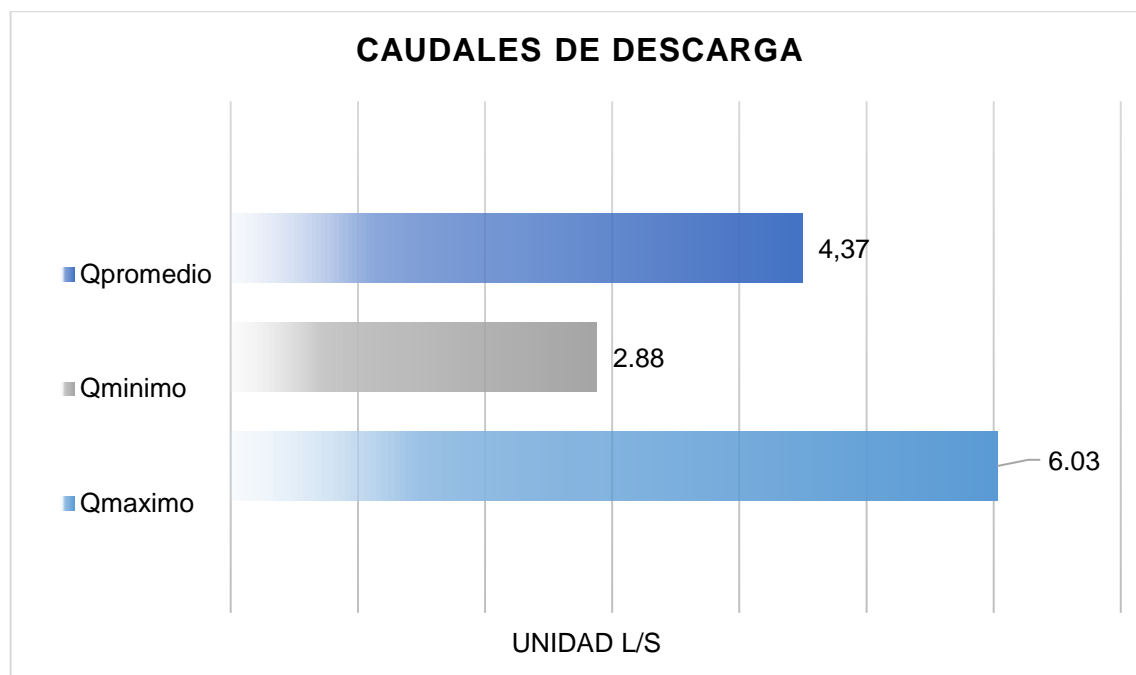


**Ilustración 25.** Caudales de descarga

Los porcentajes de remoción que necesita el agua residual del centro cantonal de Pucará son bastante altos porque se asume al mismo que tiene alta carga de contaminación.

#### **4.2 CAUDALES DE DESCARGA PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LA PTAR**

Los valores máximos, mínimos y promedios del aforo del caudal de la red de alcantarillado, se observan en la (Ilustración 26). En esta ilustración, se registra los caudales: máximo de 6,03lt/sg, mínimo de 2,88 lt/sg y un promedio de 4,37 lt/sg, el cual se utilizó como base para proyectar y dimensionar el sistema, teniendo en cuenta la población.



**Ilustración 26:** Caudales de descarga.

Es fundamental determinar el tamaño y las capacidades de los componentes de la PTAR. Por ello, se basó en los resultados del caudal proyectado, para garantizar un cálculo más preciso con el fin de asegurar que cada proceso unitario hace uso de los caudales actuales presentados en la Ilustración 26 y su respectiva proyección se presenta en la Tabla 38.

#### 4.2.1 DOTACIÓN DE LA POBLACIÓN FUTURA PARA LA DIMENSIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO.

Los cálculos realizados abarcaron los dispositivos de tratamiento del sistema de tratamiento de efluentes, teniendo en cuenta diversas dimensiones. Para determinar las dimensiones de cada una de estas unidades, se consideraron datos como los caudales máximos, promedios y mínimos de descarga de aguas residuales proyectados para los siguientes 20 años, así como la dotación y proyección de la población. Además, se realizaron cálculos estadísticos que nos permitieron dimensionar la superficie de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) para el centro cantonal de Pucará. Estos cálculos se basaron en la data proporcionada en la Tabla 37.

**Tabla 37:**Datos de la dotación.

CÁLCULO DE DOTACIÓN		
	377784	L/día
Para	1749	Hab
Dotación	216,00	L/hab. día

Tabla 38. Se proyectaron los caudales que se muestran en la (Ilustración 23), de acuerdo con la población futura, con lo cual se garantiza la capacidad del tratamiento, ya que, con estos datos, se trabajará todas las dimensiones unitarias del sistema. Se busca que el modelo tenga la capacidad adecuada para tratar el flujo de aguas residuales de manera eficiente.

**Tabla 38:** Caudales futuros de diseño a 20 años.

<b>CAUDALES FUTUROS DE DISEÑO A 20 AÑOS</b>		
Población al año 2043	2220	Hab
Caudal promedio	5,55	L/s
Caudal mínimo	3,656	L/s
Caudal máximo horario	7,654	L/s

### 4.3 RESULTADOS DE DIMENSIONAMIENTO – PRETRATAMIENTO.

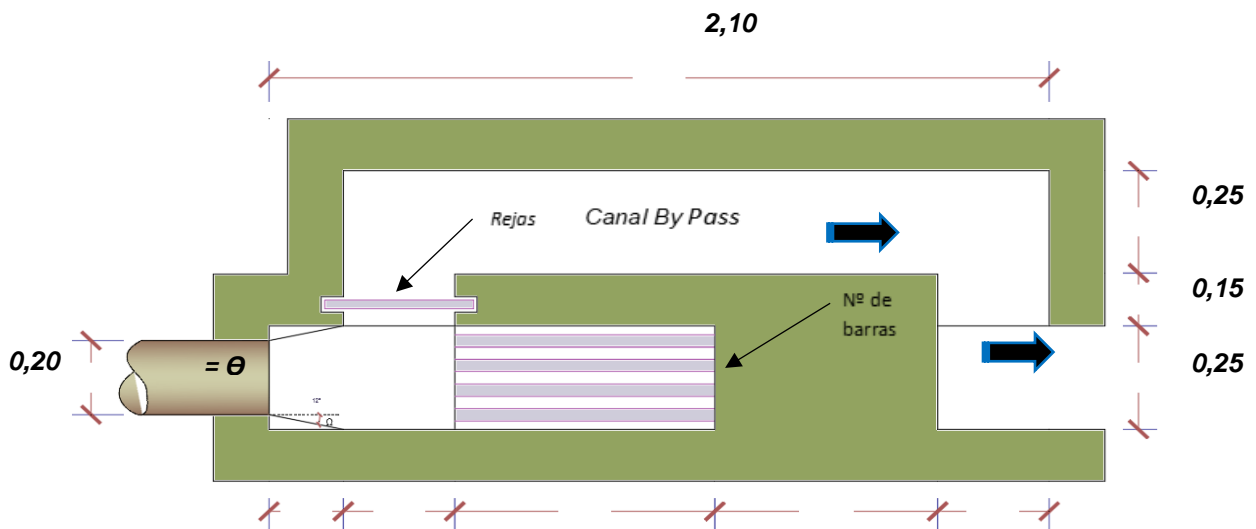
Se propone dimensionar y simular un sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará al cual se considera que es tipo de aguas domésticas.

#### 4.3.1 CAJA DE REJAS.

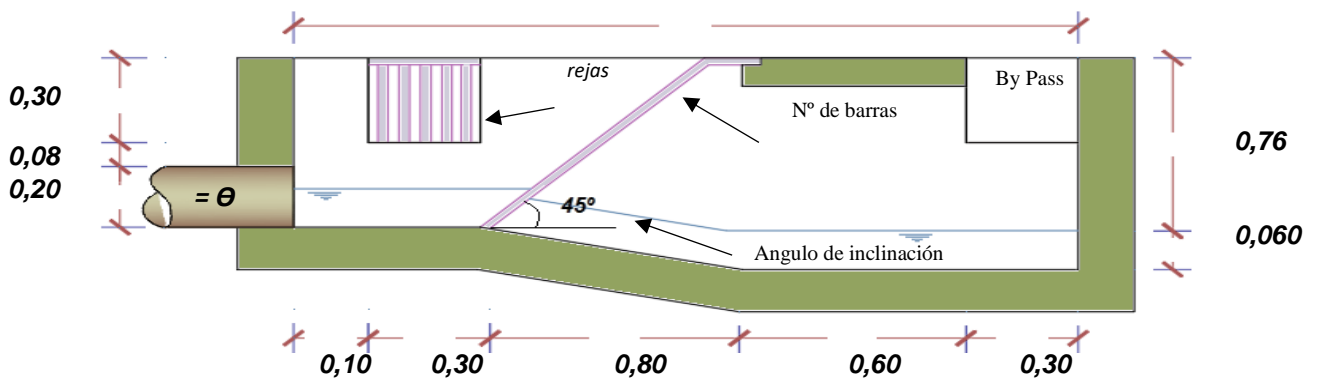
La siguiente Tabla 39, demuestra los valores de la cámara de rejillas, de acuerdo con el cálculo de los caudales, así mismo, con un canal de entrada y un canal de salida al siguiente tratamiento.

**Tabla 39:** Componentes del canal y rejillas

<b>COMPONENTES DEL CANAL Y REJILLAS</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DATO</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDADES</b>
Área útil del canal	Au:	0,013	m <sup>2</sup>
Ancho del canal	B	0,25	m
Diámetro de ingreso	Φ	0,20	m
Área del canal de criba	Ac	0,016	m <sup>2</sup>
Tirante máximo del canal	Ymax	0,060	m
Radio hidráulico del canal	Rh	0,043	m
Número de barras para la criba	N	7,00	unidades
Perdida de carga total en la rejilla	Hr	0,08	m
Altura de la reja	H	0,76	m
Longitud de la reja	L	1,10	m
Proyección horizontal de la reja	Ph	0,80	m
Longitud de zona de transición	L	0,10	m
Altura para el vertedero de salida	Hv	0,14	m



**Ilustración 27.** Diseño de rejas, vista frontal



**Ilustración 28.** Dimensión de rejas, vista lateral

#### 4.3.2 DESARENADOR.

En la Tabla 40 se presentan las medidas para el desarenador, datos como la longitud, altura, radio, pendientes, ancho, área, etc.

Tabla 40: Componentes del desarenador.

CRITERIOS DE LA DIMENSIÓN DEL DESARENADOR		
COMPONENTES	MEDIDAS	UNIDADES
Ancho del Canal ingreso desarenador	0,30	m
Área del canal del desarenador	0,015	m <sup>2</sup>
Altura del canal	0,80	m
Longitud del canal total	5	m
Longitud del desarenador	3,50	m
Radio hidráulico h del canal	0,05	m <sup>2</sup> /m
Pendiente del canal del desarenador	0,1	%
Área del desarenador	3,75	m <sup>2</sup>
Ancho total de desarenador	0,75	m

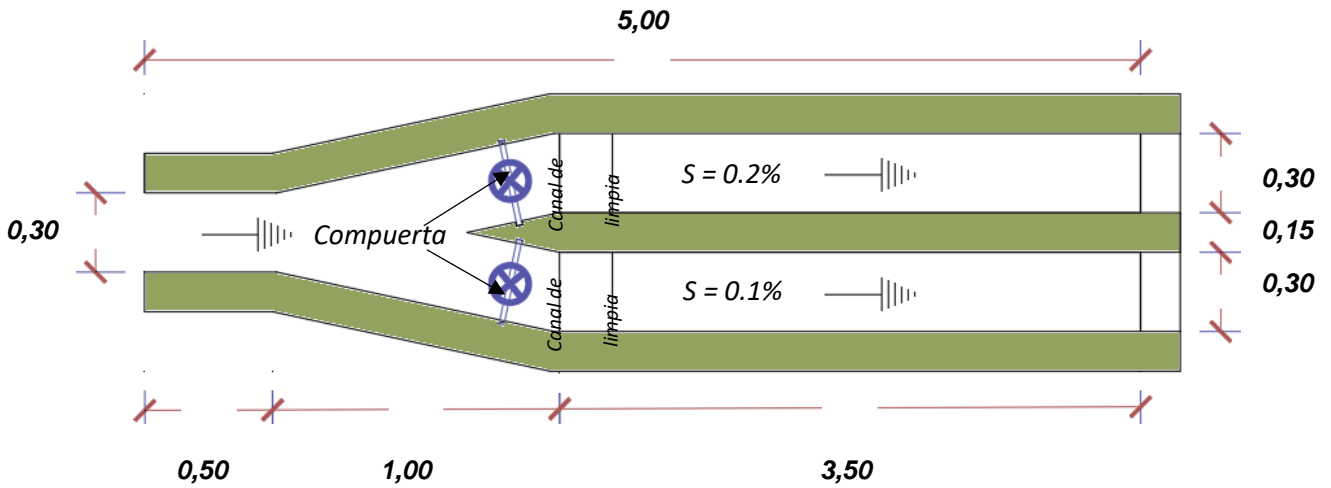


Ilustración 29. Diseño del desarenador

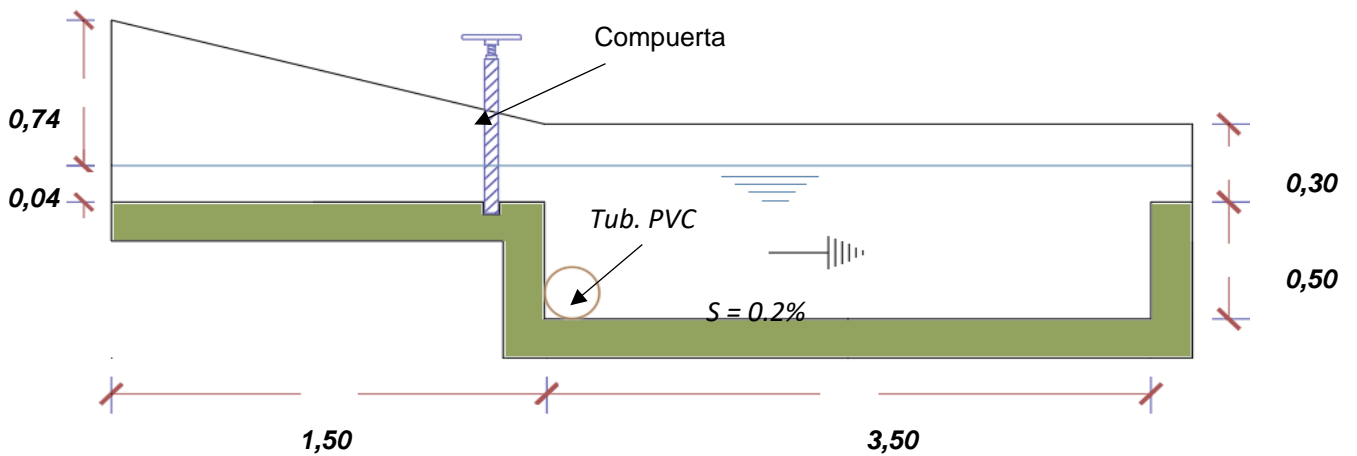


Ilustración 30. Diseño del desarenador

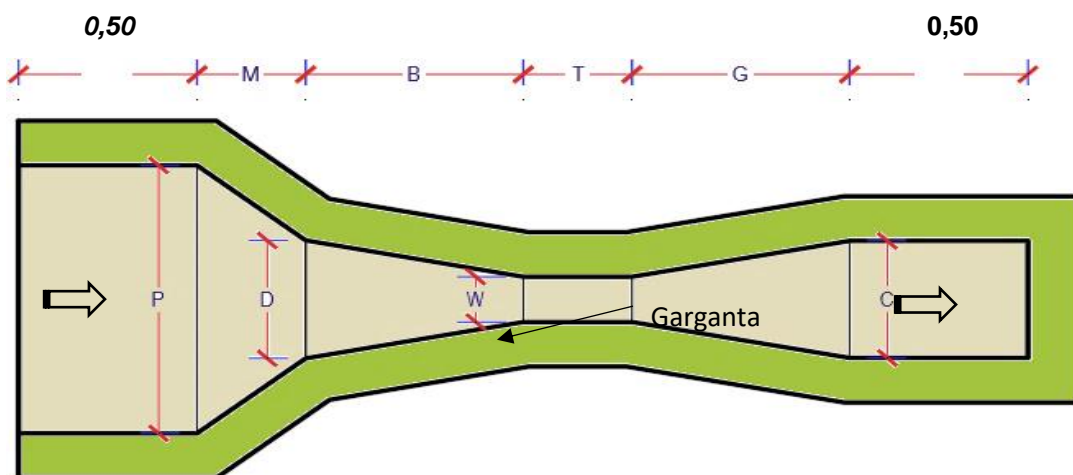
### 4.3.3 CANAL PARSHALL.

La Tabla 41 muestra las dimensiones del canal parshall para lo cual se tomó en cuenta el cálculo de la altura del agua máxima(0,13m), media(0,11m), y mínima(0,08m) y de acuerdo con el caudal de diseño.

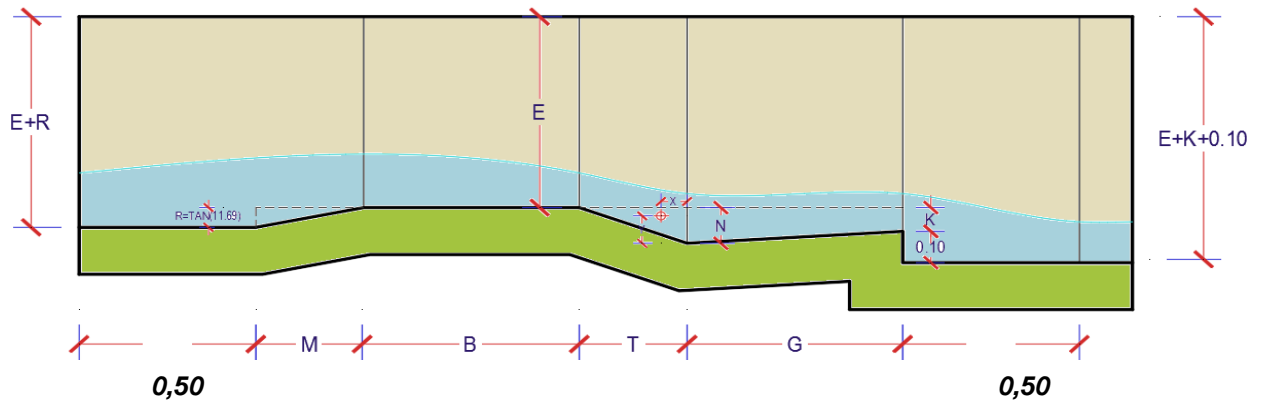
También en la Ilustración 28, podemos observar los literales de cada componente de la dimensión del canal parshall.

**Tabla 41:**Componentes de la dimensión del canal Parshall.

CRITERIOS DE LA DIMENSIÓN DEL CANAL PARSHALL			
COMPONENTES	DATO	MEDIDAS	UNIDADES
Ancho de la garganta del canal parshall	W	3,00	pulg
El resalto Z del canal parshall	Z	0,036	m
Longitud de las paredes de la sección convergente	A	46,70	cm
Longitud de la sección convergente	B	45,70	cm
Ancho de la salida	C	17,80	cm
Ancho de la entrada de la sección convergente	D	25,90	cm
Profundidad total	E	61,00	cm
Longitud de la garganta	T	15,20	cm
Longitud de la sección divergente	G	30,50	cm
Diferencia de la elevación entre la salida y la cresta	K	2,54	cm
Longitud de la transición de entrada	M	30,50	cm
Ordenada del punto de medición	N	5,72	cm
Ancho de la entrada de la transición	P	76,80	cm
Abscisa del punto de medición K	X	2,54	cm



**Ilustración 31.** Diseño del canal, ángulo frontal



**Ilustración 32.** Perfil frontal de la dimensión del canal Parshall

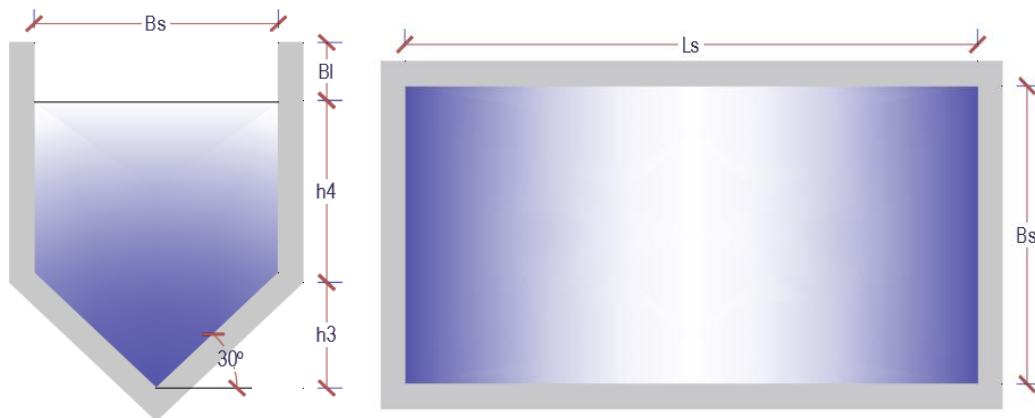
#### 4.4 TRATAMIENTO PRIMARIO.

##### 4.4.1 TANQUE IMHOFF.

En la Tabla 42, se exponen las dimensiones del tanque Imhoff que se obtuvieron para los dos sedimentadores y dos digestores, sobre la base del caudal de diseño, temperatura de la zona 13°, tasa de acumulación de lodos por habitante, etc.

**Tabla 42:** Resultados dimensionales de componentes del Tanque IMHOFF

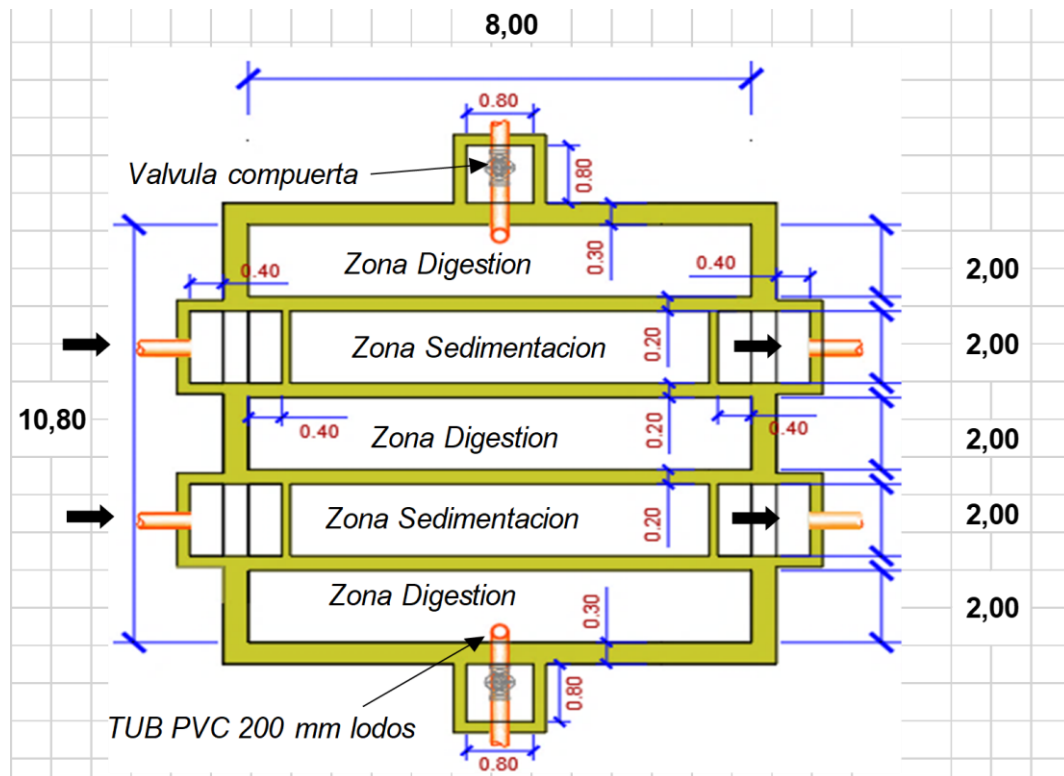
DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL TANQUE IMHOFF			
PARÁMETROS	DATO	MEDIDAS	UNIDADES
Numero de sedimentadores (NS)	NS	2,00	und
Área del sedimentador (As)	As	9,041	m <sup>2</sup>
Volumen del sedimentador (Vs)	Vs	18,08	m <sup>3</sup>
Ancho unitario del sedimentador (B)	B	2,00	m
Largo unitaria del sedimentador (L)	L	8,00	m
Angulo de inclinación (β)	β	60,00	°
Altura uno del sedimentador (H1)	H1	2,00	m
Volumen uno del sedimentador(V1)	V1	16,00	m <sup>3</sup>
Altura dos del sedimentador (H2)	H2	2,00	m
Borde libre (BL)	BL	0,30	m
Altura del sedimentador (HT)	HT	2,30	m
Área total de sedimentación (Ats)	Ats	19,98	m <sup>2</sup>



**Ilustración 33.** Dimensión del tanque IMHOFF

**Tabla 43:** Dimensión de los componentes del Tanque IMHOFF

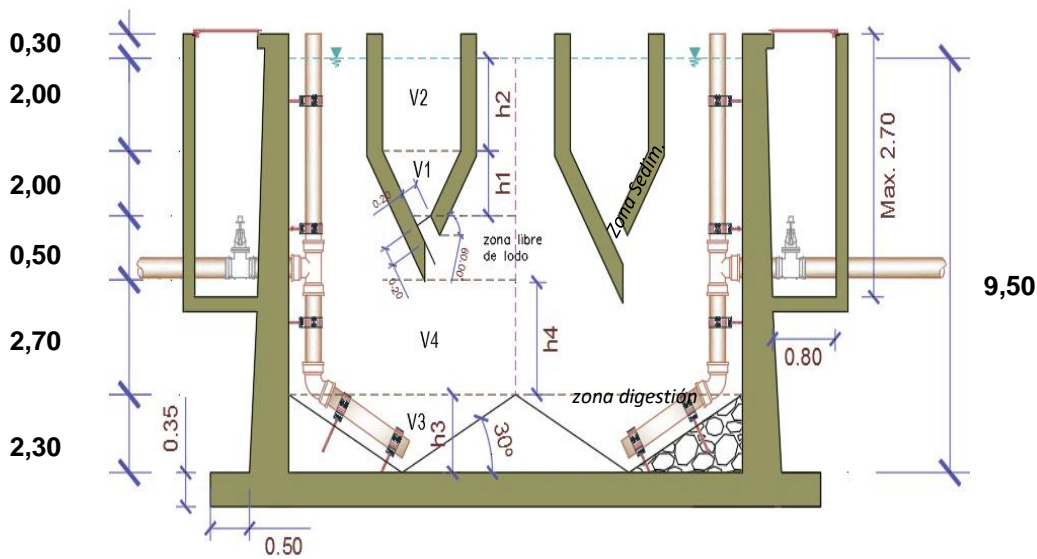
<b>DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL TANQUE IMHOFF</b>			
<b>CALCULO DE ZONA DE ESPUMA</b>			
<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>DATO</b>	<b>MEDIDAS</b>	<b>UNIDAD</b>
Área libre total de digestión	Alt	9	m <sup>2</sup>
Ancho total del digestor	alt	1,10	m
Ancho unitario del digesto	Altu	1	m
Espesor de concreto	ec	0,30	m
Área total de tanque Imhoff	At'	69	m <sup>2</sup>
Población al año 20		2220	hab
<b>CÁMARA DE DIGESTIÓN</b>			
Tasa de acumulación de lodos	Tal''	0,10	m <sup>3</sup> /hab. año
Volumen total de tanque de digestión	Vd	218	m <sup>3</sup>
Numero de digestores	ND	3	und



**Ilustración 34.**Componentes del tanque INHOFF

**Tabla 44:** Dimensiones de los componentes del tanque IMHOFF

DIMENSIONES DE LOS COMPONENTES DEL TANQUE IMHOFF			
DIMENSIONAMIENTO DE LA CÁMARA DE DIGESTIÓN			
PARÁMETROS	SIGLAS	MEDIDAS	UNIDADES
Numero de sedimentadores	Ns	2	und
Ancho del sedimentador	Bs	2,00	m
Ancho de área libre unitaria	altu	1	m
Número total de muros	Nº:	4	und
Ancho de cada muro	am	0,20	m
Ancho total de zona de digestión	atsd	7,80	m
Longitud de sedimentación	Ls	8,00	m
Área de la base de tolva	Abp	62,40	m <sup>2</sup>
Angulo de inclinación	$\alpha$	30,00	°
Altura de la tolva	h3	2,30	m
Volumen de la tolva	V3	48	m <sup>3</sup>
Volumen N°04	V4	170	m <sup>3</sup>
Altura N°04	h4	2,70	m
Borde libre debajo del sedimentador	Bl	0,50	m
Altura total de tanque IMHOFF	HT	12,4	m



**Ilustración 35.** Dimensiones de la cámara de digestión

Según Pérez (2017), estudio titulado "Evaluación de la calidad agronómica del agua residual tratada en el tanque Imhoff", se concluye que el tanque Imhoff demuestra ser eficiente en remover contaminantes. Se observó remover el 71.21% de los sólidos suspendidos, dentro del rango esperado del 40% al 60%. En cuanto a la remoción de la DBO<sub>5</sub>, se logró un porcentaje del 87.88%, aunque no se alcanzó el objetivo del 90.8%. Sin embargo, el autor destaca que este resultado todavía se considera eficiente, ya que supera ampliamente el rango de remoción esperado del 25% al 35% de la DBO<sub>5</sub>.

Además, según la propuesta presentada, se establecieron niveles de remoción del 30% para la Demanda Biológica de Oxígeno, el 30% para la DQO, el 70% para los sólidos suspendidos, el 90% para los coliformes y el 30% para el oxígeno disuelto.

#### 4.4.2 LECHO DE SECADOS.

En la Tabla 45, se muestra las dimensiones del tanque de lecho, a base de la data de: caudal de diseño, temperatura promedio de la zona 13°, contribución per cápita de sólidos por habitante, valoración de amontonamiento de lodos por habitante, fase de deglución de lodos, altitud promedio de la zona etc. El lecho de secados cuenta con 4 cámaras de distribución de lodos ya que se necesita área suficiente para el que el lodo no se estanque y pueda expandirse con normalidad.

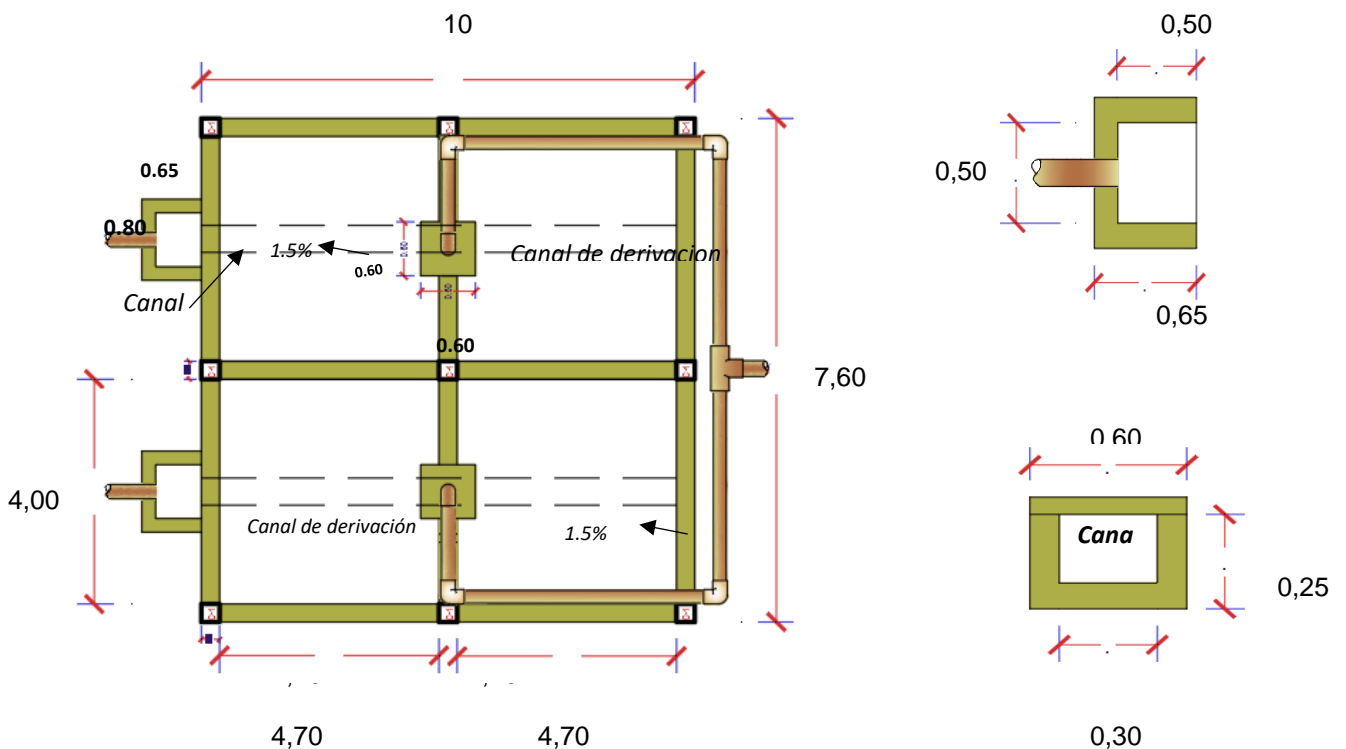
**Tabla 45:** Lecho de secados.

COMPONENTES PARA LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADO				
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND	FUENTE
Caudal promedio	Qp	479,52	m <sup>3</sup> /día	Cálculo de caudales
Altitud promedio de la zona	CT	3700	msnm	Topografía
Temperatura promedio de la zona	T	13,00	°c	Estación meteorológica
Nº de unidades de lecho de secado	N	24,00	und	Criterio técnico

**Tabla 46:** Componentes de la dimensión del lecho de secados.

COMPONENTES DE LA DIMENSIÓN DEL LECHO DE SECADOS			
DESCRIPCIÓN	DATO	MEDIDAS	UNIDADES
Periodo de digestión de lodo (4 a 8) semana: climas fríos.	Td	55,000	días
Carga de solidos que ingresa al tanque Imhoff	Cs	465,97	Kgs/día
Masa de solidos que conforma el lodo	Msd	151,44	Kd Msd/día
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	1456,17	Lt/día
Volumen de lodos a extraer del tanque Imhoff	Vel	80,1	m <sup>3</sup>
Área de lecho de secado	Als	267,0	m <sup>2</sup>
Área unitaria de lecho de secado	Als <sub>u</sub>	11,1	m <sup>2</sup>
Longitud calculada de lecho de secado unitario	L	4,7	m

**Ilustración 36.** Unidades de lecho de secado.



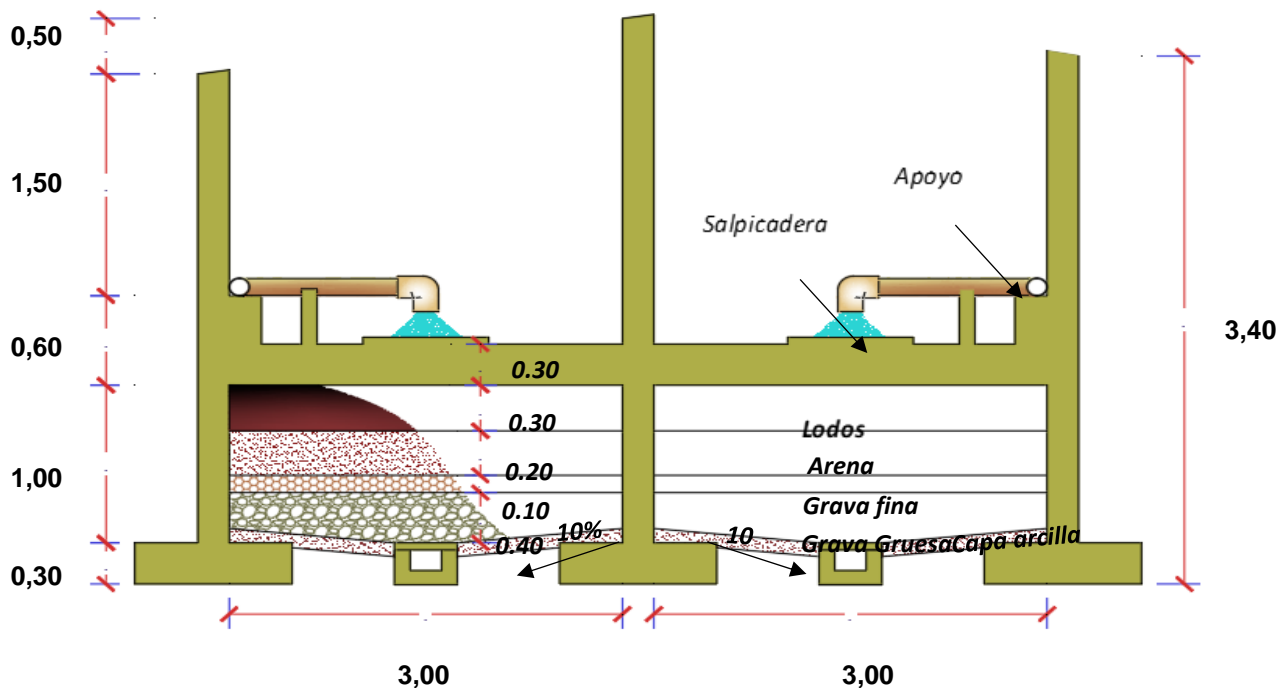


Ilustración 37. Vista lateral del lecho de secado

#### 4.5 TRATAMIENTO SECUNDARIO.

##### 4.5.1 FILTRO BIOLÓGICO.

En la Tabla 47, se muestran las dimensiones del filtro biológico o percolador, que se realizó sobre la base del caudal de diseño, los criterios físicos, químicos y biológico del análisis de la descarga de agua residual, temperatura promedio de la zona 13°, y correlacionando a la eficiencia del tanque Imhoff.

Tabla 47: Componentes de la dimensión del filtro biológico

COMPONENTES DE LA DIMENSIÓN DEL FILTRO BIOLÓGICO			
DESCRIPCIÓN	DATO	MEDIDAS	UNIDADES
Producción per cápita de agua residuales	So	273	mg DBO/l
Eficiencia del filtro percolador	Ef	85	%
Carga de DBO <sub>5</sub>	Wg	131	Kg DBO/día
Factor de recirculación	F	1	*
Volumen de filtro corregido a temperatura de la zona	Vc	647	m <sup>3</sup>
Altura estándar de inicio de digestión	H	3	m
Área del filtro percolador	A	215,51	m <sup>2</sup>
Ancho del filtro percolador	B	10,40	m
Largo del filtro percolador	L	20,80	m
Tasa de aplicación superficial	Tas	2,23	m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> . día
Carga orgánica	Co	0,20	Kg/m <sup>3</sup> . día

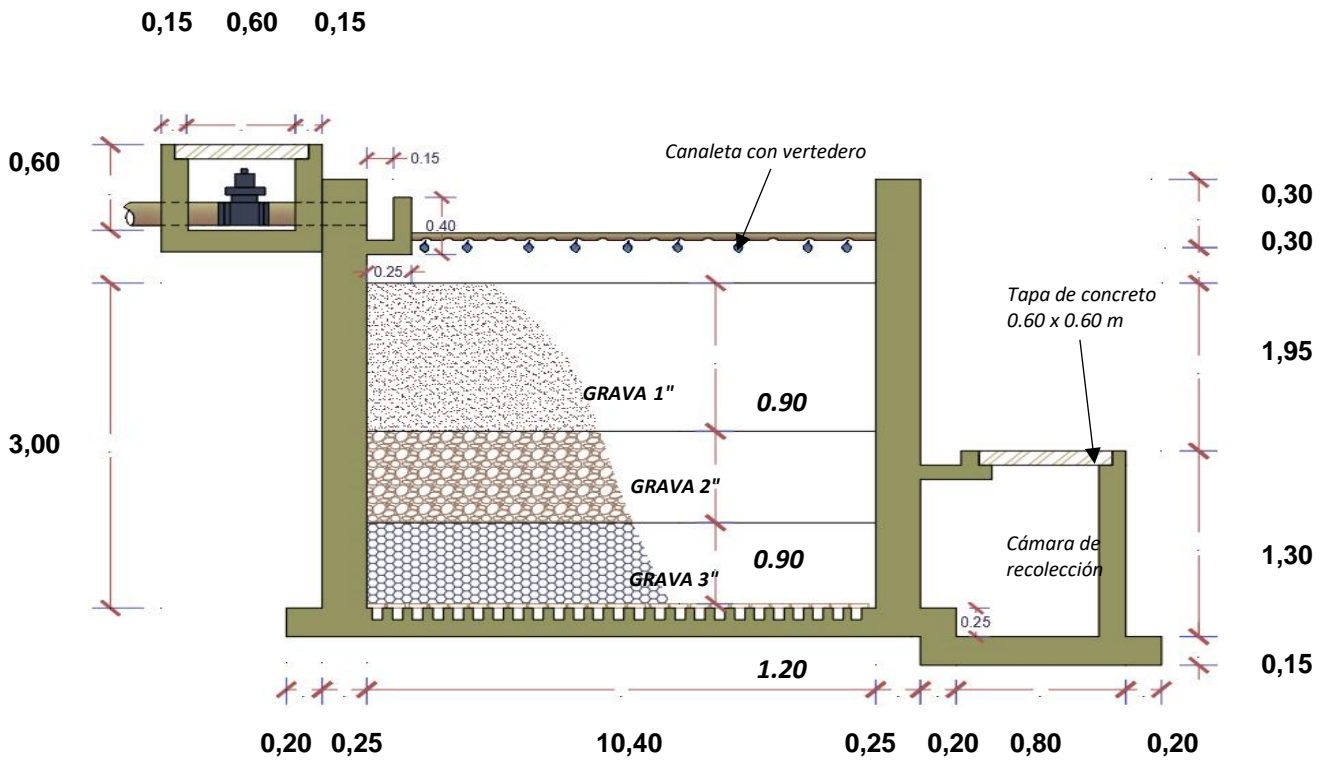


Ilustración 38.Filtro

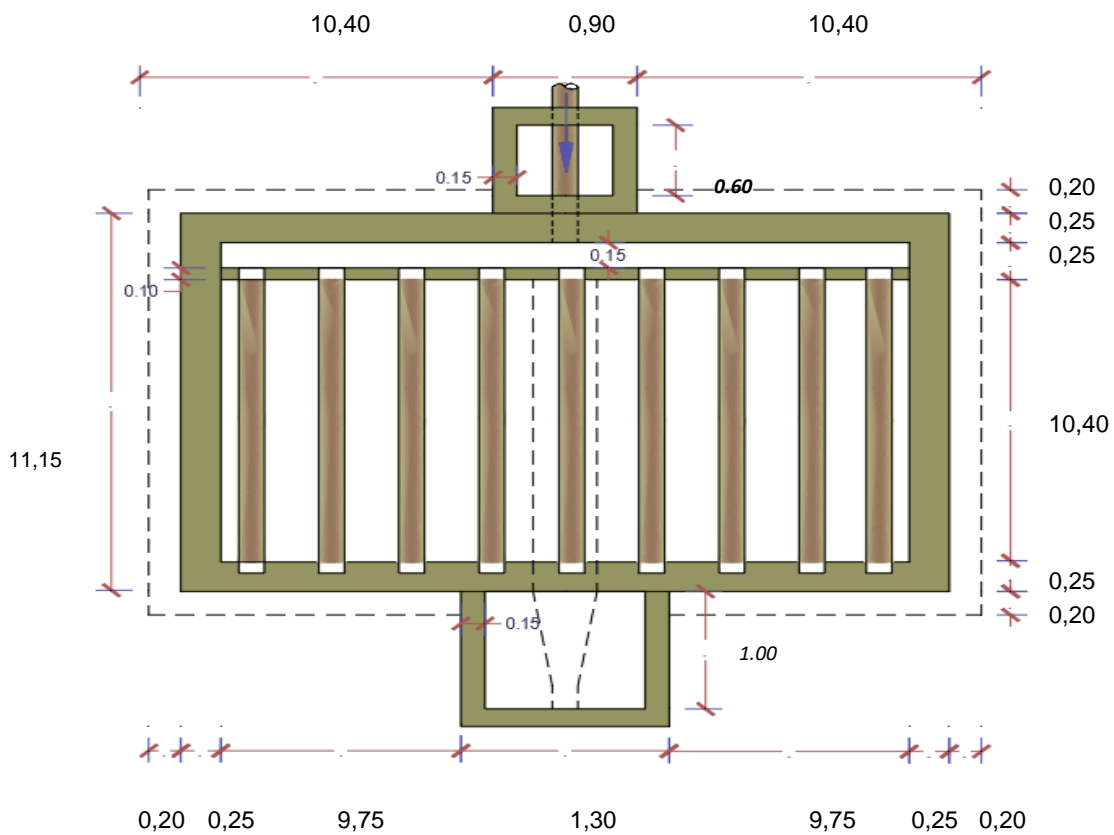


Ilustración 39.Proceso de filtración

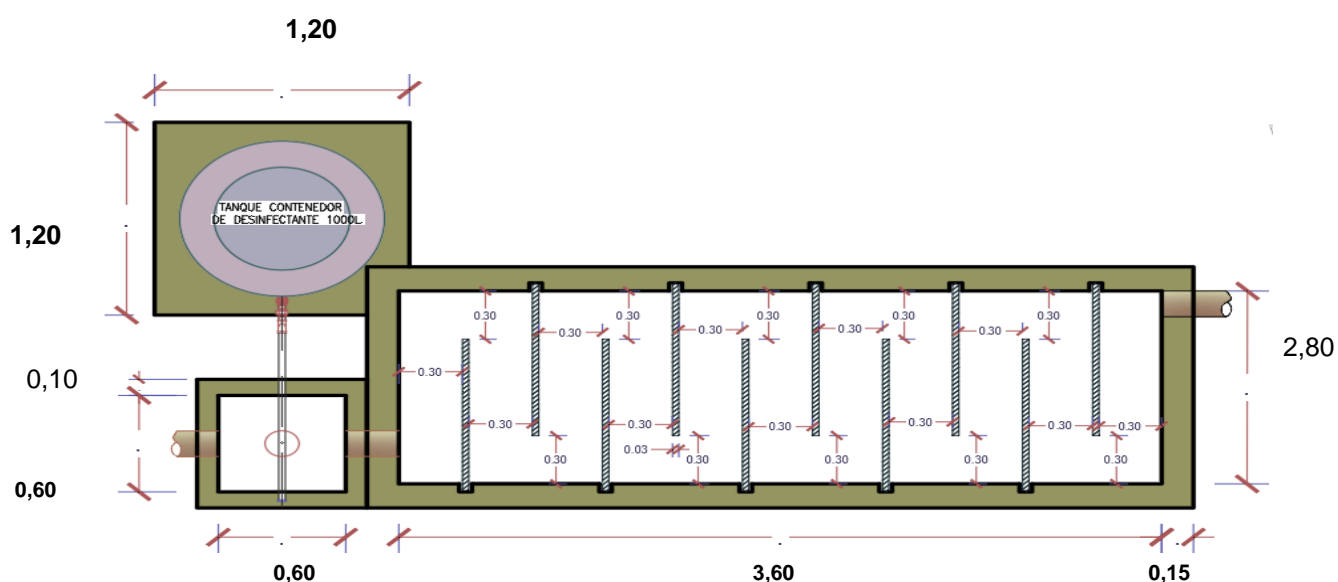
En la Tabla 48, se puede percatar las dimensiones del filtro biológico o percolador

**Tabla 48:**Componentes del filtro.

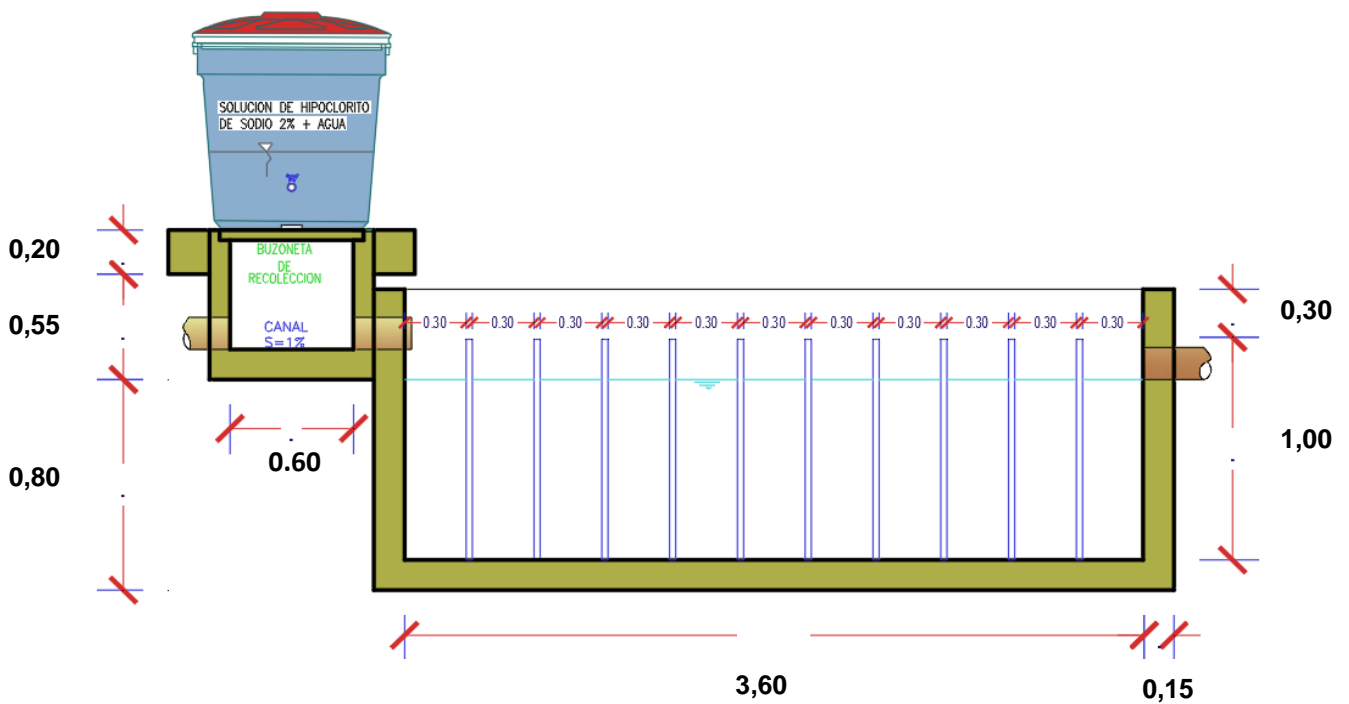
DIMENSIONES DEL FILTRO			
DESCRIPCIÓN	DATO	CANT	UND
Coliformes de afluente	Cf	271000,00	NMP/100ml
Tiempo de retención Hidráulica	TRH	30,00	min
Coliformes de efluente	Ce	2710,00	NMP/100ml
Dosis de cloro requerida (2 -8 mg/l)	Cl	4	mg/l
Profundidad de la cámara	H	1,00	m
Ancho de la cámara 10 deflación. 0.30m	L	3,60	m

**Tabla 49:**Componentes de la dimensión del filtro biológico

COMPONENTES DE LA DIMENSIÓN DEL FILTRO BIOLÓGICO			
DESCRIPCIÓN	DATO	MEDIDAS	UNIDADES
Cantidad de Cloro requerida por día	CLr	1,92	Kg/d
Cantidad de cloro en el efluente	Ct	0,53	mg/l
Volumen de la cámara de cloro	Vc	9,99	m <sup>3</sup>
Área de la cámara de cloro	Ac	9,99	m <sup>2</sup>
Ancho de la cámara de cloro	B	2,80	m
Numero de briquetas	Nb	10,00	und



**Ilustración 40.**Número de brigetas en la cámara de cloro.



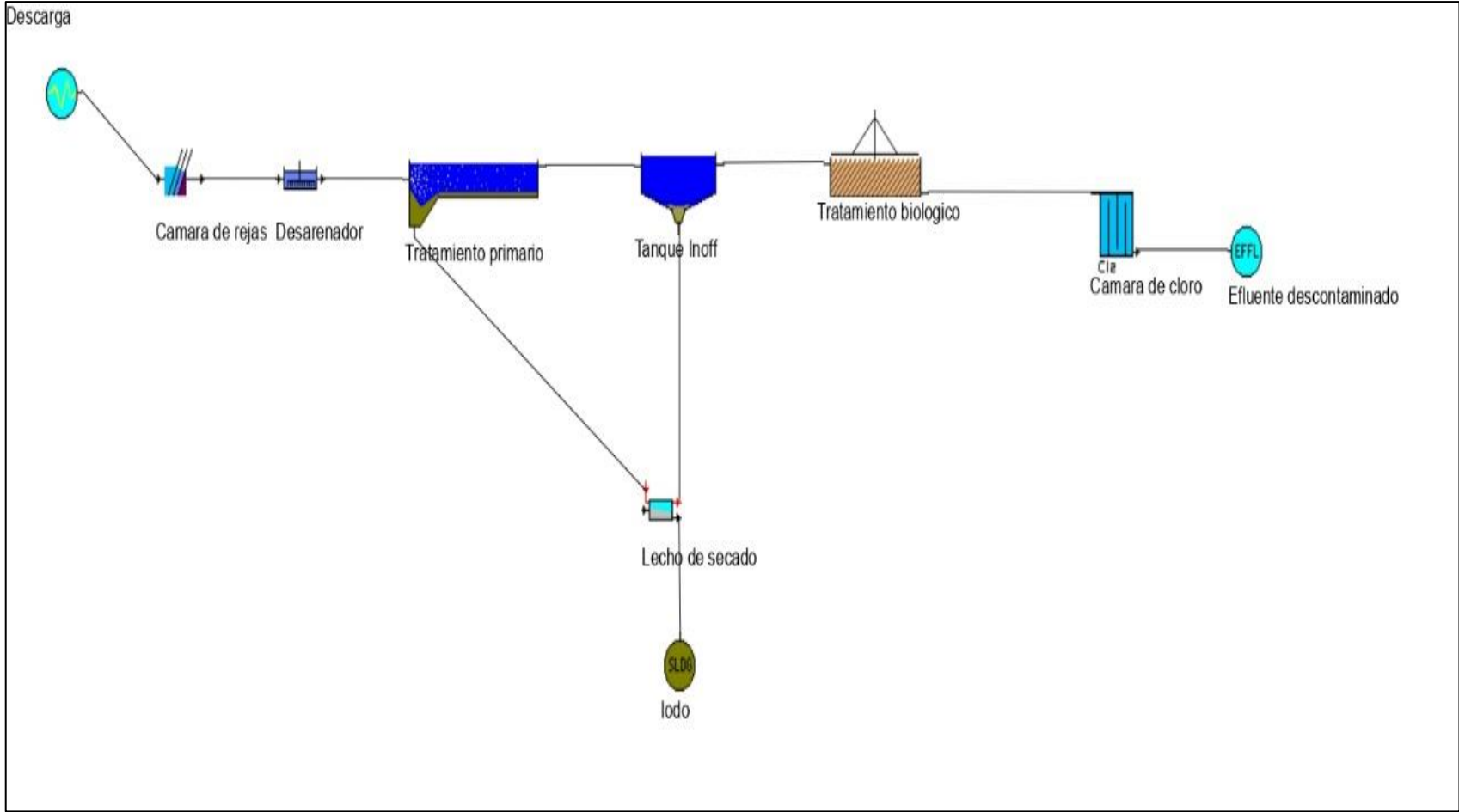
**Ilustración 41.** Vista lateral de la cámara de cloro.

Mediante este estudio se verifica que los filtros percoladores demuestran una eficiencia del 71.21%, en la remoción de sólidos suspendidos. Además, se logró una remoción del 87.88% de DBO<sub>5</sub>. Según Jaramillo Mondragón & Paredes Togas (2019), señalan que reportaron eficiencias similares de 80.27% en DBO<sub>5</sub> y 76.92% en DQO durante un período de 96 días de la función del conjunto de filtros.

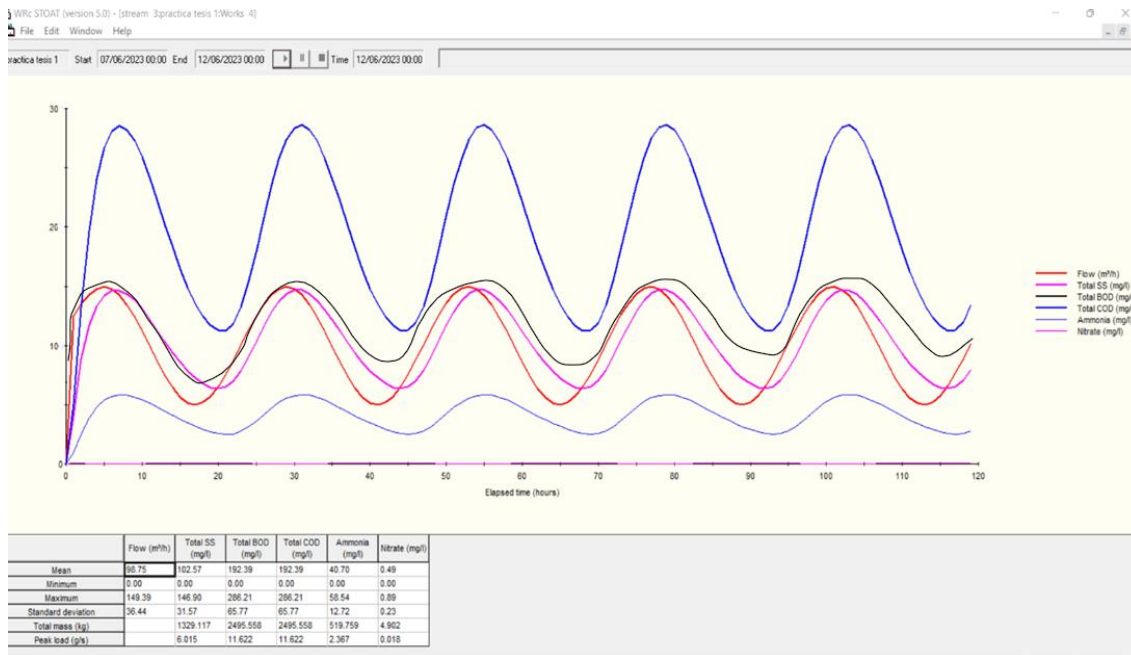
Pacheco Toro (2015) menciona que logró una eficiencia promedio del 80.27% en la remoción de DBO<sub>5</sub>, así como un 76.92% en la remoción de DQO, durante un periodo de 96 días de función del sistema de filtros.

#### **4.6 SIMULACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.**

Según los análisis del laboratorio, la comparación con la normativa y el cálculo de eficiencia que necesita el sistema de tratamiento debe ser entre un 50% a 85%, de eficiencia. Para ello se investigó el porcentaje de remoción que tiene cada unidad de tratamiento según la Tabla 4 y 18 se constató el número de tratamientos que conforman el sistema de aguas residuales, mediante el balance de masa simulatorio se comprobó que el sistema tratamiento es eficiente para el tipo de aguas residuales analizadas en laboratorio.



**Ilustración 42.** Dimensión simulación en Stoa 5.0



**Ilustración 43.** Resultados de simulación en Stoaat 5.0

Como se observa en la gráfica 43, la simulación en el software, la concentración de contaminantes que incumplen la normativa ambiental vigente se encuentra por debajo de los 30 mg/l, el cual también aprueba el sistema propuesto para el centro cantonal de Pucará, de acuerdo con los resultados, se argumenta que la función del sistema deduce aproximadamente el 85% de la carga de contaminantes presentes en el agua residual.

#### 4.6.1 EFICIENCIA DE REMOCIÓN - TANQUE IMHOFF.

Para determinar la eficiencia, se cargó los datos del análisis y caudal promedio del efluente proveniente del centro cantonal de Pucará, que cuenta con los siguientes porcentajes de remoción: 30% de DBO<sub>5</sub>, 30% de DQO, 70% de Sólidos Suspendingidos, 90% coliformes fecales y 30% Oxígeno Disuelto Tabla 50.


MO ENTRADA			TANQUE IMHOFF	MO SALIDA		
DATO	CANT	UND		DATO	CANT	UND
Qp:	479,52	m3/día		Qp:	479,52	m3/día
DBO <sub>5</sub> :	389,75	mg/l		DBO <sub>5</sub> :	272,83	mg/l
DQO:	779,50	mg/l		DQO:	545,65	mg/l
SS:	971,75	mg/l		SS:	291,53	mg/l
Cf:	271000	NMP/100ml		Cf:	27100	NMP/100ml
OD:	2,00	mg/l		OD:	1,40	mg/l

**Tabla 50:** Valores de eficiencia del tanque IMHOFF.

#### 4.6.2 EFICIENCIA DE REMOCIÓN – FILTRO BIOLÓGICO.

Para determinar la eficiencia, se cargó los datos del análisis y caudal promedio del efluente provenientes del centro cantonal de Pucará, el cual cuenta con los siguientes porcentajes de remoción: 85% de DBO<sub>5</sub>, 80% de DQO, 90% de Sólidos Suspendidos, 90% Coliformes fecales y 50% Oxígeno Disuelto Tabla 51.

**Tabla 51:** Valores de eficiencia del filtro secundario

MO ENTRADA			FILTRO BIOLÓGICO	MO SALIDA		
DATO	CANT	UND		DATO	CANT	UND
Qp:	479,52	m3/dia		Qp:	479,52	m3/dia
DBO <sub>5</sub> :	272,83	mg/l		DBO <sub>5</sub> :	40,92	mg/l
DQO:	545,65	mg/l		DQO:	109,13	mg/l
SS:	291,53	mg/l		SS:	29,15	mg/l
Cf:	27100	NMP/100ml		Cf:	2710	NMP/100ml
OD:	1,40	mg/l		OD:	0,70	mg/l

#### 4.6.3 EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE LA CÁMARA DE CLORO.

Para determinar la eficiencia, se cargó los datos del análisis y caudal promedio del efluente provenientes del centro cantonal de Pucará, el cual cuenta con los siguientes porcentajes de remoción, 99% de Coliformes fecales y 30% Oxígeno Disuelto Tabla 52.

**Tabla 52:** Valores de eficiencia de la cámara de cloro

<b>Cf:</b>	<b>2710</b>	<b>NMP/100ml</b>		<b>Cf:</b>	<b>27,10</b>	<b>NMP/100ml</b>

#### 4.8.4 COMPARACIÓN DE LA SIMULACIÓN CON LA NORMATIVA ECUATORIANA.

En la Tabla 53, se expone los resultados de los caudales de salida simulados en comparación con la normativa donde se verifica una eficiencia del sistema de tratamiento propuesto, que remueve la concentración de contaminantes dejando los parámetros dentro de la normativa ambiental vigente.

**Tabla 53:** Datos de salida y normativa en base al sistema propuesto

<b>RESUMEN DE EFICIENCIAS</b>					
<b>PARÁMETRO</b>	<b>ACUERDO MINISTERIAL 097 - A (CATEGORÍA 2)</b>	<b>LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES</b>	<b>VALOR EN DESCARGA</b>	<b>VALOR EN MEZCLA</b>	<b>OBSERVACIÓN</b>
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	< 20	100	31,18	14,90	No requiere tratamiento adicional
Solidos Suspendidos (mg/l)	< 100	130	29,15	40,78	No requiere tratamiento adicional
Coliformes Fecales T NMP/100ml)	< 1000	2000	27,10	67,76	No requiere tratamiento adicional
DQO (mg/l)	< 40	200	83,14	39,00	No requiere tratamiento adicional

De acuerdo a los resultados obtenidos en la simulación del sistema de tratamiento depura aproximadamente más del 85% de la carga concentrada de contaminación en los parámetros analizados, por la cual se deduce que no necesita más tratamientos adicionales,

## CAPÍTULO V

### V. CONCLUSIONES

Con respecto a los resultados obtenidos en la presente investigación, se determinan las siguientes conclusiones:

- Sobre la base de los resultados del análisis físico químico de la calidad del efluente, se evidencian que los parámetros DQO, DBO<sub>5</sub>, SS y coliformes fecales incumplen con los límites máximos permitidos de la normativa ambiental vigente, sobre la base de los cuales se determinaron los siguientes elementos: cámara de rejillas, desarenador, canal parshall, tanque Imhoff, lecho de secado, filtro biológico, y cámara de cloro.
- Mediante el análisis, se determinó que la eficiencia del sistema de tratamiento puede alcanzar a remover: 85% de sólidos suspendidos, 79% de DBO<sub>5</sub>, 76% de DQO, 52% de sólidos totales y 80% de coliformes fecales.
- Mediante los resultados de cada parámetro en el análisis de calidad de agua, y la normativa ambiental vigente se determinó que el sistema debe remover el 83% de la carga contaminante.
- Para dimensionar las unidades de tratamiento del sistema se realizó el aforo y la determinación de la población, los cuales se proyectaron para 20 años, es decir para el año 2043, se considera una población de 2220 habitantes, con caudales: promedio de 5,55L/s, máximo de 7,654 L/s, mínimo de 3,656 L/s.
- Se determinaron las medidas de los diferentes componentes de la PTAR: cámara de rejillas tiene una longitud de 2,10m, una altura de 0,76m, cuenta con 7 unidades de barras y un ancho de 1,10m; desarenador con un ancho 0,75m, una longitud total de 5m; y una área total de 3,75m<sup>2</sup>; canal parshall tiene una longitud de 1,25m y una profundidad total de 61 cm; tanque Imhoff tiene una altura de 12,80 ya que necesita sedimentar y digerir la materia orgánica y una longitud de 10 m<sup>2</sup>; el lecho de secado con una área de 267m<sup>2</sup>, se subdivide en 4 unidades con la finalidad de que el lodo no se estanque y para fines de limpieza; el filtro biológico de 10,40m de ancho, 20,80m de largo y 2016m<sup>2</sup> de área; finalmente la cámara de cloro ocupa un área de 10m<sup>2</sup>.
- Mediante la simulación se logró concluir que el sistema presenta aproximadamente el 85% de reducción de contaminantes presentes en las descargas residuales de centro cantonal de Pucará.

## **CAPÍTULO VI**

### **VI. RECOMENDACIONES**

Se recomienda realizar varios análisis de la carga de contaminantes presentes en las aguas residuales, ya que esto proporcionará una base de datos más completa para dimensionar el sistema de tratamiento. Además, se debe considerar la normativa ambiental ecuatoriana vigente y asegurarse de que el sistema propuesto cumpla con los objetivos de remoción. Esto garantizará que el efluente tratado cumpla con los requisitos legales y contribuya a la preservación del medio ambiente.

Se recomienda la implementación de tecnologías avanzadas y sostenibles que incluyan procesos de tratamiento físico, químico y biológico para el tratamiento de las aguas residuales, lo que permitirá eliminar un gran porcentaje de contaminantes y minimizar los impactos ambientales.

Se recomienda utilizar herramientas de simulación para evaluar diferentes escenarios y opciones de sistemas para optimizar el dimensionamiento y garantizar el sistema de tratamiento residual.

Se recomienda la implementación de tecnologías avanzadas y sostenibles que incluyan procesos de tratamiento físico, químico y biológico para el tratamiento de las aguas residuales, lo que permitirá eliminar un gran porcentaje de contaminantes y minimizar los impactos ambientales.

Realizar un análisis económico para viabilizar la construcción del sistema propuesto. Esto incluye estimar los costos de inversión, operación y mantenimiento, así como los posibles beneficios socioeconómicos derivados de la implementación del sistema de tratamiento.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABIONIK. (2019). *BIOFILTRO*. <https://abionik.com/produkte/abgas-abluft-behandlung/biofilter>
- Asamblea Nacional del Ecuador. (2017). Código Orgánico del Ambiente. *Registro oficial suplemento 983*, 92.
- Barreto, P. (2010). Protocolo de Monitoreo de Agua. *Revista Mexicana De Ingenieros Químicos*, 22(5), 40.
- Código Orgánico del Ambiente, (COA). (2017). *Acuerdo Ministerial 097A*. 131. [http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria\\_Ambiente/Documentos/calidad\\_ambiental/normativas/acuerdo\\_ministerial\\_97a.pdf](http://www.quitoambiente.gob.ec/images/Secretaria_Ambiente/Documentos/calidad_ambiental/normativas/acuerdo_ministerial_97a.pdf)
- Comisión Nacional del Agua. (2016). Introducción al Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento*, 365.
- CONAGUA. (2015). *Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales, periurbanas y desarrollos ecoturísticos*. (Vol. 31, p. 156).
- CONAGUA. (2016). Manual de agua potable, alcantarillado y saneamiento. Diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales municipales. Pretratamiento y tratamiento primario. En *Manual de Agua Potable Alcantarillado y Saneamiento*. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/CONAGUA\\_2015\\_Manual\\_Pretratamiento\\_y\\_Tratamiento\\_primario..pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/CONAGUA_2015_Manual_Pretratamiento_y_Tratamiento_primario..pdf)
- Fernandez-Alba, A. ., García, P. ., García, R. ., Valiño, M. ., Fernández, S. V, & Sanz-Garcia, J. . (1997). Enhanced Industrial Wastewater Treatment. *Proceedings of the Air & Waste Management Association's Annual Meeting & Exhibition*.
- Fernández-Santisteban, M. (2017). Determinación de Coliformes Totales y Fecales en Aguas de Uso Tecnológico para las Centrífugas. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, XXXIX(1), 52–56.
- GAD Municipalidad de Pucará, . (2018). *Plan De Ordenamiento Territorial Del Cantón Pucará - Diagnóstico*. 23.
- González, M. A. (2017). *Modelado y Simulación de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Empleando el Software GPS-X*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- HACH. (2019). *Dureza (Total, Ca y Mg)*.
- Hanna, I. (2011). *Manual de Instrucciones, Medidor Multiparámetro*. [https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2020/09/Manual\\_HI\\_98194.pdf](https://cdn.hannacolombia.com/hannacdn/support/manual/2020/09/Manual_HI_98194.pdf)

- Hernández, A. I. (2015). *Simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales por humedales artificiales*. Universidad de Guadalajara.
- Hernandez, A. M., Bojaca, R. del P., & Duque, M. E. (2007). Determinación de grasas y aceites en aguas por el método soxhlet. *Ideam*, 1–8.
- INEC. (2010). *Proyección de la población Ecuatoriana por años Calendario*.
- INEC. (2016). Estadística de Información Ambiental Económica en Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales 2015 (Agua y Alcantarillado). *Instituto Nacional de Estadística y Censos INEC, 2015*, 28.
- INEN. (2013). Norma para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. *Inen*, 291. [https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe\\_inen\\_5 Parte\\_9-1.pdf](https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/cpe_inen_5 Parte_9-1.pdf)
- Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). Norma técnica ecuatoriana de agua, calidad del agua, muestreo y técnicas de muestreo. 2013, *NTE INEN 2*, 1–15. [https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos\\_muestreo\\_biologico\\_con\\_portada\\_tc m30-214764.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/publicaciones/Protocolos_muestreo_biologico_con_portada_tc m30-214764.pdf)
- Jaramillo Mondragón, A., & Paredes Togas, J. J. (2019). Evaluación De La Eficiencia De Un Sistema De Dos Filtros Percoladores En Serie Para El Tratamiento De Aguas Residuales Domésticas En La Urbanización Santa Lucía – Morales, 2018. *Universidad Peruana Unión*, 95 Pag.
- Klein, R. L., & Gibbs, C. (2019). Nitrate. *Water Analysis Handbook (WAH)*, 584(10), 1–8.
- Lozano - Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Autor: Ing . WILLIAM ANTONIO LOZANO-RIVAS , MSc , PhD BOGOTÁ D . C . , COLOMBIA Octubre de 2012. December 2012*, 29.
- Lozano Rivas, W. A. (2012). *Fundamentos de diseño de plantas depuradoras de aguas residuales* (Número Octubre).
- Magne Ayllon, F. M. (2008). Abastecimiento, diseño y construcción de sistemas de agua potable modernizado en el aprendizaje y enseñanza en la asignatura de ingeniería sanitaria I. *Universidad Mayor de San Simón*, 401.
- Metcalf & Eddy. (1995). Ingeniería de las aguas residuales. En *Ingenierías de aguas residuales tratamiento, vertido y reutilización* (Volumen 1).
- Metcalf & Eddy. (1998). Tratamiento, vertido y reutilización. En *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952.
- Method, R. (1998). *Oxygen Demand, Biochemical*. 1–10.

- Ministerio de vivienda, C. y S. (2006). Reglamento Nacional de edificaciones. *Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento*, 156. <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento Nacional de Edificaciones.pdf>
- Nakamura, I., Ochiai, K., & Imawari, M. (2004). Ammonia nitrogen. *Nippon rinsho. Japanese journal of clinical medicine*, 62 Suppl 1, 597–599.
- ONU, O. de las N. U. (2017). Aguas Residuales el Recurso Desaprovechado. En *Informa Mundial de las Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos 2017* (Vol. 3). [http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas\\_Residuales\\_composicion.pdf](http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf)
- Pacheco Toro, R. S. (2015). *Biopercolación para la remoción de materia orgánica de aguas residuales tipo domésticas* (Número 1).
- Palate, C., & Romero, A. (2020). *PROYECTO PARA OBTENER EL TÍTULO DE* : 88.
- Pérez, E. (2017). *Evaluar la calidad agronómica del agua residual (AR) tratada en el tanque Imhoff*. 39. [http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42188/K64738\\_ELDA\\_PÉREZ\\_PÉREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/42188/K64738_ELDA_PÉREZ_PÉREZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Ponce, I. A. (2020). *Propuesta y diseño de una planta de tratamiento de agua residual para la industria tequilera*.
- Ramalho, R. S. (1983). Tratamiento de aguas residuales. En *Editorial REVERTÉ, S.A.* (Vol. 1).
- Raschid-sally, L., & Jayakody, P. (2008). *Drivers and Characteristics of Wastewater Agriculture in Developing Countries*: (Número July).
- Robson, E. H. (1985). The role of computer simulation. *International Journal of Mathematical Education in Science and Technology*, 16(2), 255–258. <https://doi.org/10.1080/0020739850160219>
- Rodríguez Miranda, J. P., García Ubaque, C. A., & Pardo Pinzón, J. (2015). Selección de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales. *Revista Tecnura*, 19(46), 16. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2015.4.a12>
- Romero, J. (2010). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES. Teoría y principios de diseño*.
- Roza, Z. C. (2005). Simulation Fidelity Theory and Practice. En *Dup Science*.
- Sánchez, J. (2013). *Medida de caudales*. 1–7. <http://hidrologia.usal.xn--espg-7na.1>
- Sánchez, J. V., & Román, S. E. (2020). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales industriales para una empresa empacadora y exportadora de camarón en la ciudad de Guayaquil*.
- Sánchez Ramírez, J. E., Fajardo, A. M., & Cruz, C. M. A. (2015). Software de ingeniería especializado

en el diseño y simulación de plantas de tratamiento de agua residual: revisión. *Revista Ingeniería y Región*, 13(1), 57–71.

Sergio, M. (1999). *Parámetros de diseño de sistemas de tratamiento de aguas residuales*.

SINERTECH. (2021). *Plantas de aguas residuales*. <https://www.nyfdecolombia.com/aguas-residuales/reja-manual>

Torres, M. C. (2006). Procedimiento para la Medición de Sólidos Totales. *Centro de Investigaciones Hidráulicas e Hidrotécnicas (LSA)*, 1, 5. <http://www.utp.ac.pa/sites/default/files/PCUTP-CIHH-LSA-211-2006.pdf>

USEPA. (2008). *Oxygen Demand, Chemical*. 26811–26812.

Valencia, A. (2014). Manual Piragüero Medición de Caudal, Programa Integral-Red Agua. *Programa Integral Red Agua*, 3, 1–24.

Villada, A. (2014). Documentación de los manuales para la toma de muestra de calidad del agua y vertimientos, realizados por la corporación autónoma regional de Risaralda -Carder. *Carder*, 3(2), 65.  
<http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/4558/628161V712.pdf;sequence=1>

Wearewater. (2017). *Aguas negras, el rastro de nuestra historia*. [https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia\\_281141#:~:text=En la Grecia antigua%2C ante,a los campos de cultivo.](https://www.wearewater.org/es/aguas-negras-el-rastro-de-nuestra-historia_281141#:~:text=En la Grecia antigua%2C ante,a los campos de cultivo.)

## GLOSARIO DE TÉRMINOS

**Muestreo compuesto puntual:** Combinación de muestras de un mismo punto durante diferentes tiempos u horarios.

**Aforo:** Medición de caudal; es decir, determina la cantidad de agua en un punto o sección determinado.

**Aguas residuales:** Aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por la actividad humana, la cual requieren un tratamiento previo, para ser vertidas a un cuerpo de agua natural o se requiera reutilizar en alguna otra actividad como la agricultura.

**Cuerpo receptor:** Es un río, cauce, riachuelo, pozo.

**PTAR:** Planta de tratamiento de aguas residuales.

**PTARM:** Planta de tratamiento de efluentes municipales.

**Turbidez:** Grado de transparencia de un líquido; es decir, se mide la claridad del líquido.

**Sólidos suspendidos:** son aquellas pequeñas partículas sólidas que encuentran en suspensión en un líquido.

**Demanda bioquímica de oxígeno DBO<sub>5</sub>:** Valora el grado de carga orgánica en el agua residual y a su vez también indica una estimación de oxígeno que requiere una población microbiana.

**Demanda química de oxígeno DQO:** Mide la cantidad de sustancias disueltas o en suspensión en un líquido, también es la cantidad de oxígeno imprescindible para oxidar la materia orgánica.

**pH:** Medida de alcalinidad (8-14), acidez (0-6) o neutro (7) de una sustancia.

**Caudal máximo horario:** Cantidad de agua máxima durante una hora en el periodo de aforo.

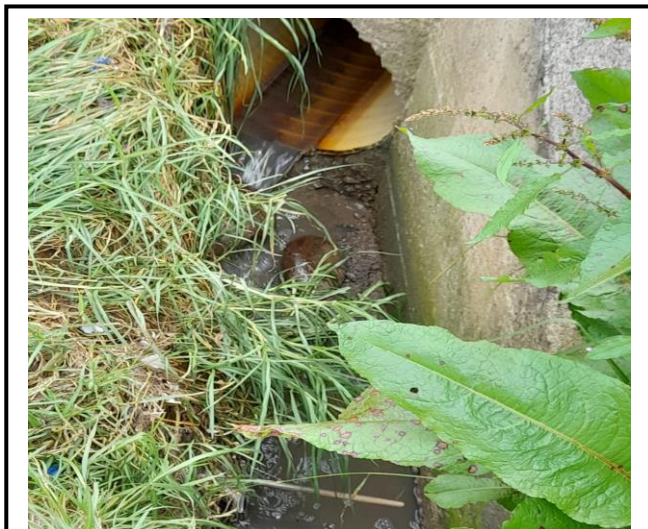
**Caudal promedio:** Caudal que más se registra durante el periodo de aforo.

**Caudal mínimo:** El caudal más alto dentro del periodo de aforo.

**Calidad de agua:** Conjunto de características físicas, químicas y biológicas del agua.

## ANEXOS

### ANEXO 1. Recopilación fotográfica.



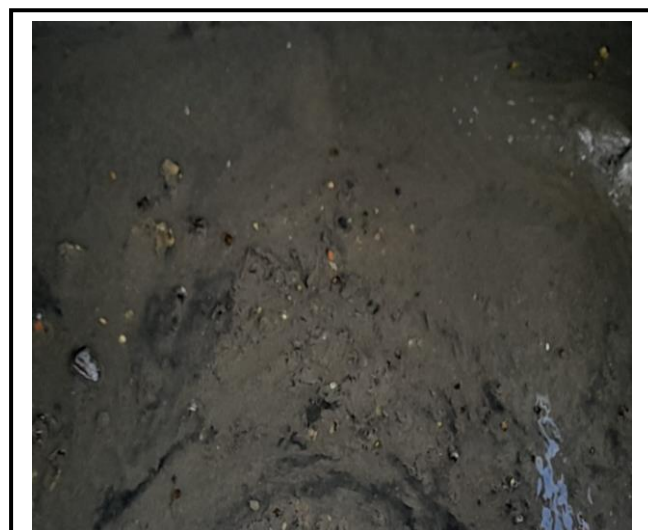
**Foto N.º 01**

Descarga del alcantarillado.



**Foto N.º 02**

Residuos orgánicos encontrados en las zonas aledañas al punto de descarga.



**Foto N.º 03**

Materia fecal posada a lo largo del río después de la descarga.



**Foto N.º 04**

Río contaminado con las aguas residuales del alcantarillado que se vierte de manera directa.



**Foto N.º 05**

Condición del río después de la descarga del alcantarillado.



**Foto N.º 06**

Predios aledaños a la descarga con aguas residuales provenientes del alcantarillado.



**Foto N.º 07**

Monitoreo in situ, con ayuda del operador brindado por el municipio de Pucará en horas de la mañana.



**Foto N.º 08**

Monitoreo con ayuda del operador brindado por el municipio de Pucará en horas de la tarde.



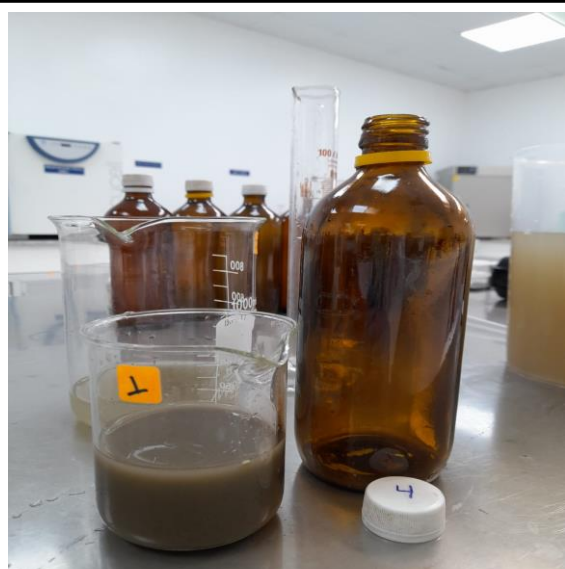
**Foto N.º 09**

Uso de la multiparamétrica in situ, en los días de muestreo.



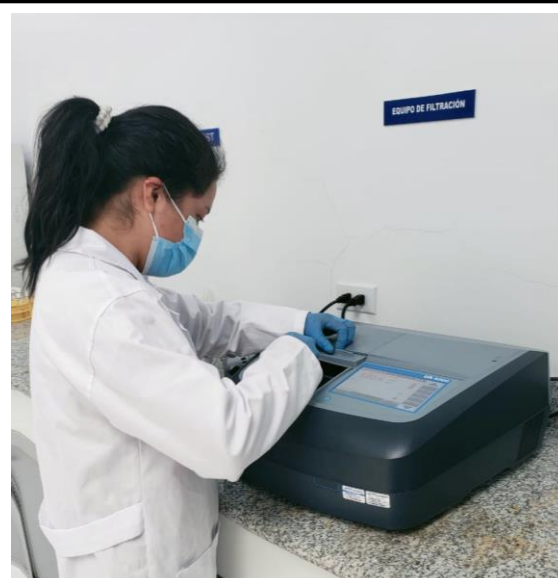
**Foto N.º 10**

Las doce muestras que se tomó durante un día, previas a analizar en el laboratorio.



**Foto N.º 11**

Muestras del segundo día analizar en el laboratorio de la Universidad Católica de Cuenca.



**Foto N.º 12**

Separación de las muestras en tubos de ensayo para su análisis.



**Foto N.º 13**

Determinación la DBO<sub>5</sub> con el manómetro.



**Foto N.º 14**

Las doce muestras tomadas durante el tercer día de muestreo a ser analizadas en el laboratorio.



**Foto N.º 15**

Uso de los EPP adecuados para el muestreo.



**Foto N.º 16**

Uso del equipo mutiparameter para la determinación de algunos parámetros del agua en el proyecto.



**Foto N.º 17**

Determinación de sólidos suspendidos mediante el matraz de filtración.



**Foto N.º 18**

Determinación de nitratos con la base muestra.



**Foto N.º 19**

Pastillas que determinan la dureza del agua residual.



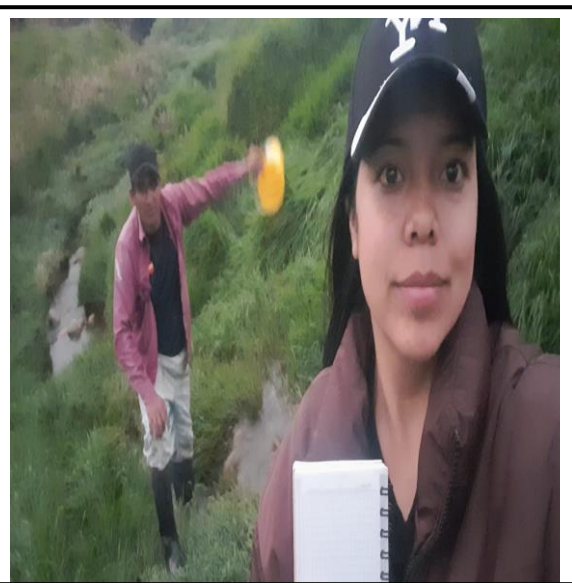
**Foto N.º 20**

Determinación de la dureza mediante pastillas



**Foto N.º 21**

Con el aforo del caudal del río, donde se vierten las descargas.



**Foto N.º 22**

Determinación de nitratos con la base muestra.

<b>AÑO INICIO</b>	<b>NÚMERO DE AÑOS</b>	<b>PROYECCIÓN DE LA POBLACIÓN</b>
2022	0	1728
2023	1	1749
2024	2	1770
2025	3	1791
2026	4	1812
2027	5	1834
2028	6	1856
2029	7	1878
2030	8	1901
2031	9	1924
2032	10	1947
2033	11	1970
2034	12	1994
2035	13	2018
2036	14	2042
2037	15	2067
2038	16	2091
2039	17	2116
2040	18	2142

**Foto N.º 23**

Proyección de la población.

## ANEXO 2. Análisis fisicoquímicos y biológicos de la descarga del centro cantonal de Pucará.



 <b>CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB</b> <b>HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE</b>			
<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-067
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR012	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	18/11/2022
<b>PROYECTO:</b>	Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Narvaez
<b>UNIDAD ACADÉMICA SOLICITANTE:</b>	Ingeniería Ambiental	<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	Nathaly Narvaez
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	24/10/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	25/10/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	25/10/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	30/10/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA			
			Día	Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Limite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBOS)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	790,0	100 mg/L	0-700 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	1264	200 mg/L	20-1500 mg/L
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	0/0	10mg/L	0,3-30 mg/L
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	M1	33,4	No aplica	0,02-2,5 mg/L
Sólidos Suspendidos	Técnica: Gravimetría	mg/L	M1	545	No aplica	No aplica
Dureza	Método 2130-Literal: B	mg/L	M1	60	No aplica	No aplica
T°	Técnica: Electrodo	°C	M1	19,1	No aplica	No aplica

Conductividad	Técnica: Electrodo	uS/cm	M1	507	No aplica	No aplica
Sólidos Disueltos	Técnica: Electrodo	ppm	M1	251	No aplica	No aplica
pH	Técnica: Electrodo		M1	7,46	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml

<b>NOTAS:</b>	Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con Libro VI Anexo 1: Tabla 12-Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

**Observaciones:**

	
Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

 <b>CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB</b> <b>HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE</b>			
<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-068
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	18/11/2022
<b>PROYECTO:</b>	Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Narvaez
<b>UNIDAD ACADÉMICA SOLICITANTE:</b>	Ingeniería Ambiental	<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	Nathaly Narvaez
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODULO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	26/10/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	27/10/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	27/10/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	1/11/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	MUESTRA			
			Día	Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Limite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	392,0	100 mg/L	0-700 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	745	200 mg/L	20-1500 mg/L
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	50,3/60,8	10mg/L	0,3-30 mg/L
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	M1	38,3	No aplica	0,02-2,5 mg/L
Sólidos Suspendedos	Técnica: Gravimetría	mg/L	M1	220	No aplica	No aplica
Dureza	Método 2130-Literal: B	mg/L	M1	60	No aplica	No aplica
T°	Técnica: Electrodo	°C	M1	18,7	No aplica	No aplica
Conductividad	Técnica: Electrodo	uS/cm	M1	660	No aplica	No aplica

Sólidos Disueltos	Técnica: Electrodo	ppm	M1	328	No aplica	No aplica
pH	Técnica: Electrodo		M1	7,65	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml

<b>NOTAS:</b>	Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con Libro VI Anexo 1: Tabla 12-Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

**Observaciones:**

	
<b>Coordinador de Laboratorio</b>	<b>Técnico Responsable</b>

**CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB****HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE**

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> CAR-069	<b>IN-:</b>
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	18/11/2022	
<b>PROYECTO:</b>	Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Narvaez	
<b>UNIDAD ACADÉMICA SOLICITANTE:</b>	Ingeniería Ambiental	<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	Nathaly Narvaez	
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>		
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	31/10/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15	
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	1/11/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30	
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	1/11/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	1/11/2022	


Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	Dia	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Limite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	348,0	100 mg/L	0-700 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	661,2	200 mg/L	20-1500 mg/L
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	20,7/39,1	10mg/L	0,3-30 mg/L
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	M1	67,2	No aplica	0,02-2,5 mg/L
Sólidos Suspendidos	Técnica: Gravimetría	mg/L	M1	1110	No aplica	No aplica
Dureza	Método 2130-Literal: B	mg/L	M1	60	No aplica	No aplica
T°	Técnica: Electrodo	°C	M1	16,9	No aplica	No aplica

Conductividad	Técnica: Electrodo	uS/cm	M1	931	No aplica	No aplica
Sólidos Disueltos	Técnica: Electrodo	ppm	M1	467	No aplica	No aplica
pH	Técnica: Electrodo		M1	16,9	No aplica	0 -> 1600 NMP/100 ml

**NOTAS:**  
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.

Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con Libro VI Anexo 1: Tabla 12-Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.

**Observaciones:**

**Coordinador de Laboratorio** **Técnico Responsable**

**CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB****HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE**

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-070
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	18/11/2022
<b>PROYECTO:</b>	Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Narvaez
<b>UNIDAD ACADÉMICA SOLICITANTE:</b>	Ingeniería Ambiental	<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	Nathaly Narvaez
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACIÓN:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	8/11/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	9/11/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	9/11/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	9/11/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	Dia	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Limite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	390,0	100 mg/L	0-700 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	651	200 mg/L	20-1500 mg/L
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	168/225,1	10mg/L	0,3-30 mg/L
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	M1	40,6	No aplica	0,02-2,5 mg/L
Sólidos Suspendidos	Técnica: Gravimetría	mg/L	M1	1670	No aplica	No aplica
Dureza	Método 2130-Literal: B	mg/L	M1	60	No aplica	No aplica
T°	Técnica: Electrodo	°C	M1	19,4	No aplica	No aplica

Conductividad	Técnica: Electrodo	uS/cm	M1	629	No aplica	No aplica
Sólidos Disueltos	Técnica: Electrodo	ppm	M1	313	No aplica	No aplica
pH	Técnica: Electrodo		M1	7,36	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml

<b>NOTAS:</b>	Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con Libro VI Anexo 1: Tabla 12-Limites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

**Observaciones:**

Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable



Universidad  
Católica  
de Cuenca

**CIITT- LABORATORIO DE CALIDAD DE AGUA- HYDROLAB**

**HACIENDA MIRACIELOS-RICAURTE**

<b>CODIGO:</b> UCC-LCAR-F06	<b>ELABORADO:</b> Ing. Maria Eugenia Quinteros Msc.	<b>ELABORADO Y REVISADO:</b> Ing. Carlos Matovelle B. Msc.	<b>Nº INFORME:</b> IN-CAR-071
<b>CODIGO MUESTRA:</b>	CAR001-CAR011	<b>FECHA DE EMISION DEL INFORME:</b>	18/11/2022
<b>PROYECTO:</b>	Diseño y simulación de una planta de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará	<b>SOLICITANTE:</b>	Nathaly Narvaez
<b>UNIDAD ACADEMICA SOLICITANTE:</b>	Ingeniería Ambiental	<b>RESPONSABLE DE LA TOMA DE MUESTRA:</b>	Nathaly Narvaez
<b>TIPO DE MUESTRA:</b>	Agua Residual	<b>MODO DE CONSERVACION:</b>	
<b>FECHA DE RECOLECCION DE MUESTRAS:</b>	10/11/2022	<b>HORA DE RECOLECCION:</b>	8:15
<b>FECHA DE RECEPCION DE MUESTRAS:</b>	11/11/2022	<b>HORA DE RECEPCION:</b>	8:30
<b>FECHA DE INICIO DE ENSAYOS</b>	11/11/2022	<b>FECHA DE FIN DE ENSAYOS:</b>	11/11/2022

Análisis	Método de Referencia / Método Interno	Unidad	Dia	MUESTRA		
				Resultados 21-050	Valores máximos permisibles	Límite de cuantificación
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO5)	Método 5210-Literal D. Técnica: Respirométrica	mg/L	M1	429,0	100 mg/L	0-700 mg/L
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	Método 5220-Literal D. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	838	200 mg/L	20-1500 mg/L
Nitratos	Método 4500-NO3 Literal: E. Técnica: Espectrofotometría	mg/L	M1	580,6/678,2	10mg/L	0,3-30 mg/L
Amonio	Método del Salicilato 10031 Hach	mg/L	M1	45	No aplica	0,02-2,5 mg/L
Sólidos Suspendidos	Técnica: Gravimetría	mg/L	M1		No aplica	No aplica
Dureza	Método 2130-Literal: B	mg/L	M1	60	No aplica	No aplica
T°	Técnica: Electrodo	°C	M1	17,5	No aplica	No aplica

Conductividad	Técnica: Electrodo	uS/cm	M1	728	No aplica	No aplica
Sólidos Disueltos	Técnica: Electrodo	ppm	M1	370	No aplica	No aplica
pH	Técnica: Electrodo		M1	7,31	No aplica	0 - >1600 NMP/100 ml

<b>NOTAS:</b>	Los resultados obtenidos en el ensayo, son comparados con Libro VI Anexo 1: Tabla 12-Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.
Los resultados incluidos en el presente Informe están relacionados únicamente a las muestras analizadas.	

**Observaciones:**

Coordinador de Laboratorio	Técnico Responsable

## AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Yo, Silvana Nathaly Narvaez Cedillo portadora de la cédula de ciudadanía N.º 0106299654. En calidad de autora y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Propuesta de dimensionamiento y simulación de un sistema de tratamiento de aguas residuales para el centro cantonal de Pucará, provincia del Azuay” de conformidad a lo establecido en el artículo 114 Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos, Así mismo; autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 25 de julio de 2023

F: 

Silvana Nathaly Narvaez Cedillo

0106299654