



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN  
PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI**

**Trabajo de Titulación**

Tipo: Proyecto de Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**AUTOR:** DIANA LISSETH VASCO VILLAMARIN

**DIRECTOR:** Dr. JOSÉ GERARDO LEÓN CHIMBOLEMA, MsC.

Riobamba – Ecuador

2022

**©2022, Diana Lisseth Vasco Villamarin**

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, DIANA LISSETH VASCO VILLAMARIN, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 23 de Marzo de 2022

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Diana Vasco', with a horizontal line underneath.

**Diana Lisseth Vasco Villamarin**

**CI: 050407355-2**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**CARRERA INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

El Tribunal del trabajo de titulación certifica que: El trabajo de titulación: tipo: proyecto técnico, **DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI**, realizado por la señorita: **DIANA LISSETH VASCO VILLAMARIN**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del trabajo de titulación, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Paul Gustavo Palmay Paredes, MsC. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-03-23
Dr. José Gerardo León Chimbolema, MsC. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN</b>		2022-03-23
Ing. Juan Carlos González García, PhD. <b>MIEMBRO DE TRIBUNAL</b>		2022-03-23

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado con gran admiración y respeto hacia mi madre Rosario Villamarin y mi hermana Daniela Vasco, que han sido los dos pilares fundamentales a lo largo de mi vida tanto personal como estudiantil. Que llenas de cariño y amor supieron educarme, guiarme y apoyarme para cumplir con todos mis objetivos y metas. Del mismo modo a mis hermanos quienes fueron un apoyo y guía a lo largo de mi vida.

*Diana*

## **AGRADECIMIENTO**

A mi familia por siempre ser el apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, los cuales con consejos y paciencia me encaminaron para cumplir con mis metas.

Al Dr. José Gerardo León, DIRECTOR DE TESIS por compartir todos sus conocimientos con paciencia, amabilidad y brindar su tiempo, ayuda, guía y asesoramiento técnico para realizar mi proyecto de titulación.

Al Ing. Juan Gonzales, ASESOR DE TESIS, por su colaboración, asesoramiento, ayuda y tiempo brindado para desarrollar mi proyecto de tesis.

Al Sr Oscar Espinosa, presidente de la JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO LA VICTORIA por ayudarme con toda la información necesaria para efectuar mi trabajo de titulación.

Finalmente, agradezco a Genesis Calvache y Jean Mecias, por ser mis amigos incondicionales, por su apoyo y palabras de motivación en los momentos difíciles, por formar parte de todas las etapas de mi vida.

*Diana*

## TABLA DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE GRÁFICOS.....	xii
ÍNDICE DE ECUACIONES .....	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS .....	xv
RESUMEN .....	xvi
SUMARY.....	xvii
INTRODUCCIÓN .....	1

### CAPÍTULO I

1.	DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA .....	2
1.1.	Identificación del problema.....	2
1.2.	Justificación .....	3
1.3.	Objetivos de la investigación.....	4
1.3.1.	<i>Objetivo General</i> .....	4
1.3.2.	<i>Objetivos Específicos</i> .....	4

### CAPÍTULO II

2.	MARCO TEÓRICO REFERENCIAL .....	5
2.1.	Antecedentes .....	5
2.2.	Bases teóricas.....	6
2.2.1	<i>Agua</i> .....	6
2.2.2.	<i>Ciclo del agua</i> .....	6
2.2.3.	<i>Fuentes de abastecimiento</i> .....	7
2.2.4.	<i>Tipos de agua</i> .....	7
2.2.4.1.	<i>Agua Superficial</i> .....	7
2.2.4.2.	<i>Agua Subterránea</i> .....	7
2.2.4.3.	<i>Agua potable</i> .....	7
2.2.5.	<i>Gestión de los recursos hídricos</i> .....	8
2.2.6.	<i>Características del agua subterránea</i> .....	8
2.2.6.1.	<i>Composición</i> .....	8
2.2.7.	<i>Propiedades</i> .....	8

2.2.8.	<i>Contaminación del agua subterránea</i> .....	9
2.2.9.	<i>Criterios de calidad</i> .....	9
2.2.10.	<i>Calidad de agua de consumo</i> .....	10
2.2.11.	<i>Caracterización del agua</i> .....	10
2.2.11.1.	<i>Análisis de los parámetros del agua</i> .....	10
2.2.12.	<i>Proyección poblacional</i> .....	12
2.2.13.	<i>Caudal</i> .....	13
2.2.13.1.	<i>Medida de caudales</i> .....	14
2.2.14.	<i>Caudal de diseño</i> .....	15
2.2.14.1.	<i>Dotación</i> .....	15
2.2.14.2.	<i>Caudal medio</i> .....	15
2.2.14.3.	<i>Caudal máximo diario</i> .....	16
2.2.14.4.	<i>Caudal Máximo horario</i> .....	16
2.2.15.	<i>Tratamientos para la potabilización</i> .....	16
2.2.15.1.	<i>Etapas consideradas en el tratamiento de agua</i> .....	17
2.2.15.2.	<i>Canal</i> .....	17
2.2.15.3.	<i>Aforador Parshall</i> .....	19
2.2.15.4.	<i>Coagulación Floculación</i> .....	23
2.2.15.5.	<i>Sedimentación</i> .....	28
2.2.15.6.	<i>Filtración lenta</i> .....	31
2.2.15.7.	<i>Desinfección por cloración</i> .....	33
2.3.	<b>Bases conceptuales</b> .....	33
2.4.	<b>Base Legal</b> .....	35
2.4.1.	<i>Constitución de la República del Ecuador</i> .....	35
2.4.2.	<i>Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria (TULSMA)</i> .....	36
2.4.3.	<i>Norma técnica ecuatoriana-Agua potable</i> .....	37

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	38
3.1.	<b>Tipo de Investigación</b> .....	38
3.2.	<b>Diseño de la Investigación</b> .....	38
3.2.1.	<i>Tecnológico</i> .....	38
3.3.	<b>Localización del proyecto</b> .....	38
3.4.	<b>Técnicas de recolección de datos</b> .....	40
3.5.	<b>Medición de caudal</b> .....	40
3.5.1.	<i>Periodo de medición</i> .....	41

<b>3.6.</b>	<b>Muestreo</b> .....	41
<b>3.6.1.</b>	<i>Método de muestreo</i> .....	42
<b>3.6.2.</b>	<i>Materiales y equipos</i> .....	42
<b>3.7.</b>	<b>Caracterización del agua proveniente de la Vertiente de Santa Barbara</b> .....	43
<b>3.7.1.</b>	<i>Evaluación de la Caracterización del Agua</i> .....	44
<b>3.8.</b>	<b>Prueba de tratabilidad</b> .....	44
<b>3.8.1.</b>	<i>Test de Jarras</i> .....	44
<b>3.8.1.1.</b>	<i>Materiales y equipos</i> .....	45
<b>3.8.2.</b>	<i>Cloración</i> .....	46
<b>3.9.</b>	<b>Dimensionamiento del sistema de tratamiento</b> .....	46
<b>3.9.1.</b>	<i>Bases de diseño</i> .....	46
<b>3.9.2.</b>	<i>Caudal de diseño</i> .....	49
<b>3.9.2.1.</b>	<i>Caudal medio</i> .....	49
<b>3.9.2.2.</b>	<i>Caudal máximo diario</i> .....	49
<b>3.9.2.3.</b>	<i>Caudal Máximo horario</i> .....	49
<b>3.9.2.4.</b>	<i>Caudal de diseño para la plata de tratamiento</i> .....	49
<b>3.9.3.</b>	<i>Diseño del sistema de tratamiento</i> .....	50
<b>3.9.3.1.</b>	<i>Canal Rectangular</i> .....	50
<b>3.9.3.2.</b>	<i>Aforador Parshall</i> .....	50
<b>3.9.3.3.</b>	<i>Floculador de flujo horizontal</i> .....	52
<b>3.9.3.4.</b>	<i>Sedimentación lamelar</i> .....	54
<b>3.9.3.5.</b>	<i>Filtración lento</i> .....	55
<b>3.9.3.6.</b>	<i>Cloración</i> .....	56
<b>3.10.</b>	<b>Elaboración de planos</b> .....	57

## CAPÍTULO IV

<b>4.</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	58
<b>4.1.</b>	<b>Medición del caudal del agua captada</b> .....	58
<b>4.2.</b>	<b>Análisis de agua captada</b> .....	59
<b>4.2.1.</b>	<i>Evaluación de la Caracterización del Agua</i> .....	62
<b>4.3.</b>	<b>Prueba de tratabilidad</b> .....	68
<b>4.4.</b>	<b>Dimensionamiento del sistema tratamiento</b> .....	71
<b>4.4.1.</b>	<i>Esquema del sistema de tratamiento propuesto</i> .....	71
<b>4.4.2.</b>	<i>Bases de Diseño</i> .....	71
<b>4.4.2.1.</b>	<i>Periodo de diseño</i> .....	71
<b>4.4.2.2.</b>	<i>Población de estudio</i> .....	71

4.4.2.3.	<i>Dotación de agua</i> .....	74
4.4.3.	<b><i>Caudal de diseño</i></b> .....	74
4.4.3.1.	<i>Caudal medio</i> .....	74
4.4.3.2.	<i>Caudal máximo diario</i> .....	74
4.4.3.3.	<i>Caudal Máximo horario</i> .....	74
4.4.3.4.	<i>Caudal de diseño para la plata de tratamiento</i> .....	75
4.4.4.	<b><i>Diseño del sistema de tratamiento</i></b> .....	75
4.4.4.1.	<i>Canal Rectangular</i> .....	75
4.4.4.2.	<i>Aforador Parshall</i> .....	76
4.4.4.3.	<i>Floculador de flujo horizontal</i> .....	79
4.4.4.4.	<i>Sedimentación lamelar</i> .....	80
4.4.4.5.	<i>Filtración lento</i> .....	81
4.4.4.6.	<i>Cloración</i> .....	82
4.4.4.7.	<i>Resultados del dimensionamiento</i> .....	83
<b>CONCLUSIONES</b> .....		89
<b>RECOMENDACIONES</b> .....		91
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>		
<b>ANEXOS</b>		

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-3:</b>	Ubicación geográfica de La Victoria.....	39
<b>Tabla 2-3:</b>	Frecuencia de medición del caudal .....	41
<b>Tabla 3-3:</b>	Estrategia de muestreo .....	42
<b>Tabla 4-3:</b>	Materiales usados para el muestreo de agua.....	43
<b>Tabla 5-3:</b>	Métodos aplicados para la caracterización del agua.....	43
<b>Tabla 6-3:</b>	Materiales usados para el test de jarras .....	45
<b>Tabla 7-3:</b>	Población La Victoria por Censos.....	47
<b>Tabla 8-3:</b>	Dotaciones para los diferentes niveles de servicio .....	48
<b>Tabla 9-3:</b>	Dotación para el nivel Ila .....	48
<b>Tabla 10-3:</b>	Porcentaje de fugas a considerarse en el Diseño de Sistemas de Abastecimiento.....	49
<b>Tabla 11-3:</b>	Dimensiones y capacidad del canal Parshall .....	50
<b>Tabla 12-3:</b>	Parámetros recomendados para el diseño del floculador.....	52
<b>Tabla 13-3:</b>	Parámetros recomendados para el diseño del sedimentador lamelar .....	54
<b>Tabla 14-3:</b>	Parámetros recomendados para el diseño de filtros.....	55
<b>Tabla 1-4:</b>	Resultados del caudal del agua captada .....	58
<b>Tabla 2-4:</b>	Registro de la caracterización del agua del año 2019 .....	59
<b>Tabla 3-4:</b>	Caracterización del agua de las muestras 1, 2, 3 .....	60
<b>Tabla 4-4:</b>	Evaluación de la caracterización del agua.....	62
<b>Tabla 5-4:</b>	Resultados de la prueba de jarra.....	68
<b>Tabla 6-4:</b>	Demanda de cloro en diferentes concentraciones.....	70
<b>Tabla 7-4:</b>	Resumen de Poblaciones Futuras .....	73
<b>Tabla 8-4:</b>	Resultado de dotaciones.....	74
<b>Tabla 9-4:</b>	Condiciones de diseño iniciales .....	75
<b>Tabla 10-4:</b>	Resultados de la prueba de cloración .....	83
<b>Tabla 11-4:</b>	Resumen dimensiones del canal abierto.....	84
<b>Tabla 12-4:</b>	Resumen dimensiones del aforador Parshall .....	84
<b>Tabla 13-4:</b>	Resumen dimensiones del floculador.....	85
<b>Tabla 14-4:</b>	Resumen dimensiones del sedimentador lamelar .....	86
<b>Tabla 15-4:</b>	Resumen dimensiones del filtro lento .....	87
<b>Tabla 16-4:</b>	Resumen dimensiones del tanque de desinfección .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1-2.</b>	Dimensionamiento de canales abiertos .....	18
<b>Figura 2-2.</b>	Dimensiones y capacidad de canales Parshall.....	19
<b>Figura 1-3.</b>	Ubicación cartográfica de la parroquia La Victoria .....	39
<b>Figura 1-4.</b>	Esquema del sistema de tratamiento .....	71

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1-4.</b>	Variación de caudal.....	59
<b>Gráfico 2-4.</b>	Límites máximos permisibles del Arsénico.....	64
<b>Gráfico 3-4.</b>	Límite máximo permisible de Color.....	65
<b>Gráfico 4-4.</b>	Límite máximo permisible de DQO .....	65
<b>Gráfico 5-4.</b>	Límites máximos permisibles de Turbidez.....	66
<b>Gráfico 6-4.</b>	Límites máximos permisibles de Coliformes fecales .....	67
<b>Gráfico 7-4.</b>	Comparación de los parámetros que se encuentran fuera de la norma.....	68
<b>Gráfico 8-4.</b>	Resultados de la prueba de jarras con $Al_2(SO_4)_3$ .....	69
<b>Gráfico 9-4.</b>	Curva de demanda de cloro hallada en el laboratorio.....	70
<b>Gráfico 10-4.</b>	Representación de la Población futura. ....	73

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación 1-2</b> .....	13
<b>Ecuación 2-2</b> .....	13
<b>Ecuación 3-2</b> .....	13
<b>Ecuación 4-2</b> .....	13
<b>Ecuación 5-2</b> .....	14
<b>Ecuación 6-2</b> .....	15
<b>Ecuación 7-2</b> .....	15
<b>Ecuación 8-2</b> .....	16
<b>Ecuación 9-2</b> .....	16
<b>Ecuación 10-2</b> .....	16
<b>Ecuación 11-2</b> .....	18
<b>Ecuación 12-2</b> .....	18
<b>Ecuación 13-2</b> .....	18
<b>Ecuación 14-2</b> .....	19
<b>Ecuación 15-2</b> .....	19
<b>Ecuación 16-2</b> .....	19
<b>Ecuación 17-2</b> .....	20
<b>Ecuación 18-2</b> .....	20
<b>Ecuación 19-2</b> .....	20
<b>Ecuación 20-2</b> .....	20
<b>Ecuación 21-2</b> .....	21
<b>Ecuación 22-2</b> .....	21
<b>Ecuación 23-2</b> .....	21
<b>Ecuación 24-2</b> .....	22
<b>Ecuación 25-2</b> .....	22
<b>Ecuación 26-2</b> .....	22
<b>Ecuación 27-2</b> .....	22
<b>Ecuación 28-2</b> .....	23
<b>Ecuación 29-2</b> .....	23
<b>Ecuación 30-2</b> .....	23
<b>Ecuación 31-2</b> .....	24
<b>Ecuación 32-2</b> .....	25
<b>Ecuación 33-2</b> .....	25
<b>Ecuación 34-2</b> .....	25

<b>Ecuación 35-2</b> .....	25
<b>Ecuación 36-2</b> .....	26
<b>Ecuación 37-2</b> .....	26
<b>Ecuación 38-2</b> .....	26
<b>Ecuación 39-2</b> .....	26
<b>Ecuación 40-2</b> .....	26
<b>Ecuación 41-2</b> .....	27
<b>Ecuación 42-2</b> .....	27
<b>Ecuación 43-2</b> .....	27
<b>Ecuación 44-2</b> .....	28
<b>Ecuación 45-2</b> .....	29
<b>Ecuación 46-2</b> .....	29
<b>Ecuación 47-2</b> .....	29
<b>Ecuación 48-2</b> .....	29
<b>Ecuación 49-2</b> .....	30
<b>Ecuación 50-2</b> .....	30
<b>Ecuación 51-2</b> .....	30
<b>Ecuación 52-2</b> .....	30
<b>Ecuación 53-2</b> .....	31
<b>Ecuación 54-2</b> .....	32
<b>Ecuación 55-2</b> .....	32
<b>Ecuación 56-2</b> .....	32
<b>Ecuación 57-2</b> .....	32
<b>Ecuación 58-2</b> .....	32
<b>Ecuación 59-2</b> .....	33
<b>Ecuación 60-2</b> .....	33

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

- ANEXO A:** LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO
- ANEXO B:** REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO INEN 1108:2020
- ANEXO C:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2019
- ANEXO D:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2021 (MUESTRA 1)
- ANEXO E:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2021 (MUESTRA 2)
- ANEXO F:** CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2022 (MUESTRA 3)
- ANEXO G:** ETAPA EXPERIMENTAL
- ANEXO H:** ANÁLISIS DE TRATABILIDAD POR COAGULACIÓN FLOCULACIÓN
- ANEXO I:** PRUEBA DE CLORACIÓN
- ANEXO J:** PLANO CANAL PARSHALL
- ANEXO K:** PLANO FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL
- ANEXO L:** PLANO SEDIMENTADOR
- ANEXO M:** PLANO FILTRO
- ANEXO N:** PLANO SISTEMA DE TRATAMIENTO

## RESUMEN

El presente proyecto técnico tuvo como objetivo el diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la parroquia La Victoria, cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi. Para determinar el estado del agua se caracterizó la fuente de abastecimiento, mediante análisis físico-químicos y microbiológicos desarrollados en el Laboratorio de Control de Calidad del EP-EMAPAA (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato). En la fase experimental se determinó el caudal de diseño de 6.5 L/s y se definió el caudal existente para establecer el plan de muestreo, donde se tomó 3 muestras puntuales. Se realizó 2 pruebas de tratabilidad, una mediante el test de jarras empleando diferentes concentraciones de Sulfato de Aluminio para reducir los sólidos suspendidos y otra empleando hipoclorito de sodio en el proceso de cloración. Los análisis establecieron valores de Arsénico 1.25 ug/L, Color 74.66 U Pt-Co, DQO 10.50 mg/L, Turbidez 12.38 NTU y Coliformes Fecales 9.93 nmp/100mL, los cuales se encontraron fuera de los límites permisibles estipulados en las normas para agua de abastecimiento y agua potable, a partir de estos resultados se diseñó un sistema de tratamiento conformado por un canal abierto, un aforador Parshall, un floculador de flujo horizontal, un sedimentador lamelar, un filtro lento de arena y un tanque de cloración, que logró un rendimiento del 98.6% en pruebas de tratabilidad. Por los resultados indicados se concluye que el tratamiento del agua para el consumo humano es de suma importancia, lo cual permitirá mejorar la calidad del agua en la parroquia La Victoria. Se recomienda a la Junta administradora del agua implementar el sistema de tratamiento para mejorar la calidad de vida de los pobladores, la salubridad y el acceso a los servicios básicos.

**Palabras clave:** <BIOTECNOLOGÍA>, <TRATAMIENTO DE AGUA>, <POTABILIZACIÓN>, <DISEÑO DE PLANTA POTABILIZADORA>, <AGUA POTABLE>.



The image shows a handwritten signature in blue ink, which appears to be 'Javier Pujilí'. To the right of the signature is a circular blue stamp. The stamp contains the text 'ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO' around the top edge and 'UNIDAD DOCUMENTAL' around the bottom edge. In the center of the stamp is a small emblem or crest.

0676-DBRA-UTP-2022

## SUMMARY

The aim of this technical project was to design a drinking water treatment plant for La Victoria rural parish, located in Pujilí county, Cotopaxi province. To determine the water state, the water supply was characterized through physical-chemical and microbiological analyses which were carried out at the Quality Control Laboratory of EP-EMAPAA (Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato). The experimental stage had to do with the design flow in 6.5 L/s and the existing flow was defined to establish the sampling plan, where 3 specific samples were taken. In addition, two treatability tests were carried out, one using the jar test with different aluminum sulfate concentrations to reduce suspended solids and the other using sodium hypochlorite in the chlorination process. The analyses established Arsenic values of 1.25 ug/L, Color 74.66 U Pt-Co, COD 10.50 mg/L, Turbidity 12.38 NTU and Fecal Coliforms 9. 93 nmp/100mL, these values are out of the permissible limits established in the water supply and drinking water standards. Based on these results, a treatment system was designed consisting of an open channel, a Parshall flume, a horizontal flow flocculator, a lamellar settler, a slow sand filter and a chlorination tank, which achieved a performance of 98.6% in treatability tests. Based on the mentioned results, it is concluded that water treatment for human consumption is vital, since it will improve water quality in La Victoria rural parish. It is recommended for the water administration board to implement the treatment system to improve the quality of life of the inhabitants as well as their health and access to basic services

**Keywords:** <BIOTECHNOLOGY>, <WATER TREATMENT>, <POTABILIZATION>, <WATER PURIFICATION PLANT DESIGN>, <DRINKING WATER>.



Firmado electrónicamente por:  
**PAUL ROLANDO  
ARMAS PESANTEZ**

## **INTRODUCCIÓN**

El agua es esencial para la vida, la salud y el desarrollo adecuado de las sociedades, debido a que es fundamental para realizar cualquier actividad antropogénica y esencial para la supervivencia del ser humano, por lo que todas las personas deben disponer de un abastecimiento satisfactorio (suficiente, seguro y accesible) (OMS, 2018, pp.5-343). La Organización Mundial de la Salud (2020), menciona que la salubridad y la calidad de este recurso son fundamentales para garantizar la seguridad del agua de consumo humano en materia de salud, sistemas adecuados y gestionados correctamente.

En las áreas rurales del Ecuador, muchos carecen de acceso al agua en sus hogares y experimentan una limitación en su calidad de vida. Es así que la escasez y condición inadecuada de este recurso tiene un impacto negativo en la sociedad, afectando directamente a la salud de los sectores más vulnerables (PNUD, 2021). En la mayoría de las comunidades rurales no poseen la infraestructura necesaria para distribuir el agua potable y cubrir las necesidades básicas de los pobladores, representando una limitación para el desarrollo rural. Es así que el objetivo de la potabilización será garantizar al consumidor que el recurso captado, alcanzará los límites indicados en las normas de referencia para un determinado uso, de modo que se provea a las sociedades de agua potable (Rojas, 1999, pp.15-170) y esta no constituya una fuente de contaminación a nuestra salud.

Al ser este recurso de suma importancia tanto para el desarrollo como la salubridad, es imprescindible el contar con acceso al agua, previo un óptimo tratamiento; para asegurar su calidad. La parroquia rural de La Victoria es un caso real de la falta de acceso de agua debido a su deficiente sistema de tratamiento, por lo cual, la implementación de una planta de tratamiento de agua potable es una alternativa para solucionar este déficit del recurso en la zona. Con un correcto sistema de tratamiento, el agua aumenta su calidad, lo que beneficia a la salud y desarrollo de las comunidades.

## CAPÍTULO I

### 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

#### 1.1. Identificación del problema

El acceso al agua potable es una cuestión constante a nivel mundial, especialmente para los desfavorecidos. El problema de acceso y baja salubridad del agua de consumo es evidente en las zonas rurales, lo que conlleva un sin número de consecuencias, debido al consumo de agua contaminada principalmente por agentes microbiológicos; provocando la transmisión hídrica de enfermedades. Por ello, es importante proporcionar acceso al agua potable para promover la salud, el saneamiento, la higiene, el desarrollo y solventar las necesidades básicas en las sociedades tanto urbanas como rurales (OMS, 2018, pp.5-343).

En la actualidad, la parroquia La Victoria cuenta con suministro de agua que proviene de las vertientes de Yahuartoa, sector Santa Barbara, la cual no es tratada adecuadamente para su consumo. Por ello, la zona de estudio posee un sistema de agua potable deficiente, debido a que existen problemas por la variabilidad de la calidad, ya que en invierno contiene niveles altos de turbiedad y color influyendo directamente en el deterioro del agua, por tal motivo el tratamiento actual no brinda una solución para el abastecimiento del agua, debido a que solo se trata aproximadamente el 50% del caudal de entrada. En otros términos, cuando el caudal aumenta, el agua pasa sin tratarse y la mayoría de contaminantes no son removidos. La problemática principal radica en la baja calidad del agua de consumo, que existe en la parroquia la Victoria, debido al tratamiento parcial de la misma y equipamiento deficiente, lo que conlleva a serias consecuencias en la población como enfermedades de transmisión hídrica, problemas dérmicos e infecciones estomacales provocadas por la baja calidad del recurso. Afectando directamente a personas susceptibles como niños y adultos mayores.

Los servicios de agua y saneamiento inexistentes, insuficientes o gestionados inapropiadamente exponen a la población a riesgos para su salud, lo que provoca la proliferación de enfermedades, disminución de inmunidad y aumento de mortalidad. En los países menos adelantados, el 22% carecen de fuentes de agua y el 21% de servicios de saneamiento (OMS, 2019).

Por ello, se denota la importancia del tratamiento de agua en esta zona rural, siendo el principal objetivo “Diseñar la planta de tratamiento de agua potable para la parroquia la Victoria, Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi” con la finalidad de asegurar un recurso óptimo tanto en calidad como en cantidad.

## 1.2. Justificación

El acceso a un suministro de agua limpia y a la gestión adecuada de servicios de saneamiento, son reconocidos como derechos fundamentales (Pozo y Viteri, 2019). La ONU menciona, que todos los seres humanos tienen el derecho a tener acceso a una cantidad de agua idónea para el uso tanto doméstico como personal (entre 50 y 100 litros de agua por persona y día), segura, aceptable y asequible (donde el coste del líquido vital no debería sobrepasar el 3% de los ingresos del hogar), y accesible físicamente (la fuente de agua debe estar a menos de 1.000 metros del hogar y su adquisición no debería superar los 30 minutos (ONU, 2020). Por ello, la dotación de agua para consumo humano debe garantizarse tanto en cantidad como en calidad, de acuerdo con las necesidades de uso en cada población.

De acuerdo con los resultados comparativos urbano-rural presentados por el INEC, se evidencia una gran disparidad en temas de acceso al agua potable. En el área urbana, el 79,1% de la población tiene agua segura, esta cifra es apenas de 51,4% en el área rural. Es decir, en el área rural la mitad de la población no cuenta con agua segura; donde la mayor problemática se centra en la calidad del agua (INEC, 2018, pp. 21-24).

A nivel nacional, estos resultados indican que el problema de agua ya no es de acceso sino de calidad; ya que la cobertura más baja se encuentra en este parámetro, que alcanza al 79,3% de la población (INEC, 2018, pp. 21-24). Por esta razón, el tratamiento convencional del agua antes de su consumo es de suma importancia. La Organización Mundial de la Salud (2020), menciona, que los procesos de tratamiento de agua son importantes para asegurar la inocuidad del agua y representan una opción eficaz para mejorar su calidad, mediante la implementación de operaciones físicas, químicas y biológicas, que cumplen la función de desinfectar y purificarla el agua mediante la remoción totalmente de los contaminantes microbiológicos y físicos-químicos, hasta llevarlos a los límites aceptables estipulados por la normativa ecuatoriana vigente.

En la encuesta ENEMDU 2016, el 20,7% de las muestras al nivel de la fuente de agua evidenciaron la presencia de contaminantes, lo que evidencia que se requiere un trabajo a nivel de la calidad y sostenibilidad de los servicios (PROGRAMA WASH ECUADOR, 2019). En este contexto, se deriva la importancia social de mejorar los sistemas de tratamiento de agua potable, además de la evaluación de la calidad de agua que posee la parroquia la Victoria. Ante esta problemática, el trabajo técnico propuesto tiene como finalidad analizar la situación actual del sistema de tratamiento y proponer un diseño de planta para la potabilización del agua, que cumpla con los parámetros de dimensionamiento adecuados, mediante la mejora de procesos y la propuesta de nuevos tratamientos.

Con esta investigación de enfoque metodológico-práctico se pretende dar solución a un problema real, por medio de una propuesta de diseño para la planta de tratamiento, la cual una vez aprobada e implementada por los entes pertinentes de la parroquia, brindará múltiples beneficios a los

pobladores de la comunidad, ya que ayudará a reducir la frecuencia de los brotes de enfermedades transmitidas por el agua, los costes asociados a tratamientos deficientes y mejorará la calidad del recurso y la vida de los pobladores.

Este proyecto cuenta con el aval de la Junta Administrador de agua y saneamiento La Victoria, organismo que brindará asesoría técnica y acceso permanente a las instalaciones para la ejecución del proyecto. Esta institución facilitará los recursos tales como los análisis físico-químicos y microbiológicos, necesarios para la investigación, los cuales serán datos de partida para el desarrollo del presente proyecto técnico.

### **1.3. Objetivos de la investigación**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Diseñar la planta de tratamiento de agua potable para la parroquia la Victoria, Cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Caracterizar el agua por medio de parámetros físico-químicos y microbiológicos para determinar su calidad.
- Determinar las condiciones de diseño a través de los datos diagnósticos para el dimensionamiento de la planta de tratamiento.
- Realizar los cálculos de ingeniería para el diseño de la planta de tratamiento de agua utilizando el software de diseño AutoCAD.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

#### 2.1. Antecedentes

La situación de las localidades rurales es preocupante, debido a la falta de gestión del recurso y el acceso limitado al agua de consumo lo que provoca severos daños en la salud. La Organización Mundial de la Salud (2019), menciona que unas 842 000 personas mueren cada año de diarrea como consecuencia de la insalubridad del agua o de un saneamiento insuficiente, donde casi 240 millones de personas se ven afectadas por enfermedades gastrointestinales crónica provocada por lombrices parasitarias contraídas por exposición a agua infestada. Por tal motivo la mayoría de entes gubernamentales se enfocan en garantizar el derecho al acceso de agua potable y es una prioridad dentro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (OMS, 2019).

El Ecuador aplica a la calidad del agua un enfoque de derecho humano y considera que el principal problema en cuanto a agua potable es la calidad del agua para consumo humano. En ese sentido, es la prioridad para el logro de los objetivos de protección de la salud, normados por la autoridad sanitaria (OPS, 2021).

La UNESCO (2019) dentro del “Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos” menciona que, las infraestructuras de agua son escasas en las áreas rurales y por tanto son insuficientes para garantizar una cobertura completa de agua y saneamiento para las comunidades rurales. Además, la desigualdad que existe en estas zonas respecto al mantenimiento de la infraestructura de agua instalada y tratamiento, representan una desventaja en el acceso al agua. Los métodos más usados para la purificación de agua dependen de que la electricidad/energía que esté disponible, lo que ciertamente no es una realidad en todas zonas, especialmente las rurales, ya que poseen recursos limitados para el tratamiento adecuado del agua (UNESCO, 2019, pp.2-50).

Por otro lado, Fikrat y Ansam, (2018), estudiaron la eficiencia de las plantas de tratamiento de agua potable, donde describe la eficiencia de los procesos y permite identificar las posibles soluciones para mejorar la planta de tratamiento. Además, menciona que los establecimientos de depuración de agua son los encargados de dotar a los ciudadanos de agua limpia. El uso de métodos avanzados de purificación y esterilización de agua permite la disminución en la tasa de mortalidad por agua potable contaminada. Por ello, es imprescindible mejorar la calidad del agua antes de que sea utilizada por el consumidor, por medio de procesos eficientes que potabilicen el agua (Fikrat y Ansam, 2018).

El estudio realizado Fernández y Tuso (2020), menciona que, en muchos lugares del Ecuador, no se realiza ningún tipo de tratamiento del agua dulce para consumo, desencadenando un problema

significativo a la población. Donde la calidad del agua de vertientes naturales sin previo tratamiento, no garantiza que esté exenta de microorganismos que pueden causar enfermedades. Por ello, se menciona la importancia de la aplicación de un sistema de tratamiento óptimo y eficiente para obtener agua de alta calidad para consumo humano, reduciendo el índice de enfermedades gastrointestinales y la mejora de la calidad de vida de la población (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).

## **2.2. Bases teóricas**

### **2.2.1. Agua**

El agua está en el epicentro del desarrollo sostenible y es fundamental para el desarrollo socioeconómico, la energía, la producción de alimentos, los ecosistemas y para la supervivencia de los seres humanos. El agua también forma parte crucial de la adaptación al cambio climático, y es un decisivo vínculo entre la sociedad y el medioambiente (ONU, 2020).

El agua salubre y de fácil acceso es importante para la salud pública, ya que es indispensable para el consumo, para uso doméstico, en la producción de alimentos o fines recreativos. La mejora del abastecimiento de agua, del saneamiento y de la gestión adecuada de los recursos hídricos permite el desarrollo económico de los países y contribuir en gran medida a la reducción de la pobreza (OMS, 2019).

La disponibilidad del agua depende de la cantidad existente disponible y de cómo se almacena, maneja y distribuye a la población. Incluye aspectos relacionados con la gestión de las aguas superficiales y subterráneas, así como el reciclaje y reutilización del agua (UNESCO, 2019, pp.2-50).

### **2.2.2. Ciclo del agua**

El ciclo del agua o ciclo hidrológico comienza con la evaporación del agua desde la superficie de los océanos y del suelo. Por lo que el aire humedecido se enfría y se transforma en agua por medio del proceso de la condensación. Posteriormente estas gotas forman nubes para luego caen en forma de precipitación o si la atmósfera esta fría, cae como nieve, en cambio si es cálida, caerán en forma de lluvia (MSP, 2019, pp.14-28).

Este ciclo permite la reutilización y purificación del recurso cuando pasa por las diferentes fases. El agua en la naturaleza es empleada para las diferentes actividades antropogénicas, y su utilización está relacionada directamente con la salud (MSP, 2019, pp.14-28).

### **2.2.3. Fuentes de abastecimiento**

Los sistemas de abastecimiento de agua para consumo humano, están influenciados directamente por las condiciones en las que se maneje la cuenca hidrográfica (MSP, 2019, pp.14-28), del cual se desvía o aparta el agua temporalmente para ser usada en un sistema de suministro de agua (Montenegro, 2017, pp.7-20).

### **2.2.4. Tipos de agua**

Existen varios tipos de aguas, las cuales se pueden clasificar según su fuente o si poseen tratamiento o no:

#### **2.2.4.1. Agua Superficial**

Son las aguas que circulan y se transportan sobre la superficie del suelo. Se produce por la escorrentía generada a partir de las precipitaciones o por el afloramiento de aguas subterráneas. Cuando se encuentra en la superficie, el agua fluye en la dirección que ejerza menos resistencia produciendo una escorrentía, o se almacenan en lagos o embalses (Induanálisis, 2019).

#### **2.2.4.2. Agua Subterránea**

Es el agua almacenada debajo de la superficie, y puede complementar la disponibilidad de agua superficial, especialmente durante los períodos de escasez hídrica. Además de ser potencialmente accesibles directamente a través de pozos; los acuíferos también pueden aumentar la disponibilidad de agua superficial mediante los flujos laterales de agua subterránea en vías naturales (UNESCO, 2019, pp.2-50).

#### **2.2.4.3. Agua potable**

El agua potable, es el agua tratada que se encuentra libre de contaminantes físico-químicos y microbiológicos, que causen enfermedades, produzcan efectos nocivos o representen un riesgo para la salud, por tanto, es considerado un recurso de calidad que es apto para el consumo humano (NTE INEN 1108, 2020). En otros términos, el agua para consumo humano debe cumplir con los parámetros establecidos en las normas de Calidad locales e internacionales (OMS, 2018, pp.5-343).

### **2.2.5. Gestión de los recursos hídricos**

La gestión de los recursos hídricos es un componente importante de la gestión preventiva de la calidad del agua de consumo. El proceso de prevención de la contaminación microbiana y química del recurso agua es la acción inicial que se debe implementar para reducir la contaminación que representa un peligro para la salud pública (OMS, 2018, pp.5-343).

La gestión inicial de los recursos hídricos y el monitoreo de las actividades humanas potencialmente contaminantes en la cuenca de captación influirán en la calidad del agua superficial como subterránea. Lo cual influirá directamente en las operaciones que son parte del sistema de tratamiento que se precisarán para garantizar la seguridad del agua; es preferible adoptar medidas preventivas que mejorar los tratamientos previos (OMS, 2018, pp.5-343).

El tipo de contaminante y su concentración serán determinantes para definir la gestión integral de recurso y el tratamiento adecuado para mejorar los parámetros de calidad del agua.

### **2.2.6. Características del agua subterránea**

#### **2.2.6.1. Composición**

Los compuestos presentes en las aguas subterráneas se determinan en gran parte por la composición natural del suelo, debido a que está en contacto directo y atraviesa sus capas hasta llegar al manto freático (SDA).

La composición de agua subterránea depende de:

- Tipo y características de la roca (tipos de suelo)
- Composición del agua infiltrada (agua lluvia)
- Procesos microbiológicos y químicos del suelo (SDA).

#### **2.2.7. Propiedades**

El agua subterránea en circulación puede incluir contaminantes debido al contacto con el suelo, presentando alteración en su composición. Las aguas subterráneas en estado natural son bastante puras desde un punto microbiológico y químico (Montenegro, 2017, pp.7-20).

Las aguas subterráneas poseen:

- Baja Turbidez
- Temperatura relativamente constante
- Composición química constante
- Ausencia de oxígeno.

- Presencia de Hierro, Manganeso, Amonio, Ácido Sulfhídrico, Sílice, Nitratos, entre otros (Montenegro, 2017, pp.7-20).

### **2.2.8. Contaminación del agua subterránea**

Cualquier alteración de las propiedades físico, química, biológicas de las aguas subterráneas, que pueda ocasionar el deterioro de la salud, la seguridad y el bienestar de la población, comprometer su uso para fines de consumo humano, agropecuario, industriales, comerciales o recreativos, y/o causar daños a la flora, a la fauna o al ambiente en general (TULSMA, 2015, pp.286-300).

Las aguas subterráneas son contaminadas por las actividades que se desarrollan en la superficie por la acción antrópica y dentro de las cuales sobresalen:

- a) Derrame o fuga de sustancias toxicas en la superficie o bodegas que posteriormente se infiltran (aceites y grasas, aguas residuales, residuos, químicos, etc.).
- b) Hidrocarburos por filtración de tanques de almacenamiento subterráneo o derrames accidentales.
- c) Sobre explotación de los acuíferos poniendo en riesgo la recarga y normal funcionamiento del mismo.
- d) Inadecuado mantenimiento de los sistemas de extracción de los pozos.
- e) Contaminación biológica de las aguas subterráneas por sobrealimentación o mal funcionamiento de sistemas sépticos o fugas en la red de alcantarillado.
- f) Eliminación, impermeabilización o urbanización de las zonas de recarga de los acuíferos.
- g) Una vez contaminada, la limpieza del agua subterránea es muy complicada por su difícil acceso. Además, el uso indiscriminado de aguas subterráneas puede generar agotamiento del recurso (SDA).

### **2.2.9. Criterios de calidad**

La calidad de la fuente debe caracterizarse de la manera más completa posible para poder identificar su calidad, el tipo de tratamiento que necesita y los parámetros principales de interés (RAS, 2000, pp.12-19).

Para determinar la calidad del agua se debe tomar en cuenta los siguientes criterios:

- Aspectos organolépticos-físicos: olor, sabor, color, pH, turbiedad
- Aspectos químicos
  - Orgánicos: DBO, DQO, plaguicidas, y otras sustancias.
  - Inorgánicos: Aluminio, hierro, cromo, arsénico, entre otros.
- Aspectos microbiológicos: Virus, bacterias(coliformes), protozoos.

Además de los criterios indicados, se utilizará también las guías presentes en la NTE INEN

1108:2020 AGUA POTABLE para la interpretación de la calidad del agua y se determinará el uso o no del agua para consumo humano y uso doméstico.

#### **2.2.10. Calidad de agua de consumo**

El uso fundamental del agua para el ser humano, es el consumo directo, no obstante, existen otros usos con requerimientos de calidad que pueden tener mayor exigencia de tratamiento, este debe recibir el grado máximo de protección sanitaria. Cada país regula la calidad de agua para consumo humano estableciendo y exigiendo normas de calidad de agua potable, evitando así que exista cualquier tipo de contaminación o impureza en el agua de consumo (Romero, 1999).

La calidad del agua de consumo se puede controlar mediante una combinación de medidas: protección de las fuentes de agua, de control del tratamiento y distribución, y la manipulación del agua (OMS, 2018, pp.5-343). Por lo que se aplican medidas de control como:

- Evaluación del sistema de abastecimiento de agua.
- Monitoreo operativo de las medidas de control del sistema de abastecimiento de agua.
- Planes de gestión que documenten la evaluación del sistema.
- Procedimientos rutinarios de operación y gestión (OMS, 2018, pp.5-343).

#### **2.2.11. Caracterización del agua**

Proceso realizado para la determinación de las características estadísticamente confiables del agua, integrado por la toma de muestras, medición de caudal e identificación de los componentes físico, químico, biológico y microbiológico (TULSMA., 2015).

##### **2.2.11.1. Análisis de los parámetros del agua**

###### **a) Parámetros Físicos - Organolépticos**

- **Turbiedad:** Es la expresión de la propiedad o efecto óptico causado por la dispersión e interferencia de los rayos luminosos que pasan a través de una muestra de agua, es decir, es la propiedad óptica de suspensión que hace que la luz se remita o se transmita en función de la cantidad de sólidos presentes (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).
- **Color:** El agua en estado natural es incolora, la existencia de color en el agua, se debe en su mayoría a la presencia de ciertos metales como hierro y manganeso disueltos en la misma, o a su vez por el contacto que tiene el agua con residuos orgánicos, los cuales están en varios estados de alteración (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).
- **Olor y sabor:** El olor y sabor se debe a la presencia de compuestos en el agua como la

existencia de materia orgánica, ácido sulfúrico, cloruro de sodio sulfato de sodio, hierro, manganeso, entre otros en la misma (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).

Estos parámetros son de gran relevancia, debido a que permiten establecer el nivel de aceptación y analizar el tipo de contaminación presente (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).

- **Temperatura:** La temperatura es un parámetro fundamental, puesto que el oxígeno disuelto, la actividad biológica y el valor de la saturación con carbono de calcio se relacionan con la temperatura. Para obtener buenos resultados es recomendable que para tomar el valor de la temperatura se lo realice en el mismo punto donde se toma la muestra (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).
- **Conductividad:** La conductividad es una medida de la capacidad de la misma para transportar la corriente eléctrica y permite conocer la concentración de especies iónicas presentes en el agua. Como la contribución de cada especie iónica a la conductividad es diferente, su medida da un valor que no está relacionado de manera sencilla con el número total de iones en solución (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).
- **Sólidos disueltos totales:** La calidad del agua con una concentración de SDT menor que 600 mg/L suele considerarse de buena calidad, pero a concentraciones mayores que aproximadamente 1000 mg/L la calidad del agua de consumo disminuye significativamente debido a su apariencia física. Los consumidores también pueden considerar inaceptable la presencia de concentraciones altas de SDT debido a que genera excesivas incrustaciones en diferentes tuberías y equipos de uso domésticos (OMS, 2018, pp.5-343).

b) Parámetros Químicos

- **Hierro:** El hierro y el manganeso generan preocupación generalizada debido a sus efectos en la aceptabilidad del agua. Estos componentes se deben considerar en la implementación de tratamientos de agua. En niveles por encima de 0.3 mg/L, el hierro produce manchas en la ropa y daña los accesorios de fontanería. Por lo general, no se aprecia ningún sabor en aguas con concentraciones de hierro inferiores de 0.3 mg/L, aunque pueden incorporar turbiedad y coloración por la presencia de este metal (OMS, 2018, pp.5-343).
- **Cloruros:** Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua. Hay diversos umbrales para el anión cloruro, los correspondientes al cloruro sódico, potásico y cálcico están en el intervalo de 200 a 300 mg/L. No se propone ningún valor de referencia basado en efectos sobre la salud para el cloruro en el agua de consumo (OMS, 2018, pp.5-343).
- **Potencial Hidrogeno:** Este parámetro forma cambios en la flora y fauna que son propios de los cuerpos de agua. Tiene influencia por la toxicidad de ciertos compuestos, como amoníaco, metales pesados, hidrógeno sulfurado, etc (Romero, 1999; citado en Muñoz, 2008).
- **Dureza:** Las aguas duras impiden el efecto adecuado de jabones en las aguas de uso doméstico. Sus valores altos ocasionan incrustación y corrosión en las tuberías o equipos metálicos industriales o redes de acueducto (Romero, 1999).

- **Oxígeno disuelto:** En el contenido de oxígeno disuelto del agua en donde influye la fuente de agua natural, su temperatura, el tratamiento y los procesos químicos o biológicos que tienen lugar en el sistema de distribución. La disminución del oxígeno disuelto en los sistemas de abastecimiento de agua puede provocar la reducción por parte de los microorganismos del nitrato a nitrito y del sulfato a sulfuro, lo que puede provocar que aumente la concentración de hierro ferroso en disolución, con el consiguiente cambio de color del agua al entrar en contacto con el aire (OMS, 2018, pp.5-343).

#### c) Parámetros Bacteriológico

La calidad microbiológica es el parámetro más importante en lo que se refiere a las características del agua y su potabilidad. El agua puede permitir la transmisión de varias enfermedades hídricas como: cólera, fiebre tifoidea, hepatitis, etc. por lo cual su caracterización bacteriológica es de suma importancia (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).

Los parámetros bacteriológicos para agua potable son: *coliformes totales* y *coliformes fecales*

- **Coliforme Total:** Se definen como bacilos Gram negativos, aerobios o anaerobios facultativos, no esporulados que pueden desarrollarse en presencia de sales biliares y otros agentes tensoactivos con propiedades similares de inhibición del crecimiento (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).
- **Coliforme Fecal:** Los coliformes fecales son un subgrupo de los coliformes totales, capaz de fermentar la lactosa a 44.5°C. Aproximadamente el 95% del grupo de los coliformes presentes en heces fecales, están formados por *Escherichia coli* y ciertas especies de *Klebsiella* (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).

#### 2.2.12. *Proyección poblacional*

*Rincón (1989), define a la proyección de población como el resultado del proceso de determinación de un conjunto de estimaciones demográficas y de población, calculadas en base a ciertos modelos matemáticos que buscan establecer las tendencias de las variables respecto a la dinámica poblacional, dando como resultado los volúmenes de población y sus principales características (SENPLADES, 2013).*

La proyección poblacional se refiere al conjunto de resultados provenientes de cálculos relativos a la evolución futura de la población, partiendo inicialmente de los censos pasados y de supuestos respecto a datos existentes sobre la mortalidad, la fecundidad y la migración (INEC).

Existen diferentes modelos matemáticos aplicables para la proyección de poblaciones futuras entre las más utilizadas se encuentran los métodos exponencial, geométrico y aritmético.

- **Método Aritmético**

Este método describe que el crecimiento de la población varía siguiendo una progresión aritmética, donde la población va creciendo en cada periodo de tiempo futuro (Fernández y Tusó,

2020: pp.7-107), de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_t = P_o + r(t) \quad \text{Ecuación 1-2}$$

Donde:

Pf = Población futura

Po = Población inicial o actual

r = Tasa de crecimiento poblacional

t = Tiempo comprendido entre Pf y Po (periodo de proyección) (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).

- **Método geométrico**

Conocido como método geométrico o de interés compuesto, es un método que da valores más altos, el cual es aplicable para poblaciones que se encuentran en la etapa de iniciación donde la población crece como un capital sujeto a un interés compuesto o proyección geométrica (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107). Este método se calcula de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P_t = P_o(1 + r)^t \quad \text{Ecuación 2-2}$$

Dónde:

Pt = Población futura.

Po = Población actual.

r = tasa de crecimiento poblacional.

t = Tiempo comprendido entre Pf y Po (Periodo de proyección) (Fernández y Tusó, 2020: pp.7-107).

- **Método Exponencial**

Este método supone un crecimiento exponencial de la población, la cual se calcula en base a la tasa de crecimiento y los censos poblacionales existentes, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$P(t) = P_o e^{rt} \quad \text{Ecuación 3-2}$$

Dónde:

Pt = Población futura.

Pa = Población actual.

r = tasa de crecimiento poblacional.

t = Periodo de proyección (García, p.10).

### 2.2.13. Caudal

Se define como el volumen de agua que pasa por la sección transversal del cauce o lugar específico por unidad de tiempo, y se expresa en m<sup>3</sup>/s o L/s (Barreto, pp.3-6). La medida de caudal se establece mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t} \quad \text{Ecuación 4-2}$$

Donde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

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

t= tiempo (s)

(Barreto, pp.3-6).

#### 2.2.13.1. Medida de caudales

Existen diferentes métodos para medir caudales tanto directos como indirectos. Los métodos prácticos de aplicación más utilizados son:

##### a) Método volumétrico

Es usado para corrientes pequeñas como nacimientos de agua o riachuelos, siendo el método más exacto, a condición de que el depósito sea bastante grande y de que pueda medir su capacidad de forma precisa. Consiste en hacer llegar un caudal a un depósito impermeable cuyo volumen sea conocido y contar el tiempo total en que se llena el depósito (Alvarado, 2017, p.4). Para tener una mayor exactitud se deberá repetir la operación 5 veces y se tomará el promedio del tiempo obtenido (Barreto, pp.3-6); se obtiene mediante:

$$Q = \frac{V}{t}$$

##### b) Método del Correntómetro

Las mediciones con el correntómetro se utilizan para la determinación precisa de la velocidad directa, siempre que no haya demasiada materia suspendida que pueda obturar el medidor (Barreto, pp.3-6).

##### **Condiciones Generales:**

- El tramo o sección a medir debe ser un canal abierto, más o menos recto, de fácil acceso, sin turbulencia.
- Se deberá seleccionar tramo uniforme sin interferencia del curso de agua por piedras o algún otro material (Barreto, pp.3-6).

Con este método, el caudal del agua es obtenido mediante la siguiente fórmula:

$$Q = V * A \quad \text{Ecuación 5-2}$$

Donde:

Q= caudal (m<sup>3</sup>/s)

A= área de la sección (m<sup>2</sup>)

V= velocidad del agua (m/s)

##### c) Método de sección-velocidad, calculando la velocidad con: flotador o molinete.

El método del flotador se utiliza cuando no se tiene equipos de medición y para este fin se tiene que conocer el área de la sección y la velocidad del agua (Barreto, pp.3-6).

Para el cálculo se debe elegir un tramo uniforme del canal, después tomar los datos de longitud, ancho (en ambos extremos del tramo) y profundidad (tres veces en cada extremo y en diferentes

puntos), con estos datos se hallará el volumen de agua. Posteriormente en el extremo superior dejar caer un flotador (descrito líneas arriba), y se toma el tiempo. Para tener mayor exactitud esta operación se deberá repetir 5 veces y se determinará el promedio del tiempo (Barreto, pp.3-6).

$$A = (A1 + A2)/2 \quad \text{Ecuación 7-2}$$

$$T = (t1 + t2 + t3 + t4 + t5) \quad \text{Ecuación 6-2}$$

El cálculo se realiza mediante:

$$Q = \frac{V}{t}$$

*Donde:*

L= Largo del tramo (m)

H= Profundidad promedio de la sección (m)

A= Promedio de anchos

V= volumen final ( $m^3$ )

t= Tiempo Promedio del recorrido por el flotador a lo largo del tramo seleccionado (s)

Q= Caudal ( $m^3/s$ ) (Barreto, pp.3-6).

#### **2.2.14. Caudal de diseño**

El caudal de diseño (Qd), es el caudal necesario para atender la demanda de agua, estimada para satisfacer las necesidades de una determinada comunidad, al final del período de diseño del proyecto (CO 10.07-601, 1992). Es decir, la capacidad nominal de la planta de tratamiento, será el máximo diario al final del período o etapa de diseño más el 10%. La capacidad hidráulica de la planta será de un 10% a un 25% mayor que la capacidad nominal, lo cual se puede conseguir utilizando criterios de diseño para los procesos unitarios seleccionados (CO 10.07-601, 1992).

##### **2.2.14.1. Dotación**

Las dotaciones de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) es la cantidad adecuada de agua necesaria para consumo humano, basados en rangos poblacionales y tipos de clima, expresado en (L/hab\*día).

- *Dotación media futura:* Cantidad de agua potable, consumida diariamente, en promedio, por cada habitante, al final del período de diseño (CO 10.7-602).

##### **2.2.14.2. Caudal medio**

Es el caudal de agua que consume una población en un año de registro, incluyendo pérdidas y fugas (CO 10.7-602). Se calcula por medio de la siguiente expresión:

$$Q_m = f\left(\frac{P * D}{86400}\right) \quad \text{Ecuación 8-2}$$

En donde:

$Q_m$  = Caudal medio (L/s)

$f$  = Factor de fugas

$P$  = Población al final del período de diseño

$D$  = Dotación futura (L/hab x día) (CO 10.7-602).

#### 2.2.14.3. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario representa el caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo (CO 10.7-602). Se calcula con la ecuación:

$$Q_{MD} = KMD * Q_m \quad \text{Ecuación 9-2}$$

Donde:

$Q_{MD}$  = Caudal máximo diario (L/s)

$KMD$  = Factor de mayoración máximo diario (El factor de mayoración máximo diario ( $KMD$ ) tiene un valor de 1.25, para todos los niveles de servicio) (CO 10.7-602).

#### 2.2.14.4. Caudal Máximo horario

El caudal máximo horario representa el caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día (CO 10.7-602). Se calcula con la ecuación:

$$Q_{MH} = KMH * Q_m \quad \text{Ecuación 10-2}$$

Donde:

$Q_{MH}$  = Caudal máximo horario (L/s)

$KMH$  = Factor de mayoración máximo horario (El factor de mayoración máximo horario ( $KMH$ ) tiene un valor de 3 para todos los niveles de servicio) (CO 10.7-602).

#### 2.2.15. Tratamientos para la potabilización

Las plantas potabilizadoras y de tratamiento de aguas se componen de equipos de alta complejidad, críticos para el funcionamiento del sistema. Es fundamental considerar, para el diseño de estas instalaciones, que el fallo de cualquier componente no ocasione el paro de toda la instalación (Conagua, p.52).

El diseño de las instalaciones debe incluir un análisis hidrológico e hidráulico y se deben tomar las precauciones necesarias para que, ante la ocurrencia de un siniestro los equipos y las instalaciones no sufran daños y que no se pare la operación. Las plantas de tratamiento son

instalaciones donde el agua cruda es sometida a diversos procesos para mejorar su calidad (Conagua, p.52).

- a) Tratamiento primario: El tratamiento primario tiene como objetivo la reducción de los sólidos en suspensión del agua residual, por lo cual se va a producir una reducción de la demanda bioquímica de oxígeno, una reducción de la contaminación bacteriológica, mediante sedimentación u otro medio, y constituye un método de preparar el agua para el tratamiento secundario (Bermeo, 2016, pp.60-85).
- b) Tratamiento secundario: El tratamiento secundario o tratamiento biológico tiene como objetivo principal la reducción de materia orgánica coloidal como la materia orgánica disuelta. El proceso se basa en que microorganismos adecuados consuman la materia orgánica, mediante la coagulación (Bermeo, 2016, pp.60-85).
- c) Tratamiento terciario: El tratamiento avanzado del agua residual, se define como aquel adicional necesario para la eliminación de los sólidos suspendidos y las sustancias disueltas que permanecen en ella después del tratamiento secundario convencional. El tratamiento terciario o avanzado puede tener diversos fines depende el proceso que se requiera (Bermeo, 2016, pp.60-85).

#### *2.2.15.1. Etapas consideradas en el tratamiento de agua*

Para solucionar un problema de calidad de aguas se aplican, generalmente, cinco etapas:

- Determinación de caudales.
- Caracterización del agua residual cruda y aplicación de la norma técnica ambiental.
- Selección de los procesos de cada sistema, los parámetros de diseño y comparación de las alternativas propuestas.
- Diseño del sistema (Bermeo, 2016, pp.60-85).

Las etapas consideradas para el tratamiento de agua de abastecimiento están conformadas con los siguientes procesos de tratamiento:

#### *2.2.15.2. Canal*

Un canal abierto es un conducto por donde el agua fluye en una superficie libre, dependiendo de su origen. Los canales abiertos por lo general son canales con pendientes que varían según el perfil del terreno, estos pueden ser de diferentes materiales como cemento, madera y plástico. Un canal está constituido por una sección transversal y una pendiente de fondo constante (Chow, 1994, pp. 20-23).

El fluido en canales abiertos se caracteriza por la presencia de una interface donde interactúa la superficie líquida y la atmósfera. Por ello, se diferencia del flujo en tuberías, porque la presión

sobre la superficie del líquido en canales abiertos siempre es la presión atmosférica (Gallardo, 2018, pp.13-42).

SECCION	AREA $A$	PERIMETRO MOJADO $P$	RADIO HIDRAULICO $R$	ANCHO SUPERFICIAL $T$	TIRANTE HIDRAULICO $d$	FACTOR HIDRAULICO $Z$
 RECTANGULO	$by$	$b+2y$	$\frac{by}{b+2y}$	$b$	$y$	$by^{\frac{5}{3}}$
 TRAPECIO	$(b+zy)y$	$b+2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b+zy)y}{b+2y\sqrt{1+z^2}}$	$b+2zy$	$\frac{(b+zy)y}{b+2zy}$	$\frac{[(b+zy)y]^{\frac{5}{3}}}{\sqrt{b+2zy}}$
 TRIANGULO	$zy^2$	$2y\sqrt{1+z^2}$	$\frac{zy}{2\sqrt{1+z^2}}$	$2zy$	$\frac{y}{2}$	$\frac{\sqrt{2}}{2}zy^{\frac{5}{3}}$
 CIRCULO	$\frac{1}{8}(\theta - \text{sen}\theta)D^2$	$\frac{1}{2}\theta D$	$\frac{1}{4}\left(1 - \frac{\text{sen}\theta}{\theta}\right)D$	$\left(\frac{\text{sen}\theta}{2}\right)D$ , ó $2\sqrt{y(D-y)}$	$\frac{1}{8}\left(\frac{\theta - \text{sen}\theta}{\text{sen}\frac{\theta}{2}}\right)D$	$\frac{\sqrt{2}(\theta - \text{sen}\theta)^{\frac{5}{3}}}{32\left(\frac{\theta}{\text{sen}\frac{\theta}{2}}\right)^{\frac{1}{3}}}D^{\frac{5}{2}}$
 PARABOLA	$\frac{2}{3}Ty$	$T + \frac{8}{3}\frac{y^2}{T}$	$\frac{2T^2y}{3T^2 + 8y^2}$	$\frac{3A}{2y}$	$\frac{2}{3y}$	$\frac{2}{9}\sqrt{6}Ty^{\frac{5}{3}}$
 RECTANGULO CON ESQUINAS REDONDEADAS	$\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)^2 + (b+2r)y$	$(\pi - 2)r + b + 2y$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)^2 + (b+2r)y}{(\pi - 2)r + b + 2y}$	$b + 2r$	$\frac{\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)^2}{b + 2r} + y$	$\frac{\left[\left(\frac{\pi}{2} - 2\right)^2 + (b+2r)y\right]^{\frac{5}{3}}}{\sqrt{b+2r}}$
 TRIANGULO CON FONDO REDONDEADO	$\frac{T^2}{4z} - \frac{r^2}{z}(1 - z \cot^{-1}z)$	$\frac{T}{z}\sqrt{1+z^2} - \frac{2r}{z}(1 - z \cot^{-1}z)$	$\frac{A}{P}$	$2\left[(y-r) + r\sqrt{1+z^2}\right]$	$\frac{A}{T}$	$A\sqrt{\frac{A}{T}}$

**Figura 1-2.** Dimensionamiento de canales abiertos

Fuente: UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.

A continuación, se muestran los cálculos considerados para el diseño del canal rectangular:

- *Área del canal*

El área del canal rectangular se calcula mediante geometría, por medio de la siguiente ecuación:

$$A = Bh \quad \text{Ecuación 11-2}$$

$$A = \frac{Q}{V} \quad \text{Ecuación 12-2}$$

Donde:

A= Área ( $m^2$ )

B= longitud de la base (m)

h= Altura del canal (m)

Q= Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

V= Volumen del canal ( $m^3$ ) (Chow, 1994, pp.20-23).

- *Altura del canal*

La altura del canal está conformada por la altura útil y la altura de seguridad que varía de 0.20 a 0.30 m (Imefen, p.25). Esta altura se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = h + h_s \quad \text{Ecuación 13-2}$$

Donde:

H= Altura total del canal (m)

h= Altura útil del canal (m)

hs= Altura de seguridad (m) (Gallardo, 2018, pp.13-42).

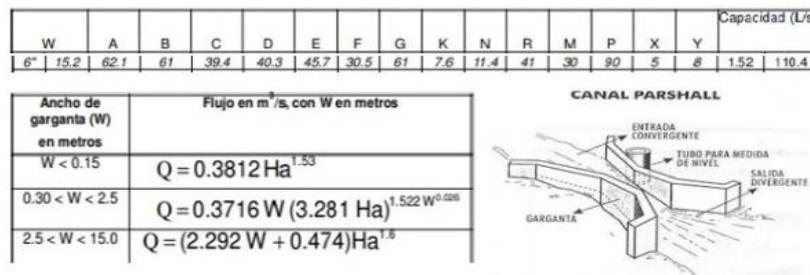
### 2.2.15.3. Aforador Parshall

La canaleta Parshall es la forma más común de producir un resalto hidráulico. Consiste en un segmento de canal con cambio rápido de pendientes y constricción en el punto llamado garganta. Este salto hidráulico es el que se usa para la mezcla rápida. A fin de que pueda utilizarse con tal propósito (Arboleda, 2000, pp.100-134).

Ventajas del aforador Parshall:

- Permite cumplir dos funciones una como aforador y otra como mezcla rápida.
- Permite una sumergencia de hasta un 70% (Arboleda, 2000, pp.100-134).

El medidor está compuesto de una sección convergente en la entrada del canal, una sección de garganta y una sección divergente donde es la zona de resalto, donde el agua cambia de flujo laminar a turbulento (Arboleda, 2000, pp.100-134).



**Figura 2-2.** Dimensiones y capacidad de canales Parshall

Fuente: Arboleda, 2000, pp. 100-134.

A continuación, se muestran los cálculos considerados para las 4 secciones del aforador Parshall:

- *Medición de caudal*

La principal función de la Canaleta Parshall es medir el caudal, el cual se calcula mediante:

$$Q = K * (H_a)^n \quad \text{Ecuación 14-2}$$

$$Q = 0.3812 Ha^{1.53} \quad \text{Ecuación 15-2}$$

Donde:

Q = Caudal.

Ha = Profundidad del agua en una posición dada.

K y n = Constantes que dependen de las dimensiones del canal (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Ancho del canal en la sección de medición (D')*

$$D' = \frac{2}{3} (D - W) + W \quad \text{Ecuación 16-2}$$

Donde:

D'= Ancho de canal en la sección de medición (m)

D= Ancho de la sección convergente (m)

W= Ancho de garganta (m) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Velocidad en la sección de medición ( $V_o$ )*

Esta velocidad se mide en la sección inicial (o) donde entra el flujo de agua.

$$V_o = \frac{Q}{D' * H_a}$$

**Ecuación 17-2**

Donde:

$V_o$ = Velocidad en la sección de medición ( $\frac{m}{s}$ )

Q= Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

$H_a$ =Altura del tirante del agua en la entrada del canal (m)

D'=Ancho de canal en la sección de medición (m) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Caudal específico (q)*

$$q = \frac{Q}{W}$$

**Ecuación 18-2**

Donde:

q=Caudal específico ( $\frac{m^3}{sm}$ )

Q= Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

W=Ancho de garganta (m)

- *Carga hidráulica disponible ( $E_o$ )*

La carga hidráulica se estima mediante la siguiente ecuación:

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N$$

**Ecuación 19-2**

Donde:

$E_o$ = Carga hidráulica disponible (m)

g= gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$H_a$ =Altura del tirante del agua en la entrada del canal (m)

N= Altura del resalto hidráulico (m)

$V_o$ = Velocidad en la sección de medición ( $\frac{m}{s}$ ) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

## SECCIÓN 1 DEL CANAL

- *Velocidad antes del resalto hidráulico ( $V_1$ )*

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2gE_o}{3}} * \cos \frac{\theta}{3}$$

**Ecuación 20-2**

Donde:

$V_1$  = Velocidad antes del resalto hidráulico ( $\frac{m}{s}$ )

$g$  = gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$E_o$  = Carga hidráulica disponible ( $m$ )

$\theta$  = Ángulo de inclinación (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Altura del agua antes del resalto hidráulico ( $H_b$ )*

$$H_b = \frac{q}{V_1} \quad \text{Ecuación 21-2}$$

Donde:

$H_b$  = Altura del agua antes del resalto hidráulico ( $m$ )

$q$  = Caudal específico ( $\frac{m^3}{sm}$ )

$V_1$  = Velocidad antes del hidráulico ( $\frac{m}{s}$ ) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Sumergencia*

Es un parámetro que clasifica la descarga en libre o ahogada, la cual no debe exceder el 70% ( $S \leq 70\%$ ) (Arboleda, 2000, pp.100-134). La  $S$  de la canaleta Parshall se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{H_a}{H_b} \quad \text{Ecuación 22-2}$$

Donde:

$S$  = Sumergencia.

$H_a$  = Profundidad del agua en una posición dada.

$H_b$  = Altura del tirante del agua en la entrada del canal) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Numero de Froude ( $F_1$ )*

Para comprobar las condiciones de flujo es necesario determinar el número de Froude en esta sección, mediante la siguiente ecuación:

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g \cdot H_b}} \quad \text{Ecuación 23-2}$$

Donde:

$F_1$  = Numero de Froude

$V_1$  = Velocidad antes del resalto hidráulico ( $\frac{m}{s}$ )

$g$  = gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

$H_b$  = Altura del agua antes del resalto hidráulico ( $m$ ) (Arboleda, 2000, pp.100-134).

## SECCIÓN 2 DEL CANAL (resalto hidráulico)

- *Altura del agua en el salto hidráulico ( $h_2$ )*

Esta altura representa a la lámina de agua cuando pasa por la zona convergente y llegar al tramo de resalto, la cual se calcula con la siguiente ecuación:

$$h_2 = \frac{H_b}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 24-2}$$

Donde:

$h_2$ =Altura del agua en el salto hidráulico (m)

$H_b$ = Altura del agua antes del resalto hidráulico (m)

$F_1$ = Numero de Froude.

- *Velocidad en el salto hidráulico ( $V_2$ )*

En este tramo 2 la velocidad alcanza sufre una disminución, la cual se da debido al resalto que se genera por la diferencia de pendiente, el cual al chocar con la superficie del canal se reduce y genera un flujo turbulento.

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2} \quad \text{Ecuación 25-2}$$

Donde:

$V_2$ =Velocidad en el salto hidráulico ( $\frac{m}{s}$ )

$Q$ = Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

$W$ =Ancho de garganta (m)

$h_2$ =Altura del agua en el salto hidráulico (m)

(Lozano, 2016, pp.9-72).

### SECCIÓN 3 DEL CANAL (salida)

- *Altura en la sección de salida ( $h_3$ )*

$$h_3 = h_2 - (N - K) \quad \text{Ecuación 26-2}$$

Donde:

$h_3$ =Altura en la sección de salida (m)

$h_2$ =Altura del agua en el salto hidráulico (m)

$N$ = Altura del resalto hidráulico (m)

$K$ = Altura entre la sección convergente y la sección divergente (m)

(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Velocidad en la sección de salida ( $V_3$ )*

La velocidad en la sección 3 es la velocidad con la que saldrá el flujo de agua después de experimentar el resalto hidráulico.

$$V_3 = \frac{Q}{C * h_3} \quad \text{Ecuación 27-2}$$

Donde:

$V_3$ = Velocidad en la sección de salida (m/s)

$C$ = Ancho de la zona divergente (m)

$h_3$ =Altura en la sección de salida (m)

- *Perdida de carga ( $h_p$ )*

Para determinar las pérdidas de energía a lo largo del aforador, se emplea la siguiente ecuación:

$$h_p = H_a + K - h_3 \quad \text{Ecuación 28-2}$$

Donde:

$h_p$ =Perdida de carga ( $m$ )

$H_a$ =Altura del tirante del agua en la entrada del canal ( $m$ )

$K$ = Altura entre la sección convergente y la sección divergente ( $m$ )

$h_3$ =Altura en la sección de salida ( $m$ )

(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Tiempo de retención ( $T$ )*

El tiempo que permanecerá el agua en el canal, se determina a partir de la siguiente ecuación:

$$T = \frac{2G}{V_2 + V_3} \quad \text{Ecuación 29-2}$$

Donde:

$T$ = Tiempo de retención ( $s$ )

$V_3$ = Velocidad en la sección de salida ( $\frac{m}{s}$ )

$V_2$ =Velocidad en el salto hidráulico ( $\frac{m}{s}$ )

$G$ =Longitud de la zona divergente ( $m$ )

- *Gradiente de velocidad ( $G_v$ )*

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T}} \quad \text{Ecuación 30-2}$$

Donde:

$G_v$ = Gradiente de velocidad ( $s^{-1}$ )

$\gamma$ =Peso específico del agua

$h_p$ =Perdida de carga ( $m$ )

$T$ = Tiempo de retención ( $s$ )

$\mu$ =viscosidad dinámica ( $\frac{kg}{ms}$ )

Para conseguir un óptimo proceso de mezclado dentro del dispositivo de mezcla rápida hidráulico, el gradiente de velocidad debe cumplir un rango de  $700 \leq G_v \leq 1300$  (Arboleda, 2000, pp.100-134).

#### 2.2.15.4. Coagulación Floculación

La floculación se refiere a la aglomeración de partículas, a partir de un coagulante iónico. En este proceso cuando se desestabiliza los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de colisiones entre ellas potable (Rojas, 1999, pp.15-170).

La coagulación floculación es influenciada por las fuerzas química y físicas como las cargas eléctricas de las partículas, capacidad de intercambio, la temperatura, el pH y la concentración de los electrolitos (Rojas, 1999, pp.15-170).

### **Tipos de Floculadores**

Floculadores hidráulicos: Los más comunes son los de flujo horizontal y de flujo vertical, los cuales brindan una floculación óptima cuando poseen una velocidad y un número adecuado de pantallas (Rojas, 1999, pp.15-170).

- El *floculador de flujo horizontal* consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques o pantallas de concreto dispuestos en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta por los extremos libres del floculador (Rojas, 1999, pp.15-170).
- El *floculador de flujo vertical* el agua fluye desde arriba hacia abajo, por encima o por debajo de los tabiques o pantalla que dividen el tanque (Rojas, 1999, pp.15-170).

Floculadores mecánicos: Estos floculadores introducen potencia al agua para asegurar una mezcla lenta por medio de agitadores mecánicos (paletas, turbida o flujo axial).

### **Floculadores de flujo horizontal**

El floculador de flujo horizontal es un tipo de floculador hidráulico, el cual está constituido por un tanque dividido por pantallas de concreto u otro material, dispuesto de forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de las mismas. Debe dejarse suficiente espacio para la limpieza de los canales; si éstos son muy estrechos las pantallas deber ser removibles (RAS, 2000, pp.12-19).

Estos floculadores permiten disipar la energía por medio de pantallas de concreto distribuidas a lo largo del tanque (Rojas, 1999, pp.15-170).

A continuación, se muestran los cálculos considerados para el diseño del floculador de flujo horizontal:

- *Distancia total recorrida (L)*

$$L = v * t$$

**Ecuación 31-2**

*Donde:*

L= Longitud recorrida por el agua (m)

v= Velocidad del agua a través del tanque ( $\frac{m}{s}$ )

t= Tiempo de retención (s)

- *Volumen de agua (V)*

El volumen del agua se calcula a partir de la ecuación de continuidad:

$$V = Q * t$$

*Donde:*

Q= Caudal de diseño ( $\frac{m^3}{s}$ )

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

t= Tiempo de retención (s) (Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Área transversal (a)*

El área transversal se calcula relacionando el volumen con la geometría, como muestra la siguiente ecuación:

$$a = \frac{V}{L} \quad \text{Ecuación 32-2}$$

*Donde:*

a= Área transversal (m<sup>2</sup>)

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

L= Longitud recorrida por el agua (m)

(Arboleda, 2000, pp.100-134).

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Dimensiones*

Las dimensiones del floculador de flujo horizontal esta dado por el área transversal, la altura útil del floculador y el ancho de separación de los deflectores que están destruido a lo largo del floculador.

$$a = d * a_1 \quad \text{Ecuación 33-2}$$

*Donde:*

a= Área transversal (m<sup>2</sup>)

d= Altura útil (m)

a<sub>1</sub>= Ancho de separación entre deflectores (m)

(Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Altura del floculador (H)*

La altura total del floculador está determinada por la altura de seguridad que vari entre 0.30 y 0.20 m y la altura útil calculada.

$$H = d + h_s \quad \text{Ecuación 34-2}$$

*Donde:*

H= Altura del floculador (m)

d= Altura útil del floculador (m)

h<sub>s</sub>= Altura de seguridad (m)

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Espacio libre entre deflectore (e)*

$$e = 1.5 a_1 \quad \text{Ecuación 35-2}$$

*Donde:*

a<sub>1</sub>= Ancho de separación entre deflectores (m)

e= Espacio libre entre deflectore (m)

(Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Largo de los deflectores (l)*

El largo de los deflectores dependerá de ancho que tenga el floculador y el flujo de agua que pasará por dichos deflectores.

$$B = l + e \quad \text{Ecuación 36-2}$$

Donde:

B= Ancho del floculador (m)

e= Espacio libre entre deflectore (m)

l= Largo de os deflectores (m)

(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Número requerido de deflectores (N)*

El número de deflectores aumentará o disminuirá en función del flujo a tratar y las dimensiones establecidas del floculador.

$$N = \frac{L}{B} \quad \text{Ecuación 37-2}$$

Donde:

N= Número de deflectores

L= Longitud recorrida por el agua (m)

B= Ancho del floculador (m)

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Longitud total (Lt)*

La longitud del floculador estará determinada por todos los componentes internos de este como, los deflectores con si respectiva separación.

$$Lt = N(a_1) + (N - 1)S \quad \text{Ecuación 38-2}$$

Donde:

Lt=Longitud total

N= Número de deflectores

a<sub>1</sub>= Ancho de separación entre deflectores (m)

S= Espesor del deflector (m)

(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Pérdida por fricción primaria*

$$hf = \frac{(nv)^2 * L}{(R)^{\frac{4}{3}}} \quad \text{Ecuación 39-2}$$

Donde R es igual a:

$$R = \frac{area}{PM} = \frac{a}{2d + a_1} \quad \text{Ecuación 40-2}$$

Donde:

hf= Perdida de carga (m)

n= Coeficiente de Manning (0.013)

R= Radio hidráulico (m)

PM= Perímetro mojado (m)

L= Longitud recorrida por el agua (m)

(Arboleda, 2000, pp.100-134).

- *Perdidas secundarias*

$$h = 3(N - 1) \frac{(v)^2}{2g} \quad \text{Ecuación 41-2}$$

Donde:

h= Pérdida de carga secundaria (m)

N= Número de deflectores

v= Velocidad del agua a través del tanque ( $\frac{m}{s}$ )

g= Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ ) (Vargas, pp.290-292).

- *Pérdida total*

La pérdida carga total está determinada por las pérdidas primarias y las pérdidas secundarias de todo el sistema.

$$H = h_f + h \quad \text{Ecuación 42-2}$$

Donde:

H= Pérdida de carga total (m)

h<sub>f</sub>= Pérdida de carga (m)

h= Pérdida de carga secundaria (m)

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Gradiente de velocidad (G)*

El gradiente de velocidad, dependen de la pendiente hidráulica. La G<sub>v</sub> promedio en floculadores de pantallas varía entre 10 y 100 s<sup>-1</sup> y más frecuentemente entre 20 y 60 s<sup>-1</sup> (Arboleda, 2000, pp.100-134).

$$Gv = \sqrt{\frac{gh}{ut}} \quad \text{Ecuación 43-2}$$

Donde:

G<sub>v</sub>= Gradiente de velocidad (s)

g= Gravedad ( $\frac{m}{s^2}$ )

h= Pérdida de carga secundaria (m)

u=Viscosidad cinemática del agua

t= Tiempo de retención (s)

(Arboleda, 2000, pp.100-134).

### 2.2.15.5. Sedimentación

La sedimentación es la separación de partículas más pesadas en el agua mediante la acción de la gravedad. Es una de las operaciones unitarias más utilizadas en el tratamiento de aguas (Bermeo, 2016, pp.60-85).

VARIABLES QUE AFECTAN LA SEDIMENTACIÓN:

- Corrientes de densidad
- Corrientes debidas al viento
- Corrientes cinéticas (OPS, 2005, pp.4-27).

COMPONENTE DEL SEDIMENTADOR

- Zona de entrada: Estructura hidráulica de transición, que permite una distribución uniforme del flujo dentro del sedimentador (OPS, 2005, pp.4-27).
- Zona de sedimentación: Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para que sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos, flujo pistón (OPS, 2005, pp.4-27).
- Zona de salida: Constituida por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen la finalidad de recolectar el efluente sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas (OPS, 2005, pp.4-27).
- Zona de recolección de lodos: Constituida por una tolva con capacidad para depositar los lodos sedimentados, y una tubería y válvula para su evacuación periódica (OPS, 2005, pp.4-27).

#### **Sedimentador lamelar**

Dispositivo usado para separar, por gravedad, las partículas en suspensión en una masa de agua. Similar al desarenador, pero permite la remoción de partículas inferiores a 0,2 mm y superiores a 0,05 mm (OPS, 2005, pp.4-27).

Los sedimentadores lamelares son similares a los convencionales, solo que se diferencian en el área de sedimentación. Las tres diferencias básicas entre los sedimentadores convencionales antes y los de flujo laminar o de alta rata son:

- El fondo del decantador no es horizontal sino inclinado.
- La profundidad del decantador es muy baja.

El flujo en el decantador es laminar con  $N_v$  menor de 500 (Arboleda, 2000, pp.100-134).

A continuación, se muestran los cálculos considerados para el dimensionamiento del sedimentador lamelar:

- *Carga superficial (Cs)*

$$Cs = \frac{Q}{A} \qquad \text{Ecuación 44-2}$$

Donde:

Cs= Carga superficial ( $\frac{m^3}{m^2d}$ )

Q= caudal de diseño ( $\frac{m^3}{d}$ )

A= área de sedimentador ( $m^2$ )

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Velocidad en las láminas (vo)*

Vo representa la velocidad promedio del flujo en el sedimentador con láminas (Rojas, 1999, pp.15-170), el cual se calcula por la siguiente ecuación:

$$v_o = \frac{Q}{A * \text{sen}\theta} \quad \text{Ecuación 45-2}$$

Donde:

vo= Velocidad en las láminas ( $\frac{m}{d}$ )

Q= caudal de diseño ( $\frac{m^3}{d}$ )

A= área de sedimentador ( $m^2$ )

$\theta$ = Ángulo de inclinación

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Largo Relativa*

$$L = \frac{l}{d} \quad \text{Ecuación 46-2}$$

Donde:

L= Longitud relativa del sedimentador (m)

l= Largo laminas (m)

d= Separación entre placas (m)

(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Número de placas*

$$N = \frac{Ls \text{sen}\theta + d}{d + e} \quad \text{Ecuación 47-2}$$

Donde:

N= Número de placas

Ls= Largo del sedimentador

$\theta$ = Ángulo de inclinación

d= Separación entre placas (m)

e= espesor de las placas (m)

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Número de Reynolds*

$$N_R = \frac{V_o * d}{\nu} \quad \text{Ecuación 48-2}$$

Donde:

NR= Número de Reynolds

vo= Velocidad en las láminas ( $\frac{m}{d}$ )

d= Separación entre placas (m)

$\nu$ =Viscosidad cinemática del agua

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Longitud corregida ( $L_c$ )*

Para calcular la longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar, corregida en longitud de transición, se emplea la siguiente ecuación: **Ecuación 49-2**

$$L' = 0.013NR$$

Donde:

NR= Numero de Reynolds

$$L_c = L - L' \quad \text{Ecuación 50-2}$$

Donde:

Lc= Longitud corregida final

L= Longitud relativa del sedimentador (m)

L'= Longitud de transición corregida

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Velocidad de sedimentación critica ( $V_{sc}$ )*

$$v_{sc} = \frac{Sc * v_o}{\text{sen}\theta + L_c \text{cos}\theta} \quad \text{Ecuación 51-2}$$

Donde:

vsc= Velocidad de sedimentación critica ( $\frac{m}{d}$ )

Sc=Constante según el tipo de sedimentador (para placas paralela = 1)

vo= Velocidad en las láminas ( $\frac{m}{d}$ )

Lc= Longitud corregida final

$\theta$ = Ángulo de inclinación

(Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Tiempo de retención en laminas ( $t$ )*

$$t = \frac{l}{v_o} \quad \text{Ecuación 52-2}$$

Donde:

t= Tiempo de retención en laminas (min)

l= Largo laminas (m)

vo= Velocidad en las láminas ( $\frac{m}{\text{min}}$ )

(Rojas, 1999, pp.15-170).

### 2.2.15.6. Filtración lenta

La filtración es una separación física, la cual consiste en hacer pasar una mezcla sólida-líquida a través de un medio poroso (filtro), que retiene los sólidos y permite el paso de los líquidos, donde se remueve las partículas y materia coloidal no sedimentables. La eficiencia del filtro depende del tamaño de los poros del medio filtrante (Conagua, pp.12-17).

La filtración remueve el material suspendido, así como microorganismos presentes, la retención de estas partículas se debe a la acción combinada de mecanismos físico y químicos, donde la adsorción juega un papel fundamental en este proceso (Rojas, 1999, pp.15-170).

VARIABLES QUE INFLUENCIAN EN EL DISEÑO DE FILTROS

- Características del medio filtrante (materiales, diámetro, porosidad)
- Tasa de filtración
- Porosidad
- Pérdida de carga
- Características del agua a tratar (Rojas, 1999, pp.15-170).

Una vez que el agua ha sido liberada de la mayor parte de impurezas a través de la sedimentación, esta es filtrada en una estructura que puede estar conformada por capas de grava, arena, antracita. Según el diseño del sistema de filtración las impurezas que pueden haber pasado del proceso de sedimentación, son retenidas en esta unidad de tratamiento (MSP, 2019, pp.14-28). Los filtros lentos operan con tasas que normalmente varían entre 0,10 y 0,30 m/h (Vargas, pp.114).

*Eficiencia de los filtros lentos:*

- Reduce de un 90 - 99.9 % de Coliformes.
- Reduce de 30 - 90% de color, siendo 30% la eficiencia más común.
- Reduce un DQO 30-70%; CDT 15-30%.
- Reduce desde 50 hasta más de 99% de materia orgánica tal como ácidos húmicos, detergentes, fenoles, pesticidas y herbicidas.
- Elimina un 30 - 90 % de metales pesados (Arboleda, 2000, pp.557-700).

A continuación, se muestran los cálculos considerados para el dimensionamiento del filtro lento de arena:

- *Determinación del número de filtros*

La cantidad de filtros se determina por el caudal que se pretende tratar. La cual se determina por la siguiente ecuación:

$$N = 0.044 * \sqrt{Q} \qquad \text{Ecuación 53-2}$$

*Donde:*

N= número de filtros

Q= caudal de diseño ( $\frac{m^3}{d}$ ) (Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Área Superficial*

$$A_s = \frac{Q}{N C_s} \quad \text{Ecuación 54-2}$$

Donde:

$A_s$ = Área superficial ( $m^2$ )

$N$ = número de filtros

$Q$ = caudal de diseño ( $\frac{m^3}{d}$ )

$C_s$ = Carga superficial ( $\frac{m^3}{m^2/día}$ ) (Rojas, 1999, pp.15-170).

$$A_s = L * B \quad \text{Ecuación 55-2}$$

Donde:

$A_s$ = Área superficial ( $m^2$ )

$L$ = Largo del filtro (m)

$B$ = Ancho del filtro (m) (Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Caudal de lavado*

$$Q_l = A * v_l \quad \text{Ecuación 56-2}$$

Donde:

$Q_l$ = Caudal de lavado ( $\frac{m^3}{s}$ )

$v_l$ = Velocidad de lavado ( $\frac{m}{s}$ )

$A$ = Área del filtro ( $m^2$ ) (Rojas, 1999, pp.15-170).

- *Altura del agua*

$$H_o = \frac{\frac{Q_l}{5}}{(1.375b)^{\frac{2}{3}}} \quad \text{Ecuación 57-2}$$

Donde:

$H_o$ = Altura de agua (m)

$Q_l$ = Caudal de lavado ( $\frac{m^3}{s}$ )

$b$ = Ancho del canal de lavado (m)  
(Lozano, 2016, pp.9-72).

- *Volumen del agua tratada*

Se asumirá un tiempo de filtración de 30 horas, ya que corresponde al rango de filtros rápidos

$$V_f = Q * t_f \quad \text{Ecuación 58-2}$$

Donde:

$V_f$ = Volumen de agua tratada ( $m^3$ )

$Q$ = Caudal de entrada ( $\frac{m^3}{d}$ )

$t$ = tiempo de filtración (día)

### 2.2.15.7. Desinfección por cloración

*La desinfección es un proceso de oxidación que permite la eliminación o la desactivación de microorganismos presentes en el agua, sean o no patógenos. Este proceso constituye la etapa final de todo tratamiento del agua, donde se recomienda una concentración comprendida entre 0.5 y 1.5 mg/L de cloro residual en el agua de consumo para asegurar protección bacteriológica (Conagua, pp.12-17).*

El producto más utilizado en la desinfección de agua es el cloro, las formas de presentación de este producto son: estado sólido (hipoclorito de calcio), líquido (soluciones de hipoclorito de sodio y calcio) y cloro gas (MSP, 2019, pp.14-28).

A continuación, se muestran los cálculos considerados para el proceso de desinfección:

- *Capacidad de cloradores*

$$C = \frac{Q * D}{1000} \quad \text{Ecuación 59-2}$$

*Donde:*

Q= caudal ( $\frac{m^3}{\text{día}}$ )

C = Dosis de cloro C = Kg/día

D= Dosis de cloro ( $\frac{mg}{L}$ )

(Arboleda, 2000, pp.557-700).

- *Volumen del tanque de contacto*

$$Q = \frac{V}{tr} \quad \text{Ecuación 60-2}$$
$$V = Q * tr$$

*Donde:*

V = Volumen del tanque m<sup>3</sup>

Q = Caudal de diseño

tr = Tiempo de retención en el tanque

(PROAGUAII, 2017, p.29)

## 2.3. Bases conceptuales

- *Caracterización microbiológica:* Se cuantifica bacterias, coliformes totales entre otros, por los métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (TORRES et al., 2019: p.61).
- *Carga contaminante:* Cantidad de un contaminante aportada en una descarga de aguas residuales, expresada en unidades de masa por unidad de tiempo (TULSMA., 2015).

- *Coliformes totales*: Esta presencia de organismos en el agua representa una alerta de que ocurrió contaminación y existe impurezas en la misma, siendo esta materia orgánica de origen fecal, ya sea por humanos o animales (RIPDA, pp.225-226).
- *Coliformes fecales*: Es un indicador indirecto del riesgo potencial de contaminación con bacterias o virus de carácter patógeno, debido a que siempre están presentes en las heces humanas y de los animales (RIPDA, pp.225-226)
- *Cloro residual*: Cloro remanente en el agua luego de al menos 30 minutos de contacto (NTE INEN 1108, 2020).
- *Control de calidad del agua potable*: Análisis organolépticos, físicos, químicos y microbiológicos realizados al agua en cualquier punto de la red de distribución, con el objeto de garantizar el cumplimiento de las disposiciones establecidas (EPM, pp.3-4).
- *Demanda bioquímica de oxígeno DBO*: Indica la cantidad en miligramos de oxígeno disuelto que utilizan las bacterias para descomponer la materia orgánica (Fernández y Tuso, 2020: pp.7-107).
- *Demanda química de oxígeno DQO*: Es la cantidad de oxígeno consumido por los cuerpos reductores presentes en el agua sin la intervención de los organismos vivos (ENCICLOPEDIA AMBIENTAL, 2021).
- *Depuración*: Es la remoción de sustancias contaminantes de las aguas residuales para proporcionar un efluente adecuado de acuerdo a las condiciones del cuerpo receptor (CO 10.7-602).
- *Desinfección*: Proceso de tratamiento que elimina o reduce el riesgo de enfermedad mediante la eliminación de agentes microbianos patógenos (CO 10.7-602).
- *Dotación*: Caudal de agua potable consumido diariamente, en promedio, por cada habitante. Incluye los consumos doméstico, comercial, industrial y público (CO 10.07-601, 1992).
- *Límite máximo permitido*: Representa un requisito de calidad del agua potable que fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano. Para la verificación del cumplimiento, los resultados se deben analizar con el mismo número de cifras significativas establecidas en los requisitos de esta norma y aplicando las reglas para redondear números (NTE INEN 1108, 2020).
- *Población de diseño*: La población de diseño se calculará a base de la población presente determinada mediante un recuento poblacional (CO 10.7-602).
- *Población futura o de diseño*: Número de habitantes que se espera tener al final del período de diseño (CO 10.7-602).
- *Planta de potabilización*: Conjunto de obras, equipos y materiales necesarios para efectuar los procesos que permitan cumplir con las normas de calidad del agua potable (RAS, 2000, pp.12-19).
- *Pretratamiento*: Proceso previo que tiene como objetivo remover el material orgánico e inorgánico flotante, suspendido o disuelto del agua antes del tratamiento final (RAS, 2000, pp.12-

19).

- *Oxígeno disuelto*: Es el oxígeno libre que se encuentra en el agua, vital para las formas de vida acuática y para la prevención de olores (TULSMA, 2015).
- *Sistema de abastecimiento de agua potable*: El sistema incluye las obras y trabajos auxiliares construidos para la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y sistema de distribución (NTE INEN 1108, 2020).
- *Tanque de almacenamiento*: Depósito destinado a mantener agua para su uso posterior (RAS, 2000, pp.12-19).
- *Tratamiento convencional para potabilizar el agua*: Son las siguientes operaciones y procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección (TULSMA., 2015).
- *ufc/mL*: Concentración de microorganismos por mililitro, expresada en unidades formadoras de colonias (NTE INEN 1108, 2020).
- *Vida útil*: Tiempo estimado para la duración de un equipo o componente de un sistema sin que sea necesaria la sustitución del mismo; en este tiempo solo se requieren labores de mantenimiento para su adecuado funcionamiento (CO 10.7-602).

## **2.4. Base Legal**

### **2.4.1. Constitución de la República del Ecuador**

La Constitución de la República del Ecuador, publicada mediante Registro Oficial No. 449 el 20 de octubre del 2008 garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución, dentro de los cuales está el derecho humano al agua para sus habitantes, planificar el desarrollo nacional, erradicar la pobreza, promover el desarrollo sustentable y la redistribución equitativa de los recursos y la riqueza, para acceder al Buen Vivir (MAE, 2016, pp.12-14).

La Constitución de la República del Ecuador trata la problemática de la calidad del agua desde varias perspectivas, que se presentan adelante, de forma resumida:

#### ***TITULO II DERECHOS Capítulo primero Principios de aplicación de los derechos***

Según los **Art.10, 57, 58, 59, 71, 171, 276, 335, 398, 403, 416** en la Constitución de la República del Ecuador; el, agua como parte de la cultura de las comunidades se la debe respetar al igual que la naturaleza y sus derechos, con la finalidad de preservar un ambiente sano (MAE, 2016, pp.12-95). El agua al ser un derecho para las comunidades, los pueblos y nacionalidades ancestrales reconocen y garantiza usar, administrar y beneficiarse de los recursos naturales renovables existentes en sus tierras (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp.13-95).

#### ***TITULO II DERECHOS. Capítulo segundo Derechos del buen vivir***

**Art. 12.-** El derecho humano al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye

patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp.13-95).

**Art. 32.-** La salud es un derecho que garantiza el Estado, cuya realización se vincula al ejercicio de otros derechos, entre ellos el derecho al agua, la alimentación, la educación, la cultura física, el trabajo, la seguridad social, los ambientes sanos y otros que sustentan el buen vivir (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp.13-95).

### ***TÍTULO II DERECHOS Capítulo sexto Derechos de libertad***

**Art. 66.-** Se reconoce y garantizará a las personas:

1. El derecho a la inviolabilidad de la vida. No habrá pena de muerte.
2. El derecho a una vida digna, que asegure la salud, alimentación y nutrición, agua potable, vivienda, saneamiento ambiental, educación, trabajo, empleo, descanso y ocio, cultura física, vestido, seguridad social y otros servicios sociales necesarios (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp.13-95).

### ***TÍTULO VI RÉGIMEN DE DESARROLLO Capítulo cuarto Soberanía económica***

**Art.318-3 y 411-2.-** se señala que los recursos hídricos se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas, en este orden de prelación, además se menciona que la sustentabilidad de los ecosistemas y el consumo humano serán prioritarios en el uso y aprovechamiento del agua (Constitución de la República del Ecuador, 2008, pp.13-95).

#### ***2.4.2. Texto Unificado de la legislación Ambiental Secundaria (TULSMA)***

Dentro de la normativa aplicable, se encuentra el TULSMA, donde se considera el libro VI anexo I: NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA, la cual está constituida por normas y estándares mínimos que regulan la calidad del agua de consumo humano y las diferentes actividades que involucran el recurso.

El objetivo principal de la presente norma es proteger la calidad del recurso agua para salvaguardar y preservar la integridad de las personas, de los ecosistemas y sus interrelaciones y del ambiente en general (TULSMA., 2015).

Esta norma técnica determina o establece:

- a) Los límites permisibles, disposiciones y prohibiciones para las descargas en cuerpos de aguas o sistemas de alcantarillado;
- b) Los criterios de calidad de las aguas para sus distintos usos; y,
- c) Métodos y procedimientos para determinar la presencia de contaminantes en el agua (TULSMA., 2015).

Los parámetros que posee el agua cruda o de captación para consumo humano y uso doméstico, serán comparados con lo establecido en el Texto Unificado de Legislación Secundaria del

Ministerio del Ambiente (TULSMA) del Libro VI. Anexo I, y deberán cumplir con los límites establecidos.

Los parámetros se muestran en el Anexo A de Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico.

#### ***2.4.3. Norma técnica ecuatoriana-Agua potable***

El presente proyecto técnico se fundamentará jurídicamente en la normativa NTE INEN 1108:2020 AGUA POTABLE-REQUISITOS, la cual es aplicable al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros; estableciendo los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano.

En la tabla presentada en el Anexo B se resumen los requisitos importantes que deben cumplir el agua potable con fines de consumo humano, respecto a los Requisitos físicos y químicos del agua para consumo humano.

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLOGÍCO

#### 3.1. Tipo de Investigación

El presente proyecto técnico se focalizó en un proceso cuantitativo, donde se analizó las variables de estudio a lo largo del proyecto; en el cual se determinó la calidad del agua de consumo y se especificó el tratamiento necesario para el recurso estudiado. Este tipo de investigación recogió y analizó datos de manera cuantitativa, respecto a las concentraciones evaluadas en los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua, las cuales fueron comparadas con los límites establecidos en la normativa vigente ecuatoriana.

En referencia al nivel de profundización, el estudio se centró en un enfoque descriptivo, debido a que se especificó las propiedades, las características y procesos que necesita el agua para ser tratada. Es decir, únicamente se midió y recogió información de manera independiente para cada una de las variables de estudio (Hernández, 2014, pp.92-176).

Este proyecto técnico es de tipo no experimental, ya que no se manipuló variables a lo largo del estudio, debido a que fue netamente técnico con aplicación en campo; donde el objetivo principal fue brindar una solución viable para el tratamiento de agua de la comunidad, mediante el diseño técnico de la planta de tratamiento; donde los datos para los análisis y dimensionamiento se tomarán en un periodo de tiempo determinado (transversal).

#### 3.2. Diseño de la Investigación

##### 3.2.1. Tecnológico

El presente trabajo se enfocó a un proyecto técnico de tipo descriptivo, con aplicación teórico-práctica, la cual permitió especificar las propiedades y procesos que necesita el agua de la parroquia La Victoria para ser tratada, mediante la valoración de las condiciones del agua, aspectos de diseño y alternativas técnicas de tratamiento.

#### 3.3. Localización del proyecto

La parroquia La Victoria se encuentra ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Pujilí, más conocida como la capital Alfarera de Cotopaxi. Se localiza en la parte centro occidental de la provincia, a 5 km del cantón Pujilí (CELEC, 2021), con coordenadas 78°, 42' de longitud occidental y 0°, 56' de latitud sur.

Su altura varía entre los 2900 a 3300 msnm, con una superficie aproximada de 20,31 Km<sup>2</sup> distribuidas a lo largo de sus 9 barrios y 3 comunidades, correspondiente al 1,68% del cantón (GADPLV, 2019). La parroquia limita al norte con la parroquia Poaló, al oriente por la parroquia 11 de noviembre del cantón Latacunga, al sur y occidente por los barrios del cantón Pujilí (ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9).

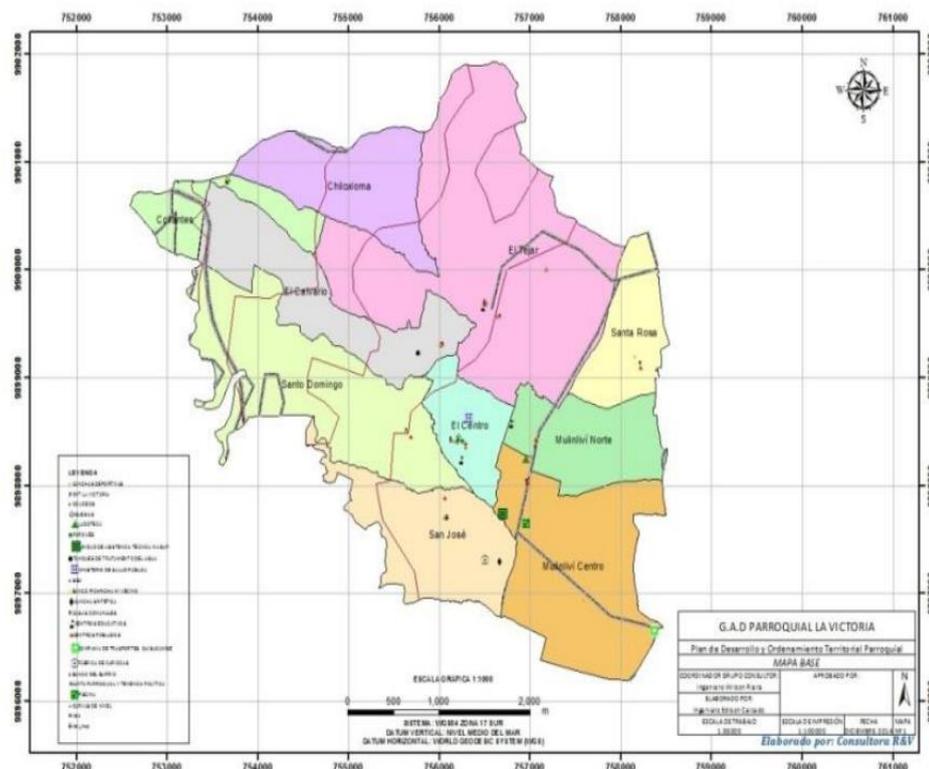
**Tabla 1-3:** Ubicación geográfica de La Victoria

<i>DATUM: WGS -84- ZONA 17S</i>	
Longitud occidental	78°, 42´
Latitud sur	0°, 56´
Altitud Referencial	3000 msnm

**Fuente:** ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9. CELEC, 2021.

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

Es una zona dedicada a la producción agrícola y actividades de alfarería, declarada como parroquia en 1904 (ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9).



**Figura 1-3.** Ubicación cartográfica de la parroquia La Victoria

**Fuente:** ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9.

### *Clima*

La parroquia La Victoria al estar ubicada en la sierra ecuatoriana posee un clima templado con temperaturas promedios de 7 a 15 °C, con una temperatura media de 10 °C (ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9).

### *Recursos hídricos*

La Victoria posee una dotación de agua de dos tipos, una de vertiente proveniente de Yahuartoa y una dotación de agua de pozo del sector Quizacumbe, los cuales son captados y tratados por la planta existente, la misma que no da un tratamiento óptimo, especialmente en la época de invierno. Actualmente existen cinco concesiones de agua para la parroquia, que dan un caudal total de 8,45 L/s, sin embargo, el caudal real que se destina corresponde solamente al 85% del adjudicado, lo que perjudica directamente a la comunidad. El total de usuarios existentes a nivel parroquial es 977, a los cuales se distribuye el caudal existente (ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9).

## **3.4. Técnicas de recolección de datos**

Todos los datos experimentales se obtuvieron durante la ejecución del proyecto, mediante el método cuantitativo, descriptivo y transversal, donde medimos valores cuantificables de la composición física, química y microbiológica del agua en un tiempo determinado, con la finalidad de determinar la condición actual del agua captada y proponer alternativas de tratamiento a la misma, mediante el diseño del Sistema de Tratamiento.

La forma de recolección de información se realizó con un método de muestreo no probabilístico dirigido, tomando una muestra simple en el sistema de captación (P1) del agua, en base a lo establecido en la norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 2169:2013. AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. MANEJO Y CONSERVACIÓN DE MUESTRAS y NTE INEN 2226:2013 AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. DISEÑO DE LOS PROGRAMAS DE MUESTREO, las mismas que se aplicaron durante el proceso de muestreo, conservación y transporte de las muestras al Laboratorio de Control de Calidad de EP-EMAPAA, donde se realizaron los análisis correspondientes.

## **3.5. Medición de caudal**

Para determinar del caudal captado, se realizó 3 mediciones en un intervalo de 30 min, durante 5 días del agua que ingresa al sistema de captación de la parroquia La Victoria, aplicando un método volumétrico. El cual se midió colocando un recipiente aforado de 8 litros debajo del agua captada y se tomó el tiempo de llenado mediante un cronómetro, obteniéndose así el caudal en L/s mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V}{t}$$

Donde:

**Q:** caudal (L/s)

**V:** Volumen del agua (L)

**t:** tiempo (s)

### 3.5.1. Periodo de medición

Se realizó 3 mediciones durante 5 días, para obtener un valor promedio del caudal. Para esto se utilizó un recipiente calibrado de 8 L.

**Tabla 2-3:** Frecuencia de medición del caudal

<b>MEDIDAS</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>
<b>Días de medición</b>	Tiempo (s)	Tiempo (s)	Tiempo (s)
	Hora: 7:00 am	Hora: 7:30 am	Hora: 8:00 am
<b>1</b>			
<b>2</b>			
<b>3</b>			
<b>4</b>			
<b>5</b>			

Realizado por: Vasco Villamarín, Diana L., 2021.

### 3.6. Muestreo

Para el presente estudio se considera un total de 3 muestras puntuales de 4L, las cuales se tomarán en el mes de octubre, diciembre y enero, en el punto de muestreo establecido en la captación inicial.

Las muestras puntuales fueron tomadas directamente en envases plásticos de agua purifica, con un volumen de 4 litros para los análisis físico-químicos y 100 mL en un envase estéril para los parámetros microbiológicos, requeridos por el Laboratorio de Control de Calidad de EP-EMAPAA para efectuar la caracterización del agua para consumo.

Se realizaron 3 muestreos en la caja de captación inicial en un lapso de 4 meses, con la finalidad

de obtener datos más representativos. Las muestras fueron tomadas, almacenadas y transportadas de acuerdo a las normas establecidas por el laboratorio de Control de Calidad de EP-EMAPAA para la caracterización.

### 3.6.1. *Método de muestreo*

Para la recolección de datos del presente proyecto técnico, se aplicó un método de muestreo no probabilístico dirigido, debido a que el procedimiento de recolección de muestras está orientado a cumplir con los objetivos que busca la investigación. En las muestras no probabilísticas, la elección no depende de la probabilidad, sino de causas relacionadas con las características de la investigación o el proceso de toma de decisiones de un investigador o de un grupo (Hernández, 2014, pp.92-176).

Por lo cual, se ha considerado tomar muestras de agua cruda puntuales, provenientes de un punto específico en el sistema de captación (P1), debido a que es un punto donde el agua no es sometida a ningún tipo de tratamiento previo, lo que nos permitirá caracterizar el agua captada y establecer si se encuentra dentro de las normas establecidas para agua de fuente de abastecimiento.

Las muestras fueron tomadas en base a las siguientes recomendaciones generales:

- Lavado del recipiente antes de la toma de la muestra.
- Sellado y etiquetado de la muestra mediante cadena de custodia.
- Refrigeración y conservación de las muestras en un ambiente fresco y protegidas de la luz.
- Transporte y entregar dentro de las 2 horas de tomada la muestra. (INEN 2169, 2013, pp.3-6)

Estas muestras fueron tomadas en un sitio específico que facilita su recolección y estudio por su ubicación, accesibilidad y más factores que brindan ventajas al momento de tomar las muestras de agua.

**Tabla 3-3:** Estrategia de muestreo

<b>Lugar de Muestreo</b>	<b>Número de muestras</b>	<b>Días de muestreo</b>	<b>Total, de muestras tomadas</b>
Captación de la Vertiente (P1)	1	3	3

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

### 3.6.2. *Materiales y equipos*

Se mencionan a continuación los materiales y equipos empleados en la toma de muestras del caudal captado para la parroquia La Victoria:

**Tabla 4-3:** Materiales usados para el muestreo de agua

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Recipiente Plásticos de 4 L	Cámara fotográfica
Recipiente plástico estéril de 100 mL	
Cooler	
Hielo	

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

### 3.7. Caracterización del agua proveniente de la Vertiente de Santa Barbara

Para la caracterización inicial del agua para abastecimiento de la Parroquia La Victoria, se tomó 3 muestras puntuales de 4 litros tomadas de forma manual, la cual fue analizada en el Laboratorio de Control de Calidad del EP-EMAPAA.

Los métodos de ensayo utilizados para el análisis del agua, corresponde a métodos estandarizados con acreditación SAE para los parámetros estudiados, como se detallan en la siguiente tabla:

**Tabla 5-3:** Métodos aplicados para la caracterización del agua

<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad</b>
<i>Físicos</i>		
Color	HACH-8025	U Pt-Co
Olor	---	---
pH	Standard Methods-4500H+B	U pH
<i>Químicos</i>		
DBO	APHA-5210-D	mg/l
DQO	HACH-8000	mg/l
Turbidez	Standard Methods-2130-B Turbidímetro	NTU
Alcalinidad	Standard Methods-2320B	mg/L

Arsénico	HACH 2800000	ug/L
Dureza	Standard Methods- 2340C	mg/L
Sulfatos	HACH 8051	mg/l
Cloruros	HACH 8113	mg/L
Fluoruros	HACH 8029	mg/l
Hierro	HACH 8008	mg/l
Sólidos totales disueltos	Standard Methods- 2540-C	mg/L
<i>Microbiológicos</i>		
Coliformes fecales	APHA-9221-C	NMP/100 mL

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

### 3.7.1. Evaluación de la Caracterización del Agua

En base a los análisis de agua obtenidos de las 3 muestras tomadas, se realizó una comparación con la norma del libro VI, tabla 1 del TULSMA y Norma INEN 1108A:2020, para identificar los parámetros que no cumplen con los límites que se dispone en las normativas de referencia.

Una vez interpretado los resultados y comparados con las normas de referencia, se detalló las posibles causas del contenido de cada uno de los parámetros que están fuera de la norma, para definir los procesos necesarios para el tratamiento adecuado del agua.

## 3.8. Prueba de tratabilidad

### 3.8.1. Test de Jarras

La prueba de jarras busca determinar la dosis óptima de coagulante para una muestra de determinadas características, mediante una prueba de coagulación - floculación controlada a diferentes concentraciones, con la finalidad de reducir los sólidos en suspensión y materia orgánica presente (Fúquene y Yate, 2018, p.).

Para la prueba de tratabilidad se inició con la toma de la muestra de agua de abastecimiento proveniente de las vertientes; en la cual se midió inicialmente el pH y la turbidez como datos de partida. Posteriormente, se preparó dos soluciones una de sulfato de aluminio a 1% de 10000 ppm y otra de cloruro férrico al 1% de 10000 ppm; para la primera solución se pesó 1 g de  $Al_2(SO_4)_3$  y aforamos en un balón de 100 mL con agua destilada, para la segunda solución se pesó 1 g de  $FeCl_3$  y aforamos en un balón de 100 mL con agua destilada, obteniendo las soluciones madres

de los dos tipos de coagulantes. Se inicio la prueba en 4 muestras de 1000 mL añadiendo 2 concentraciones diferentes tanto de  $Al_2(SO_4)_3$  como de  $FeCl_3$ , para definir su efectividad de los coagulantes al momento del proceso de coagulación-floculación.

Ya definido el coagulante que reacciona con mayor efectividad en la muestra de agua tomada, se realizó una prueba de jarras con  $Al_2(SO_4)_3$  a diferentes concentraciones (5, 8, 10, 13 mL) donde se colocó los 4 vasos de precipitación de 1000 mL en el equipo de jarras, y se añadió con una pipeta graduada de 10 mL diferentes concentraciones de sulfato de aluminio en cada vaso, ejecutando una mezcla rápida durante 1 minuto a 250 rpm y una mezcla lenta de 30 rpm durante 10 minutos. Para finalizar el proceso se dejó reposar la muestra durante 10 min para la clarificación. Finalmente, para determinar el porcentaje de remoción se tomó alícuotas de cada uno de los vasos de precipitación para determinar la turbidez - pH, y definir que concentración fue más efectiva.

### 3.8.1.1. *Materiales y equipos*

Se mencionan a continuación los materiales y equipos empleados en el test de jarra:

**Tabla 6-3:** Materiales usados para el test de jarras

<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
Mandil y guantes	Balanza analítica
Vasos de precipitación de 100 mL	Turbidímetro
Vasos de precipitación de 1000 mL	pH metro
Barrilla de agitación	Sist. de Jarras
Pipeta graduada de 10 mL	Cámara fotográfica
Jeringas de 10 mL	
Probeta de 500 mL	
Agua destilada	

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

### **3.8.2. Cloración**

Dentro de la prueba de tratabilidad con cloro se realizó un test colorimétrico, para determinar el contenido de cloro residual total Cl<sub>2</sub> presente en las muestras de agua sometidas a cloración.

Inicialmente, se tomó 4 muestras de 1000 mL previamente tratadas por coagulación-floculación, donde se añadió diferentes concentraciones de una solución de 1000 ppm de hipoclorito de sodio al 3.47 %, tomándose alícuotas de 5mL, 4mL, 3mL y 2mL, las cuales fueron colocadas en cada muestra y se dejó reposar durante 30 min para su reacción. Posteriormente, se midió la cantidad de cloro residual total por el método colorimétrico de rango alto y bajo, mediante el equipo espectrofotómetro HACH DR 2800.

### **3.9. Dimensionamiento del sistema de tratamiento**

Las condiciones de diseño se establecieron a través de los datos diagnósticos de población, donde se consideró los cálculos preliminares de: proyección poblacional, cálculo de dotaciones conforme la normativa CO 10.7 - 602 NORMA DE DISEÑO PARA SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE y caudales de diseño (caudal medio, caudal máximo diario y caudal máximo horario), para definir los datos preliminares necesarios para el diseño de los tratamientos.

El dimensionamiento del sistema de tratamiento de aguas potable para la parroquia La Victoria, se estableció de acuerdo a la naturaleza de la fuente de abastecimiento, los resultados de la caracterización física, química y microbiológica del agua y las condiciones de diseño preliminares, por lo que se consideró la propuesta de un diseño de planta de tratamiento que permita reducir los valores de los parámetros que se encuentran fuera de los límites permisibles con respecto al TULSMA. Libro VI. Anexo 1 (2015) y Norma INEN 1108:2020; mediante procesos complementarios que buscan garantizar un correcto tratamiento del agua para fines de consumo humano, con la finalidad de cumplir con los parámetros para agua potable presente en la normativa ambiental antes indicada.

Para el dimensionamiento se tomaron en cuenta los criterios de diseño de los libros y manuales: (Arboleda Tomo I y II, 2000; Gallardo, 2018; Imefen; RAS, 2000; Rojas, 1999) referentes a los sistemas de tratamiento de agua potable y las fórmulas de dimensionamiento descritas en el capítulo II.

#### **3.9.1. Bases de diseño**

##### **➤ Proyección poblacional**

La población total para la que estará desinada el proyecto se determina mediante una proyección poblacional durante el pedido de diseño, por medio de un análisis de crecimiento poblacional de

los CENSOS registrados por parte del INEC.

Para la estimación de la población de diseño se aplicó 3 métodos de proyección de población, para obtener datos más certeros; de estos métodos se selecciona uno como referencia para el diseño. Inicialmente se estimó la población actual (2021); a partir de la cual estimamos la población para 23 años (2044), este rango de tiempo se asume cumpliendo con la normativa SENAGUA NORMA CO 10.7 donde se estipula que las obras civiles de los sistemas de agua potable o disposición de residuos líquidos (CO 10.7-602).

**Tabla 7-3:** Población La Victoria por Censos

<b>Año</b>	<b>Población</b>
<b>1990</b>	2698
<b>2001</b>	2806
<b>2010</b>	3016

Fuente: ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9.

Los cálculos se determinan a partir de la Tabla 7-3, aplicando los métodos aritmético, geométrico y exponencial, mediante las siguientes formulas:

- *Método Aritmético*

$$Pt = Po + r(t)$$

La tasa de crecimiento se calcula mediante la variación de P(población) vs la variación de t(tiempo) de los últimos censos consecutivos, para obtener un valor de crecimiento actual, valor que se utilizará para proyectar la población durante período de diseño.

$$r = \frac{\Delta P}{\Delta t}$$

$$Pt = Po + \frac{Po - Panterior}{Año actual - Año anterior}(t)$$

- *Método geométrico*

Usamos la fórmula de proyección geométrica empleada para 11 años, para obtener la proyección de población actual (2021), y posteriormente se aplica para el periodo de diseño 23 años.

$$Pt = Po(1 + r)^t$$

$$\left(\frac{Po}{P_{anterior}}\right)^{\frac{1}{t}} - 1 = r$$

- *Método Exponencial*

Usamos la fórmula de proyección exponencial empleada para 11 años, para obtener la proyección de población actual (2021) y posteriormente se aplica para el periodo de diseño 23 años.

$$P(t) = Po e^{rt}$$

$$r = \frac{\ln\left(\frac{P_t}{P_0}\right)}{t}$$

➤ **Dotación de agua**

La dotación representa el consumo de agua indispensable para satisfacer las necesidades básicas de los pobladores.

- *Dotación diaria*

Para determinar la dotación diaria dentro del estudio preliminar, se consideró las dotaciones según los niveles de servicio existentes dentro de la parroquia, tomando en cuenta la Tabla 8-3 estipulada dentro de la normativa CO 10.7-602 del Senagua.

**Tabla 8-3:** Dotaciones para los diferentes niveles de servicio

<b>NIVEL DE SERVICIO</b>	<b>CLIMA FRIO (I/hab*día)</b>	<b>CLIMA CÁLIDO (I/hab*día)</b>
la	25	30
lb	50	65
<b>IIa</b>	60	85
IIb	75	100

Fuente: CO 10.7-602.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

Para el presente proyecto se seleccionó el nivel de dotación IIa en referencia al tipo de clima y el nivel de servicio existente.

**Tabla 9-3:** Dotación para el nivel IIa

<b>DOTACIONES DE AGUA PARA LOS DIFERENTES NIVELES DE SERVICIO</b>	
<b>Clima frio</b>	60 (L/hab*día)

Fuente: CO 10.7-602.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

- *Dotación futura*

Para determinar la dotación futura, se asumió un incremento de 1 (L/hab\*día) por cada año, y se calcula mediante la siguiente formula:

$$D = D \left( \frac{L}{hab} * día \right) + I \left( \frac{L}{hab} * día \right) * años$$

Donde:

D= Dotación diaria (L día/ hab)

I= incremento por año (L día/ hab) (CO 10.7-602).

### 3.9.2. Caudal de diseño

#### 3.9.2.1. Caudal medio

Se calcula por medio de la siguiente expresión y la Tabla 9-3:

$$Q_m = f\left(\frac{P * D}{86400}\right)$$

**Tabla 10-3:** Porcentaje de fugas a considerarse en el Diseño de Sistemas de Abastecimiento

NIVEL DE SERVICIO	PORCENTAJE DE FUGAS
la y lb	10%
lla y llb	20%

Fuente: CO 10.7-602.

#### 3.9.2.2. Caudal máximo diario

Se calcula con la ecuación:

$$Q_{MD} = KMD * Q_m$$

#### 3.9.2.3. Caudal Máximo horario

Se calcula con la ecuación:

$$Q_{MH} = KMH * Q_m$$

#### 3.9.2.4. Caudal de diseño para la plata de tratamiento

La planta de tratamiento de potable se rediseñará para un caudal que posea un factor de seguridad de 1,10; obteniéndose con la siguiente ecuación:

$$Q_{tratamiento} = k * QMD$$

### 3.9.3. Diseño del sistema de tratamiento

Para el diseño de los sistemas de tratamiento se considera la aplicación de las siguientes ecuaciones:

#### 3.9.3.1. Canal Rectangular

-Velocidad de 0,6 m/s para canales abiertos.

- *Área del canal*

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

- *Base del canal*

$$h = B$$

$$B = \sqrt{A}$$

- *Altura de seguridad*

De acuerdo con Imefen (p.25), el borde libre varia de 0.30 m para un canal pequeño, hasta 1.20 m para canales profundos.

$$h_s = 0,20 \text{ m}$$

- *Altura del canal*

$$H = h + h_s$$

#### 3.9.3.2. Aforador Parshall

Para el diseño del aforador se tomó en cuenta las ecuaciones de dimensionamiento y la Tabla 11-3:

**Tabla 11-3:** Dimensiones y capacidad del canal Parshall

W	A	B	C	D	E	F	G	K	N	R	M	P	X	Y	Capacidad L/s		
cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	min	max	
15.2	62.2	61	39.4	40.3	45.7	30.5	61	7.6	11.4	41	30	90	5	8	1.52	110.4	
<b>Ancho de garganta</b>				<b>w &lt; 0.15</b>				<b><math>Q = 0.3812Ha^{1.53}</math></b>									

Fuente: Arboleda, 2000, pp. 100-134.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

$$Q = 0.3812Ha^{1.53}$$

$$H_a = \frac{Q}{0.3812}^{\frac{1}{1.53}}$$

- *Ancho del canal en la sección de medición (D')*

$$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$$

- *Velocidad en la sección de medición (V<sub>o</sub>)*

$$A = D' * H_a$$

$$V_o = \frac{Q}{D' * H_a}$$

- *Caudal específico (q)*

$$q = \frac{Q}{W}$$

- *Carga hidráulica disponible (E<sub>o</sub>)*

$$E_o = \frac{v_o^2}{2g} + H_a + N$$

### SECCIÓN 1 DEL CANAL

- *Velocidad antes del resalto hidráulico (V<sub>1</sub>)*

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2gE_o}{3} * \cos \frac{\theta}{3}}$$

$$\cos \theta = \frac{-g * q}{\left(\frac{2g * E_o}{3}\right)^{1.5}}$$

- *Altura del agua antes del resalto hidráulico (H<sub>b</sub>)*

$$H_b = \frac{q}{V_1}$$

- *Sumergencia (S)*

Para determinar si la lámina de agua está dentro del rango o sufre un proceso de ahogamiento se aplica la siguiente ecuación:

$$S = \frac{H_b}{H_a}$$

- *Numero de Froude (F<sub>1</sub>)*

$$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * H_b}}$$

### SECCIÓN 2 DEL CANAL

- *Altura del agua en el salto hidráulico (h<sub>2</sub>)*

$$h_2 = \frac{H_b}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$$

- *Velocidad en el salto hidráulico ( $V_2$ )*

$$V_2 = \frac{Q}{W * h_2}$$

### SECCIÓN 3 DEL CANAL

- *Altura en la sección de salida ( $h_3$ )*

$$h_3 = h_2 - (N - K)$$

- *Velocidad en la sección de salida ( $V_3$ )*

$$V_3 = \frac{Q}{C * h_3}$$

- *Perdida de carga ( $h_p$ )*

$$h_p = H_a + K - h_3$$

- *Tiempo de retención ( $T$ )*

$$T = \frac{2G}{V_2 + V_3}$$

- *Gradiente de velocidad ( $G_v$ )*

T= 15°C.

$$G_v = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T}}$$

Para conseguir un óptimo proceso de mezclado dentro del dispositivo de mezcla rápida hidráulico, el gradiente de velocidad debe cumplir un rango de  $700 \leq G_v \leq 1300$ .

#### 3.9.3.3. Floculador de flujo horizontal

El floculador hidráulico se dimensionó conforme los parámetros de la Tabla 12-3 y las ecuaciones de diseño:

**Tabla 12-3:** Parámetros recomendados para el diseño del floculador

Parámetro	Unidad	Rango
Tiempo de retención detención (td)	minutos	20 a 30
Velocidad del agua a través del tanque	m/s	0.2 a 0.6
Altura del tanque floculador	m	1 a 2
Gradiente medio de velocidad (G)	s-1	20 s-1 y 70 s-1
Altura del agua (d)	m	1 a 1.2
Material del deflector	madera	espesor 0.03

Fuente: RAS, 2000, pp.12-113.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

- *Distancia total recorrida (L)*

$$v = \frac{L}{t}$$

- *Volumen de agua (V)*

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$V = Q * t$$

- *Área transversal (a)*

$$a = \frac{V}{L}$$

- *Altura del floculador (H)*

-Altura de seguridad de 0.20 m.

$$H = h + h_s$$

- *Espacio libre entre deflectores (e)*

$$e = 1.5 a_1$$

- *Largo de los deflectores (l)*

-B= 1

$$B = l + e$$

- *Longitud total (Lt)*

$$L_t = N(a) + (N - 1)S$$

- *Perdida por fricción primaria*

- Rugosidad de a madera n = 0.013

$$h_f = \frac{(nv)^2 * L}{(R)^{\frac{4}{3}}}$$

$$R = \frac{area}{PM} = \frac{a}{2d + a_1}$$

- *Perdidas secundarias*

$$h = 3(N - 1) \frac{(v)^2}{2g}$$

- *Pérdida total*

$$H = h_f + h$$

- *Gradiente de velocidad (G)*

$$G_v = \sqrt{\frac{gh}{ut}}$$

El gradiente de velocidad debe cumplir un rango de  $G_v \leq 100$ .

### 3.9.3.4. Sedimentación lamelar

Para el dimensionamiento del sedimentador de alta tasa, se consideró los parámetros de la Tabla 13-3 y las ecuaciones de diseño:

**Tabla 13-3:** Parámetros recomendados para el diseño del sedimentador lamelar

Parámetro	Unidad	Rango
Tiempo de retención detención (td)	minutos	10 a 15
	m	3 a 5.5
Velocidad del agua a través del tanque	m/s	0.2 a 0.6
Cargas superficiales (Cs)	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .día)	120 a 300
Reynolds (Re)		90 a 500
Inclinación de las placas		55° a 60°
Espacio entre las placas	cm	5
Material del deflector	madera	espesor 0.03

Fuente: RAS, 2000, pp.12-113. Arboleda, 2000.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

- *Carga superficial (Cs)*

$$C_s = \frac{Q}{A}$$

- *Velocidad en las láminas (vo)*

$$v_o = \frac{Q}{A * \text{sen}\theta}$$

- *Largo Relativa*

$$L = \frac{l}{d}$$

- *Número de placas*

$$N = \frac{L_s \text{sen}\theta + d}{d + e}$$

- *Número de Reynolds*

$$N_R = \frac{V_o * d}{\nu}$$

- *Longitud corregida (Lc)*

$$L' = 0.013N_R$$

$$L_c = L - L'$$

- *Velocidad de sedimentación critica (Vsc)*

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_o}{\text{sen}\theta + L_c \text{cos}\theta}$$

- *Tiempo de retención en laminas (t)*

$$t = \frac{l}{v_o}$$

### 3.9.3.5. Filtración lento

Para el dimensionamiento del sedimentador de alta tasa, se consideró los parámetros de la Tabla 14-3 y las ecuaciones de diseño:

**Tabla 14-3:** Parámetros recomendados para el diseño de filtros

Parámetro	Unidad	Rango
<b>Criterios generales</b>		
Velocidad de entrada de flujo	m/s	Menor 0.3
Velocidad de filtración	m <sup>3</sup> /(m <sup>2</sup> .día)	2.4 a 7.2 7 a 14
La velocidad máx. flujo a la entrada	m/h	0.1
Velocidad óptima de lavado		0,8-1,2 m/min
La altura del agua sobrenadante	m	0.7 a 1.5
Tiempo de lavado		5-15 min
<b>Filtros lentos</b>		
Tasa de filtración	m/d	2-5
Duración de carrera	días	20-60
Separación entre canaletas		1.5-2.1 m
Lecho filtrante de arena	m	0.9 a 1.2
Lecho de grava	m	0.40 a 0.45
Grava soporte	m	Capa 1: Espesor: 0.10 a 0.15
	m	Capa 2: Espesor: 0.05
Área máx. de un filtro	m <sup>2</sup>	200

Fuente: RAS, 2000, pp.12-113. Arboleda, 2000, pp. 557-700.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

- *Determinación del número de filtros*

$$N = 0.044 * \sqrt{Q}$$

- *Área Superficial*

$$Cs = 7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2/\text{dia}}$$

$$As = \frac{Q}{N Cs}$$

$\frac{L}{B} = 2$ , la cual está dentro de los parámetros establecidos:  $1 \leq \frac{L}{B} \leq 3$

$$As = L * B$$

$$As = 2B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{As}{2}}$$

$$L = 2B$$

- *Caudal de lavado*

$$Ql = A * vl$$

- *Altura del agua*

$$-b = 0.40\text{m}$$

$$Ho = \frac{\frac{Ql}{5}}{(1.375b)^{\frac{2}{3}}}$$

- *Volumen de agua para lavado*

$$Vl = Ql * tl$$

- *Volumen del agua tratada*

-Tiempo de filtración de 30 horas

$$Vf = Q * tf$$

### 3.9.3.6. Cloración

- *Capacidad de cloradores*

-10 % de perdida

-Dosis óptima 2 mg/L

$$C = \frac{Q * D}{1000}$$

- *Volumen del tanque de contacto*

- 20% de seguridad.

$$V = Q * tr$$

- *Dimensiones del tanque*

$$V = A * h$$

### **3.10. Elaboración de planos**

Para la elaboración de los planos en formato A4 de los distintos procesos que integran el sistema de tratamiento de agua potable se utilizó el programa AutoCAD 2019.

## CAPÍTULO IV

### 4. RESULTADOS

Se presenta a continuación los resultados obtenidos correspondientes a la medición del caudal, la caracterización físico-química y microbiológica del agua de abastecimiento con su respectiva evaluación y las condiciones de diseño, que son necesarias para el dimensionamiento del sistema de tratamiento de agua potable.

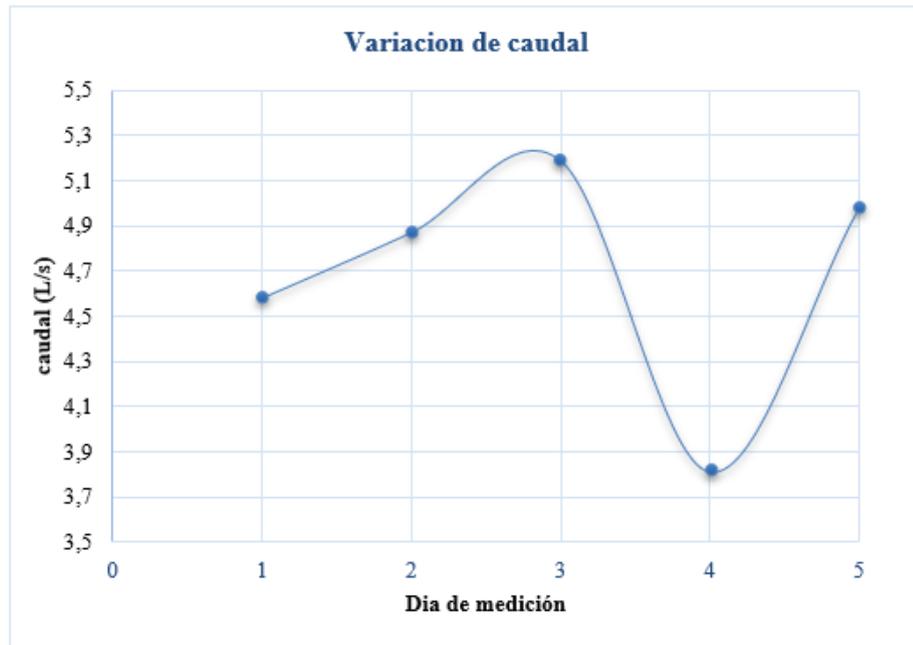
#### 4.1. Medición del caudal del agua captada

En la siguiente tabla se indica los datos diarios de la medición del caudal del agua de abastecimiento proveniente de las vertientes de Santa Bárbara, por el lapso de 5 días seguidos en intervalos de 30 minutos entre las 3 mediciones diarias, los cuales fueron tomados para reducir errores en la medición y determinar un caudal promedio. Además, de determinar si existe un incremento o disminución del caudal a lo largo de la semana.

**Tabla 1-4:** Resultados del caudal del agua captada

<b>Determinaciones</b>	<b>Caudal 1</b>	<b>Caudal 2</b>	<b>Caudal 3</b>	<b>Promedio Caudal (L/s)</b>
<i>Día 1</i>	4.65	4.49	4.60	4.58
<i>Día 2</i>	4.76	4.94	4.91	4.87
<i>Día 3</i>	5.37	4.82	5.37	5.19
<i>Día 4</i>	3.79	4.04	3.59	3.81
<i>Día 5</i>	5.1	4.97	4.88	4.98
<b><i>Promedio Caudal</i></b>				<b>4.69 L/s</b>

Realizado por: Vasco Villamarín, Diana L., 2021.



**Gráfico 1-4.** Variación de caudal

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

De acuerdo a la Tabla 1-4 y el Gráfico 1–4 se identificó que los días de mayor variación es el día 3 y 4, donde existe una variación de caudal considerable obteniendo un máximo y mínimo en la medición. De acuerdo a los datos obtenidos del caudal y los días de variación se definió la toma de 3 muestras en los días miércoles y jueves de los meses octubre, diciembre y enero, debido a que en estos meses las condiciones varían de acuerdo a las precipitaciones y sequía.

#### 4.2. Análisis de agua captada

Las muestras tomadas del agua natural para el abastecimiento de la parroquia La Victoria, fueron enviadas al Laboratorio de Control de Calidad de EP-EMAPAA, tal como se menciona en el capítulo III; donde se realizó el análisis de ciertos parámetros físicos, químicos y microbiológicos necesarios para determinar el estado del agua, los cuales fueron tomados como punto de partida para el diseño del sistema de tratamiento.

**Tabla 2-4:** Registro de la caracterización del agua del año 2019

PARÁMETROS	Resultados	Método utilizado	Unidades
<b>Parámetros Físico -Químicos</b>			
<b>Arsénico</b>	0.250	APHA-31148	ug/L
<b>Bario</b>	0.123	APHA-3111 D	mg/L

<b>Cianuro</b>	0.001	HACH-8027	mg/L
<b>Cobre</b>	0.010	HACH-8506	mg/L
<b>Color Real</b>	31.000	HACH-8025	U Pt-Co
<b>Cromo hexavalente</b>	0.002	HACH-8023	mg/L
<b>DBO</b>	0	APHA-5210-D	mg/L
<b>DQO</b>	18.000	HACH-8000	mg/L
<b>Fluoruros</b>	0.240	HACH-8029	mg/L
<b>Hierro</b>	0.590	HACH-8008	mg/L
<b>Mercurio</b>	0	APHA-31128	ug/L
<b>Nitratos</b>	3.300	HACH-8039	mg/L
<b>Nitritos</b>	0.010	HACH-8507	mg/L
<b>pH</b>	8.210	APHA-4500H+B	U pH
<b>Sulfatos</b>	4.000	HACH-8051	mg/L
<b>Turbidez</b>	2.900	APHA-2130-B	NTU
<b>Parámetros microbiológicos</b>			
<b>Coliformes fecales</b>	0	APHA-9221-C	nmp/100mL

Realizado por: Vasco Villamarín, Diana L., 2021.

De acuerdo a los datos existentes de los análisis de agua de los años 2019, se identificó que existe una variación de parámetros mínima, por lo cual se definió la toma de 3 muestras en el sistema captación (P1), para definir el estado actual de la calidad del agua captada para la parroquia La Victoria.

A continuación, se presenta el resumen del análisis de la calidad del agua de las 3 muestras tomadas el 7 noviembre, 8 diciembre del 2021 y 14 de enero del 2022.

**Tabla 3-4:** Caracterización del agua de las muestras 1, 2, 3

<b>CARACTERIZACIÓN</b>					
<b>Resultados</b>				<b>Método utilizado</b>	<b>Unidades</b>
<b>MUESTRA</b>	M 1	M 2	M 3		
<b>Fecha de muestreo</b>	7/10/2021	8/12/2021	14/1/2022		
<b>Parámetros Físico -Químicos</b>					
<b>Arsénico</b>	2.5	0	-	HACH 2800000	ug/L

<b>Alcalinidad</b>	-	139.08	168.10	Standard Methods-2320B	mg/L
<b>Cloruros</b>	-	0.30	-	HACH 8113	mg/L
<b>Olor / Sabor</b>	No presenta	No presenta	-		
<b>Color Real</b>	182.00	29.00	13.00	HACH-8025	U Pt-Co
<b>DBO</b>	0	0	-	APHA-5210-D	mg/L
<b>DQO</b>	-	14	7	HACH-8000	mg/L
<b>Dureza Total</b>	-	102.97	-	Standard Methods-2340C	mg/L
<b>Fluoruros</b>	0.21	-	0.12	HACH-8029	mg/L
<b>Hierro</b>	-	0.53	0.86	HACH-8008	mg/L
<b>pH</b>	8.35	8.31	8.2	Standard Methods-4500H+B	U pH
<b>Sulfatos</b>	No detectado	No detectado	-	HACH-8051	mg/L
<b>Turbidez</b>	25.2	4.24	7.70	Standard Methods-2130-B	NTU
<b>Solidos totales disueltos</b>	-	-	194	Standard Methods-2540-C	mg/L
<b>Parámetros microbiológicos</b>					
<b>Coliformes fecales</b>	4	24	<1.8	Standard Methods-9221-C	nmp/100 mL

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

De acuerdo a los resultados de los análisis de laboratorio presentados en la Tabla 3-4, se identificó que el agua es de muy buena calidad, con valores que se encuentran dentro de los límites permisibles en la mayoría los parámetros de análisis, tanto físico – químicos como microbiológicos; en el caso del primer análisis se encuentra el compuesto arsénico dentro de la composición del agua, porque la fuente de abastecimiento se une con otra de origen subterráneo debido a la escases del recurso en época de verano. Debido a que es una fuente agua subterránea conducida por un tramo de canal abierto, la calidad del agua se deteriora en los períodos de mayor precipitación, en donde suben parámetros como coliformes fecales, turbidez y solidos totales disueltos, los cuales alteran directamente la calidad y apariencia del agua.

#### 4.2.1. Evaluación de la Caracterización del Agua

Se realizó el análisis del agua para abastecimiento para determinar el estado del mismo, cuyos resultados se exponen en la tabla anterior, determinando que algunos de los parámetros analizados no están dentro de los límites que se dispone en el libro VI, tabla 1 del TULSMA y Norma INEN 1108A:2020.

**Tabla 4-4:** Evaluación de la caracterización del agua

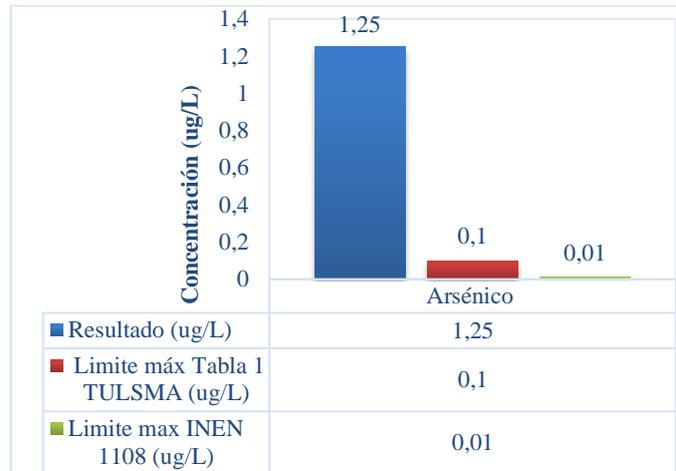
<b>CARACTERIZACIÓN</b>					
<b>Parámetros</b>	<b>Promedio</b>	<b>Unidades</b>	<b>Norma de referencia: TABLA1. CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DÓMESTICO. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)</b>	<b>Norma de referencia: NORMA INEN 1108A:2020. AGUA PARA CONSUMO HUMANO.</b>	<b>Cumplimiento</b>
<b>Parámetros Físico -Químicos</b>					
<b>Arsénico</b>	1.25	ug/L	0.1	0.01	No cumple
<b>Alcalinidad</b>	153.59	mg/L	-	-	Cumple
<b>Cloruros</b>	0.30	mg/L	-	-	Cumple
<b>Olor / Sabor</b>	No presenta	-	Ausencia	Ausencia	Cumple
<b>Color Real</b>	74.66	U Pt-Co	75	Ausencia	No Cumple
<b>DBO</b>	0	mg/L	<2	-	Cumple
<b>DQO</b>	10.50	mg/L	<4	-	No cumple

<b>Dureza Total</b>	102.97	mg/L	-	-	Cumple
<b>Fluoruros</b>	0.17	mg/L	1.5	1.5	Cumple
<b>Hierro</b>	0.70	mg/L	1	-	Cumple
<b>pH</b>	8.29	U pH	U pH	-	Cumple
<b>Sulfatos</b>	No detectado	mg/L	500	-	Cumple
<b>Turbidez</b>	12.38	NTU	100	5	No cumple
<b>Sólidos totales disueltos</b>	194.00	mg/L	-	-	Cumple
<b>Parámetros microbiológicos</b>					
<b>Coliformes fecales</b>	9.93	nmp/100mL	1000	Ausencia	No cumple

Realizado por: Vasco Villamarín, Diana L., 2022.

En el Tabla 4-4 se presenta los resultados de la caracterización del agua muestreada en los meses de octubre, diciembre y enero, donde se observó parámetros que sobrepasan los límites permisibles de acuerdo a la norma para diseño y construcción de plantas de tratamiento de agua potable NTE NORMA INEN 1108:2020, sexta revisión y la Tabla 1 del TULSMA. Los parámetros que no cumplen con dichas normas son: Arsénico 1.25 ug/L, Color 74.66 U Pt-Co, DQO 10.50 mg/L, Turbidez 12.38 NTU y Coliformes Fecales 9.93 nmp/100mL, mientras que los demás parámetros analizados se encuentran dentro de límites permisibles de ambas normas. A continuación, se presentan la comparativa gráfica de los parámetros que no cumple con las normas de referencia para agua potable.

- **Arsénico**



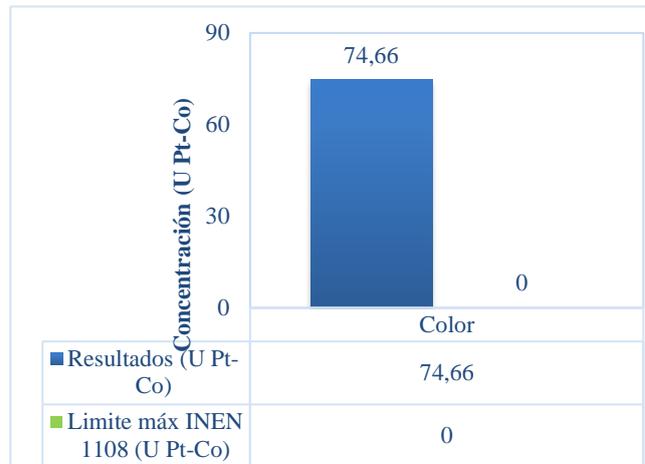
**Gráfico 2-4.** Límites máximos permisibles del Arsénico

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En el Gráfico 2-4, se detalla los valores del límite máximo permisible según la Tabla 1 del TULSMA y norma INEN 1108, donde se analiza el parámetro arsénico, el cual es de 0.1 y 0.01 ug/L respectivamente, comparado con el resultado de la caracterización que es 1.25 ug/L, en el cual se puede observar que el valor analizado se encuentra por encima de los límites máximos permisibles de ambas normas.

Este contenido de arsénico se encuentra de manera natural en el agua subterránea y varía de 1 a 10 ug/L. Esto debido a que la parroquia La Victoria y parte de sus paramos poseen un tipo de suelo entisol (suelos minerales derivados tanto de materiales aluviónicos como residuales), seguido del molisol (desarrollados de materiales volcánicos y sedimentarios) (ConsultoraR&V, 2015, pp.3-9), los cuales son ricos en minerales como As que se van liberando debido a los procesos geoquímicos naturales. El contenido de arsénico resultaría en consecuencia de un ambiente geoquímico y condiciones hidrogeológicas específicas del lugar de captación del agua, en donde la concentración de arsénico en las aguas subterráneas está fundamentalmente controlada por las interacciones agua-roca y sus distintos procesos geoquímicos (Alarcón, 2013 p.11). El contenido de arsénico analizado es relativamente bajo debido a su origen subterráneo, sin embargo, sobrepasa los límites estipulados en las normas de referencia, por ello este tipo de compuesto puede ser tratado por coagulación-floculación o filtración, procesos eficaces al momento de la remoción de As.

- **Color**



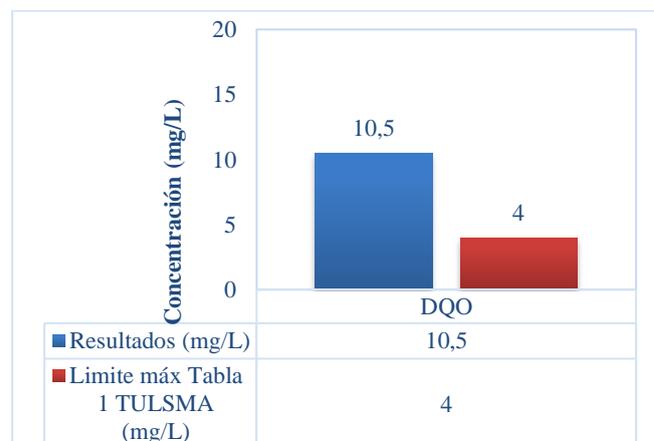
**Gráfico 3-4.** Límite máximo permisible de Color

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En el Gráfico 3-4, se detalla los valores del límite máximo permisible según la norma INEN 1108, donde se analiza el parámetro color, el cual es de 0 (ausencia), comparado con el resultado de la caracterización que es 74.66 ug/L, en el cual se puede observar que el valor analizado se encuentra por encima del límite máximo permisible.

La presencia de color real en el agua captada, se debe en su mayoría por los compuestos disueltos en ella, por lo que reduce significativamente la calidad del agua. Este color aumenta debido a las precipitaciones y escorrentía que se depositan en el lugar de captación, por la incorporación de sólidos que confieren color al agua.

- **DQO**

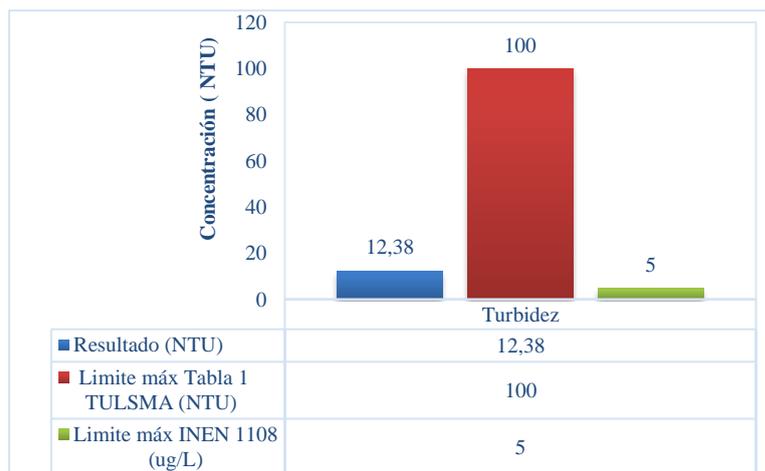


**Gráfico 4-4.** Límite máximo permisible de DQO

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En el Gráfico 4-4, se detalla el valor del límite máximo permisible según la Tabla 1 del TULSMA, donde se analiza el parámetro DQO, el cual es de < 4 mg/L, comparado con el resultado de la caracterización que es 10.5 mg/L, en el cual se puede observar que el valor analizado se encuentra por encima del límite máximo permisible de la norma. Este parámetro mide el grado de contaminación del agua parte de la materia orgánica, la cual se incorporan al agua en el tramo de conducción; contribuyendo a el incremento del DQO en el agua captada.

- **Turbidez**



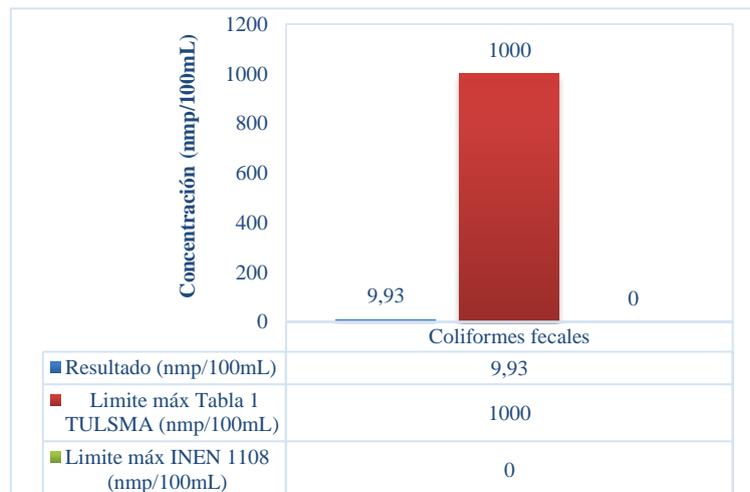
**Gráfico 5-4. Límites máximos permisibles de Turbidez**

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En el Gráfico 5-4, se detalla los valores del límite máximo permisible según la Tabla 1 del TULSMA y norma INEN 1108, donde se analiza el parámetro Turbidez, el cual es de 100 y 5 NTU respectivamente, comparado con el resultado de la caracterización que es 12.38 NTU, en el cual se puede observar que el valor analizado se encuentra por encima del límite máximo permisibles de la norma INEN 1108 y a la vez cumple con el valor de referencia de la Tabla 1 del TULSMA para agua de abastecimiento.

La turbidez representa la reducción de la transparencia de un líquido ocasionada por la presencia de partículas no disueltas (Acebo et al., 2013), las cuales se incorporan al momento de la captación y conducción de agua por canal abierto. Este parámetro se trata mediante procesos de remoción eficientes como coagulación-floculación, filtración y sedimentación, proceso por los cuales se elimina la turbidez parcial o total del agua.

- **Coliformes Fecales**



**Gráfico 6-4.** Límites máximos permisibles de Coliformes fecales

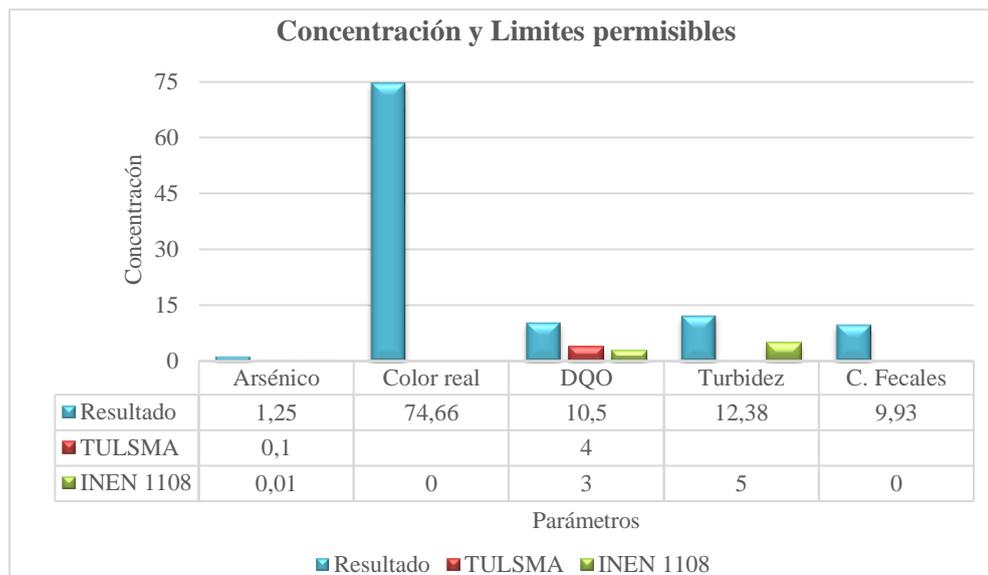
**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En el Gráfico 6-4, se detalla los valores del límite máximo permisible según la Tabla 1 del TULSMA y norma INEN 1108, donde se analiza el parámetro Coliformes fecales, el cual es de 1000 y 0 NTU respectivamente, comparado con el resultado de la caracterización que es 9.93 NTU, en el cual se puede observar que el valor analizado se encuentra por encima del límite máximo permisibles de la norma INEN 1108. Sin embargo, este parámetro cumple con la Tabla 1 del TULSMA para agua de abastecimiento.

Las coliformes son indicadores de contaminación fecal presentes tanto en aguas residuales como naturales, las cuales se incorporan en el agua debido a su exposición con excretas de animales y personas. La presencia de *E. coli* es indicadora de contaminación fecal reciente, por lo que se ha empleado para monitorear la calidad del agua de consumo humano (OMS, 2018, pp.5-343).

La desinfección es un proceso indispensable para asegurar la inocuidad de las aguas de superficie después de su tratamiento y las aguas subterráneas que contengan *E. coli* o coliformes (fecales) Donde el cloro actúa como desinfectante que elimina estas bacterias; y ayuda a su vez a garantizar la inocuidad microbiana de los abastecimientos de agua de consumo (OMS, 2018, pp.5-343).

De los 15 parámetros analizados para determinar la calidad del agua de consumo, 5 de ellos no cumplen con alguna de las normas mencionadas o con una de ellas, rebasando los límites permisibles considerados para agua de consumo.



**Gráfico 7-4.** Comparación de los parámetros que se encuentran fuera de la norma

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

El Gráfico 7-4 presenta la comparación de los resultados obtenidos del análisis del agua y las normas para agua de consumo, los cuales no cumplen con los límites máximos permisibles. Por ello estos parámetros se consideraron al momento de definir los tratamientos aplicados para el agua, con la finalidad de removerlos y cumplir con la norma de calidad de agua para consumo humano.

#### 4.3. Prueba de tratabilidad

##### *Test de Jarras*

En la siguiente tabla se indica los datos de la prueba de tratabilidad empleando Sulfato de aluminio como coagulante.

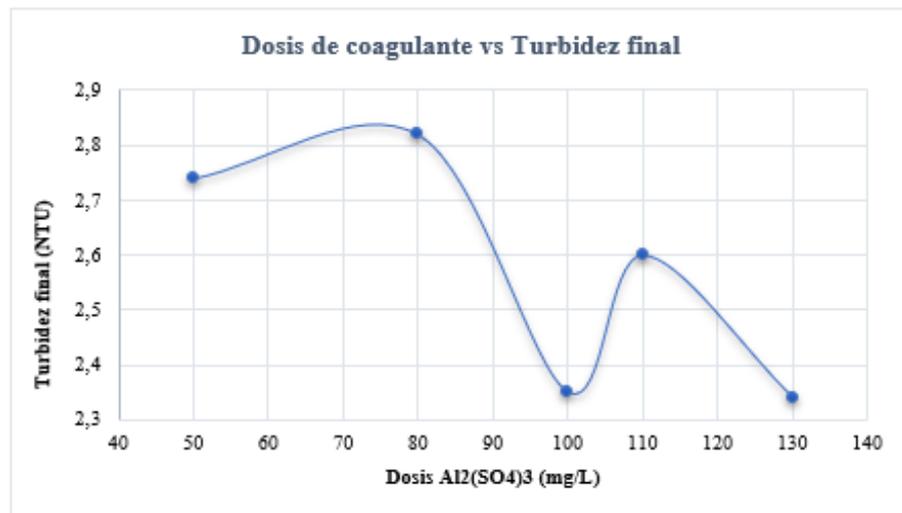
**Tabla 5-4:** Resultados de la prueba de jarra

<b>Sist. de Jarras</b>	<i>Turbidez inicial: 165 NTU</i>				
	<i>pH inicial: 8.8</i>				
	<b>JARRA</b>				
	1	2	3	4	5
<b>Solución (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>)</b>	5 mL	8 mL	10 mL	11 mL	13 mL
<b>Turbidez (NTU)</b>	2.74	2.82	2.35	2.6	2.34

<b>pH</b>	7.6	8.1	7.77	6.8	7.63
-----------	-----	-----	------	-----	------

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

Durante la prueba de tratabilidad de coagulación floculación, se identificó que la dosis óptima de coagulante esta al añadir 10 mL de  $Al_2(SO_4)_3$ .



**Gráfico 8-4.** Resultados de la prueba de jarras con  $Al_2(SO_4)_3$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

Como se muestra en el Gráfico 8-4, se realizó la prueba de jarras con 5 dosis de diferente concentración de  $Al_2(SO_4)_3$ , para el tratamiento del agua de abastecimiento. La dosis de coagulante más afectiva para la remoción de los sólidos suspendidos es de 100 ppm, debido a que el proceso de coagulación floculación se dio en menor tiempo que las demás dosis. Además de formar unos flóculos más estables y con suficiente peso para sedimentar en el tiempo de prueba. Esta dosis de coagulante logró remover los sólidos con una eficiencia del 98.6%.

### **Cloración**

Para la prueba por cloración se empleó hipoclorito de sodio al 3.47% durante prueba de tratabilidad, donde se empleó diferentes dosificaciones.

Dentro de la prueba de tratabilidad con cloro se realizó un test colorimétrico, para determinar el contenido de cloro residual total  $Cl_2$  presente en las muestras de agua.

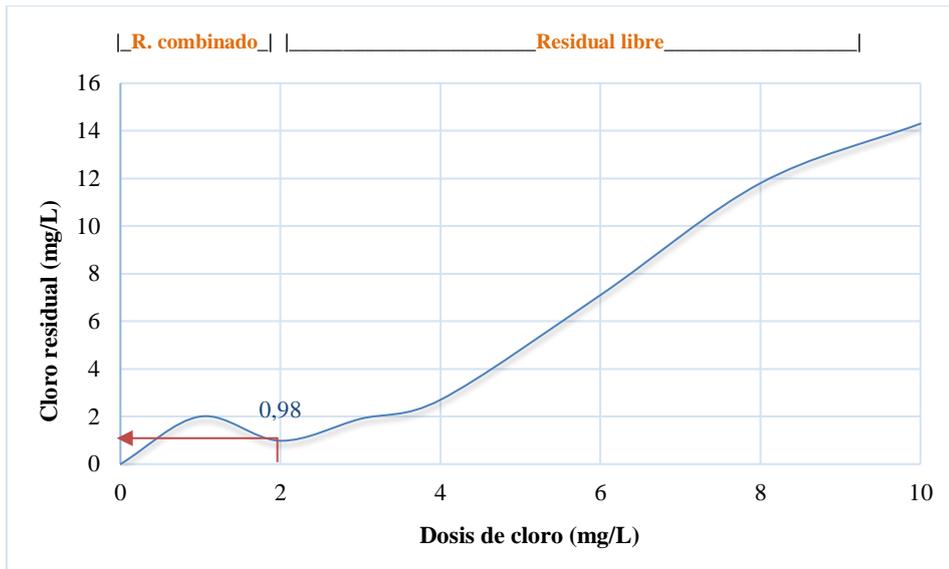
### **Dosis**

Para el cálculo de la dosis de cloro, se identificó inicialmente la caracterización físicas-químicas del agua de abastecimiento, con un pH de 7.6 y una temperatura de  $15^{\circ}C$ , a continuación, se muestra los datos obtenidos durante la prueba:

**Tabla 6-4:** Demanda de cloro en diferentes concentraciones

	Concentración de hipoclorito añadido (mg/l)					
	10	8	6	4	3	2
<b>Cloro libre mg/L</b>	14.3	11.8	7.1	2.7	Rango alto: 2.1 Rango bajo: 0.92	Rango alto: 1.5 Rango bajo: 0.98

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.



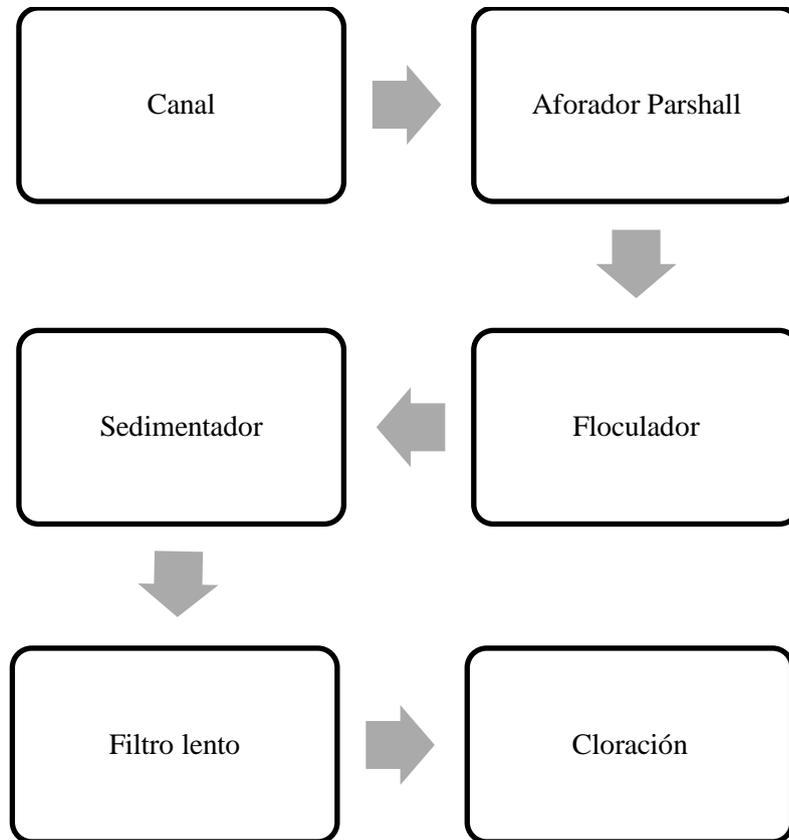
**Gráfico 9-4.** Curva de demanda de cloro hallada en el laboratorio.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

Como se muestra en la Tabla 6-4 y Gráfico 9-4 el punto de quiebre encontrado corresponde a la aplicación de 2 mg/L de solución de cloro, dando como resultado la presencia de 0,98 mg/L de cloro residual, valor que se encuentra dentro del rango estipulado para agua de consumo de acuerdo a la norma INEN 1108.

#### 4.4. Dimensionamiento del sistema tratamiento

##### 4.4.1. Esquema del sistema de tratamiento propuesto



**Figura 1-4.** Esquema del sistema de tratamiento

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

##### 4.4.2. Bases de Diseño

###### 4.4.2.1. Periodo de diseño

Con base a la normativa CO:10.7-602 de la Secretaria del Agua de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural, se consideró un período de diseño de 23 años, tiempo especificado en la presente normativa para este tipo proyectos de diseño (CO 10.7-602).

###### 4.4.2.2. Población de estudio

Dentro del estudio preliminar para el diseño de la Planta de Tratamiento, se consideró la población existente en la parroquia La Victoria como punto de partida para determinar el requerimiento de

agua potable del sector y la donación necesaria.

La población de la parroquia donde se desarrolló el proyecto está en constante crecimiento, debido a que tiene un 3% de crecimiento poblacional cada 3 años; según el CENSO realizados en 2010, la parroquia La Victoria posee un total de 3016 habitantes entre indígenas y mestizos dentro de su territorio (Ochoa, 2017, p.13).

Por tanto, la población que se consideró para el estudio preliminar es de 3016 habitantes, lo cual corresponde a los habitantes de la comunidad estimados en el último censo.

➤ **Proyección poblacional**

En base a las fórmulas especificadas en el capítulo III en Bases de diseño, se calculó la proyección poblacional para la parroquia La Victoria.

- *Método Aritmético*

$$P_t = P_o + r(t)$$

$$P(2021) = 3016(\text{hab}) + \left[ \frac{(3016 - 2806)\text{hab}}{(2010 - 2001)\text{año}} (11 \text{ años}) \right]$$

$$P(2021) = 3272.667 \text{ habitantes}$$

A partir de la población actual estimamos la población para 23 años, cumpliendo con la normativa SENAGUA NORMA CO 10.7-602.

$$P(2044) = 3272.667(\text{hab}) + \left[ \frac{(3272.667 - 3016)\text{hab}}{(2021 - 2010)\text{año}} (23\text{años}) \right]$$

$$P(2044) = 3809.334 \text{ habitantes}$$

- *Método geométrico*

$$P_t = P_o(1 + r)^t$$

$$\left( \frac{3016 \text{ hab}}{2806 \text{ hab}} \right)^{\frac{1}{9}} - 1 = r$$

$$r = 0.008$$

$$P(2021) = 3016(\text{hab})(1 + 0.008)^{11}$$

$$P(2021) = 3292.283 \text{ habitantes}$$

A partir de la población actual, estimamos la población para 23 años, cumpliendo con la normativa SENAGUA NORMA CO 10.7-602.

$$P(2044) = 3292.283(\text{hab})(1 + 0.008)^{23}$$

$$P(2044) = 3954.480 \text{ habitantes}$$

- *Método Exponencial*

$$r = \frac{\text{Ln}\left(\frac{3016}{2806}\right)}{9}$$

$$r = 0.008$$

$$P(t) = P_o e^{rt}$$

$$P(2021) = 3016(\text{hab})(e)^{(0.008)*(11)}$$

$$P(2021) = 3293.436 \text{ habitantes}$$

A partir de la población actual, estimamos la población para 23 años.

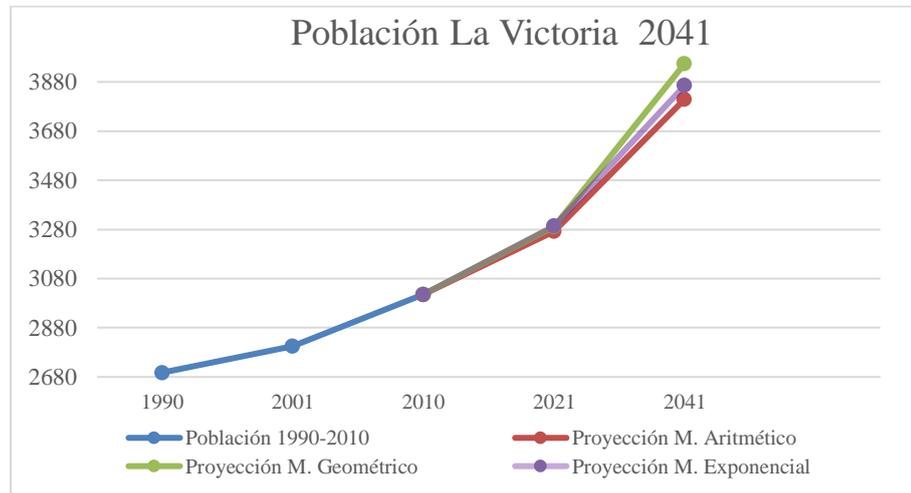
$$P(2044) = 3293.436 (\text{hab})(e)^{(0.008)*(23)}$$

$$P(20244) = 3958.762 \text{ habitantes}$$

**Tabla 7-4:** Resumen de Poblaciones Futuras

Año	Método Aritmético	Método Geométrico	Método Exponencial
2021	3272.667	3292.283	3293.436
2041	3809.334	3954.480	3958.762

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.



**Gráfico 10-4.** Representación de la Población futura.

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

Como se muestra en la Tabla 7-4 y Gráfico 10-4, al realizar el cálculo de la población futura por los 3 métodos, se observó que los valores obtenidos por el método exponencial y geométrico no poseen un rango amplio de variación. Por ello, en el presente proyecto se selecciona un valor promedio de ambos métodos, ya que de esa manera nos proporciona un dato más cercano a los reales.

Por esta razón, se asume una población de diseño de 3957 habitantes, el cual sería un promedio entre los valores de población futura obtenidos por los métodos geométrico y exponencial, representando un valor probable de acuerdo al gráfico que representa el crecimiento de la población para el año 2044.

#### 4.4.2.3. Dotación de agua

En este caso se fijó la dotación necesaria para la parroquia La Victoria en base a las condiciones específicas del lugar de estudio.

- *Dotación futura*

En base a la dotación diaria especificada en el capítulo III y un incremento de 1 (L/hab\*día) por cada año, se calculó la dotación futura necesaria para la parroquia.

$$D = 60 \left( \frac{l}{hab} * día \right) + 1 \left( \frac{l}{hab} * día \right) * 23$$
$$D = 83 \left( \frac{l}{hab} * día \right)$$

**Tabla 8-4:** Resultado de dotaciones

<i>Dotación diaria</i>	<i>Dotación futura</i>
$60 \left( \frac{L}{hab} * día \right)$	$83 \left( \frac{L}{hab} * día \right)$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2021.

#### 4.4.3. Caudal de diseño

##### 4.4.3.1. Caudal medio

El caudal medio se estimó mediante la fórmula propuesta en la NORMA CO 10.7 – 602, a partir de los datos de población proyectada para el periodo de diseño (2041), la dotación estimada para la parroquia La Victoria y el factor de fugas asumido en función de nuestro nivel de servicio Ila del porcentaje de fugas, dando como resultado un caudal medio ( $Q_m$ ) de 4.56 L/s

##### 4.4.3.2. Caudal máximo diario

El caudal máximo diario representa el caudal medio consumido por la comunidad en el día de máximo consumo. Empleado la ecuación descrita en el capítulo III, se calculó un ( $Q_{md}$ ) con un valor de 5.70 L/s

##### 4.4.3.3. Caudal Máximo horario

El caudal máximo horario representa el caudal de agua consumido por la comunidad durante la hora de máximo consumo en un día. Empleado la ecuación descrita en el capítulo III, se calculó

un ( $Q_{mh}$ ) con un valor de 13.68 L/s.

#### 4.4.3.4. Caudal de diseño para la plata de tratamiento

De acuerdo a los cálculos preliminares, se fijó un Caudal de tratamiento de 6.5 L/s para la ejecución del presente proyecto.

**Tabla 9-4:** Condiciones de diseño iniciales

<b>CÁLCULOS PRELIMINARES</b>	
Población de diseño	3957 habitantes
Dotación básica	60 (L/hab*día)
Dotación futura	83 (L/hab*día)
<b>CAUDAL DE DISEÑO</b>	
Caudal medio ( $Q_m$ )	4.56 L/s
Caudal máximo diario (QMD)	5.70 L/s
Caudal máximo horario (QMH)	13.68 L/s
Caudal de diseño	6.5 L/s
	$6.5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

#### 4.4.4. Diseño del sistema de tratamiento

A continuación, se muestra los cálculos para cada uno de los tratamientos, aplicando las fórmulas de diseño especificadas en el Capítulo III.

##### 4.4.4.1. Canal Rectangular

Para el dimensionamiento del canal se tomó en cuenta la velocidad de 0,6 m/s para canales abiertos y un caudal de diseño de 6.5 L/s, como se indica en las bases de diseño.

- Área del canal

$$A = \frac{6.5 \times 10^{-3} \frac{m^3}{s}}{0,6 \frac{m}{s}}$$

$$A = 0,011m^2$$

- *Base del canal*

Se asume que h (altura efectiva) es igual a la base del canal B, por tanto:

$$B = \sqrt{0.011m^2}$$

$$B = 0,11m$$

Para construcción se asume una base de 0.15 m

- *Altura de seguridad*

$$hs = 0,35 m$$

- *Altura del canal*

$$H = 0,15m + 0,35m = 0,5m$$

#### 4.4.4.2. Aforador Parshall

Inicialmente se valoró los parámetros presentes en la tabla 11-3, a fin de asegurar un dimensionamiento óptimo para el proceso de mezcla. El diseño con un óptimo funcionamiento teórico es el que tiene como dimensión de garganta 15.2 cm.

#### SECCIÓN INICIAL DEL CANAL

$$H_a = \frac{0.0065 \frac{m^3}{s}^{\frac{1}{1.53}}}{0.3812}$$

$$H_a = 0.07m$$

$$E = 0.457 m$$

- *Ancho del canal en la sección de medición (D')*

$$D' = \frac{2}{3}(0.403m - 0.152m) + 0.152m$$

$$D' = 0.32m$$

El canal en la sección de medición tiene un ancho de 0.32m

- *Velocidad en la sección de medición (V<sub>o</sub>)*

$$V_o = \frac{0.0065 \frac{m^3}{s}}{0.32m * 0.07m}$$

$$V_o = 0.29 \frac{m}{s}$$

- *Caudal específico (q)*

$$q = \frac{0.0065 \frac{m^3}{s}}{0.152 m} = 0.04 \frac{m^3}{sm}$$

$$q = 0.04 \frac{m^3}{sm}$$

- *Carga hidráulica disponible ( $E_o$ )*

$$E_o = \frac{(0.29 \frac{m}{s})^2}{2(9.8 \frac{m}{s^2})} + 0.07m + 0.114 m$$

$$E_o = 0.19 m$$

### SECCIÓN 1 DEL CANAL

- *Velocidad antes del resalto hidráulico ( $V_1$ )*

$$\cos\theta = \frac{-g * q}{(\frac{2g * E_o}{3})^{1.5}}$$

$$\cos\theta = \frac{-9.8 \frac{m}{s^2} * 0.04 \frac{m^3}{sm}}{2(\frac{9.8 \frac{m}{s^2}}{3}) * 0.19m}^{1.5}$$

$$\theta = 106.4^\circ$$

$$v_1 = 2 \sqrt{\frac{2 * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.19m}{3} * \cos \frac{106.4^\circ}{3}}$$

$$v_1 = 1.8 \frac{m}{s}$$

- *Altura del agua antes del resalto hidráulico ( $H_b$ )*

$$H_b = \frac{0.04 \frac{m^3}{sm}}{1.8 \frac{m}{s}}$$

$$H_b = 0.022m$$

- *Sumergencia ( $S$ )*

Para determinar si la lámina de agua está dentro del rango o sufre un proceso de ahogamiento se aplica la siguiente ecuación:

$$S = \frac{0.022m}{0.07m}$$

$$S = 0.31 = 31\%$$

La lamina del agua presente en el tramo 1 está dentro de los parámetros óptimos, ya que no se produce ahogamiento, es decir, posee una sumergencia aceptable del 31%, valor que se encuentra dentro del rango establecido para este parámetro  $S \leq 70\%$ .

- *Numero de Froude ( $F_1$ )*

$$F_1 = \frac{1.82 \frac{m}{s}}{\sqrt{9.8 \frac{m}{s^2} * 0.022m}}$$

$$F_1 = 3$$

## SECCIÓN 2 DEL CANAL

- *Altura del agua en el salto hidráulico ( $h_2$ )*

$$h_2 = \frac{0.022m}{2} (\sqrt{1 + 8(3)^2} - 1)$$
$$h_2 = 0.08 \text{ m}$$

La lámina de agua al pasar por la zona convergente y llegar al tramo de resalto posee una altura de 0.08 m.

- *Velocidad en el salto hidráulico ( $V_2$ )*

$$V_2 = \frac{0.0065 \frac{m^3}{s}}{0.152m * 0.08m}$$
$$V_2 = 0.53 \frac{m}{s}$$

## SECCIÓN 3 DEL CANAL

- *Altura en la sección de salida ( $h_3$ )*

$$h_3 = 0.08m - (0.114m - 0.076m)$$
$$h_3 = 0.042m$$

- *Velocidad en la sección de salida ( $V_3$ )*

$$V_3 = \frac{0.0065 \frac{m^3}{s}}{0.394m * 0.042m}$$
$$V_3 = 0.39 \frac{m}{s}$$

- *Perdida de carga ( $h_p$ )*

$$h_p = 0.07m + 0.076m - 0.042m$$
$$h_p = 0.1m$$

- *Tiempo de retención ( $T$ )*

$$T = \frac{2 * 0.61m}{0.53 \frac{m}{s} + 0.39 \frac{m}{s}}$$
$$T = 1.3 \text{ s}$$

El tiempo que permanecerá el agua en el canal será de 1.3 s.

- *Gradiente de velocidad ( $G_v$ )*

T= 15°C.

$$G_v = \sqrt{\frac{1000 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * 0.1m}{(1.139 * 10^{-3} \frac{kg}{m \cdot s}) * 1.3s}}$$
$$G_v = 814 \text{ s}^{-1}$$

En este caso el gradiente de velocidad de canal Parshall dimensionado es de  $814 \text{ s}^{-1}$ , es decir cumple el rango optimo del gradiente dentro del canal  $700 \leq G_v \leq 1300$ , por lo tanto, el proceso

de mezcla dentro del resalto será óptimo.

#### 4.4.4.3. Floculador de flujo horizontal

Para el dimensionamiento del floculador, se consideró los parámetros de la tabla 12-3:

- *Distancia total recorrida (L)*

$$L = 0.20 \frac{m}{s} * 1800 s$$

$$L = 360 m$$

- *Volumen de agua (V)*

$$V = 0.0065 \frac{m^3}{s} * 1800s$$

$$V = 12 m^3$$

- *Área transversal (a)*

$$a = \frac{12 m^3}{360 m}$$

$$a = 0.04 m^2$$

- *Dimensiones*

$$a_1 = 0.35$$

$$d = 1 m$$

- *Altura del floculador (H)*

Se consideró una altura de seguridad de 0.20 m.

$$H = 1m + 0.20m$$

$$H = 1.20 m$$

- *Espacio libre entre deflectores (e)*

$$e = 1.5 * 0.35$$

$$e = 0.5m$$

- *Largo de los deflectores (l)*

Se considero un ancho del floculador de B= 1

$$l = 1.5 m - 0.5 m$$

$$l = 1 m$$

- *Longitud total (Lt)*

$$Lt = 32(0.35) + (32 - 1)(0.03)$$

$$Lt = 12 m$$

- *Perdida por fricción primaria*

- Rugosidad de a madera n = 0.013

$$hf = \frac{(0.013 * 0.20 \frac{m}{s})^2 * 360 m}{(\frac{0.04}{2(1) + 0.35})^{\frac{4}{3}}}$$

$$hf = 0.12 m$$

- *Perdidas secundarias*

$$h = 3(32 - 1) \frac{(0.20 \frac{m}{s})^2}{2(9.8 \frac{m}{s^2})}$$

$$h = 0.20 m$$

- *Pérdida total*

$$H = 0.12 m + 0.20 m$$

$$H = 0.32 m$$

- *Gradiente de velocidad (G)*

$$Gv = \sqrt{\frac{9.8 \frac{m}{s^2} * 0.32 m}{(1.139 * 10^{-6}) * 1800s}}$$

$$Gv = 40 s$$

El gradiente de velocidad debe cumplir un rango de  $G_v \leq 100$ .

#### 4.4.4.4. *Sedimentación lamelar*

Para el dimensionamiento del sedimentador de alta tasa, se consideró los parámetros de la tabla 13-3:

- *Carga superficial (Cs)*

$$Cs = \frac{561.6 \frac{m^3}{d}}{(4.5 * 1)m^2}$$

$$Cs = 125 \frac{m^3}{m^2 d}$$

- *Velocidad en las láminas (vo)*

$$vo = \frac{561.6 \frac{m^3}{d}}{(4.5 * 1)m^2 * \text{sen}60^\circ}$$

$$vo = 145 \frac{m}{d}$$

- *Largo Relativa*

$$L = \frac{1.1m}{0.06 m}$$

$$L = 18.3m$$

- *Número de placas*

$$N = \frac{4.5 \text{ m} * \text{sen}60^\circ + 0.06 \text{ m}}{0.06 \text{ m} + 0.01}$$

$$N = 57$$

- *Número de Reynolds*

$$N_R = \frac{145 \frac{\text{m}}{\text{d}}}{86400\text{s}} * 0.06\text{m}$$

$$1.139 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$N_R = 90$$

- *Longitud corregida ( $L_c$ )*

$$L' = 0.013(158)$$

$$L' = 1.2$$

$$L_c = 18.3 - 1.2$$

$$L_c = 17.1$$

- *Velocidad de sedimentación crítica ( $V_{sc}$ )*

$$v_{sc} = \frac{1 * 145 \frac{\text{m}}{\text{d}}}{\text{sen}60^\circ + 17.1 \cos 60^\circ}$$

$$v_{sc} = 16 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

- *Tiempo de retención en laminas ( $t$ )*

$$t = \frac{1.10\text{m}}{259 \frac{\text{m}}{\text{d}}}$$

$$t = 11 \text{ min}$$

#### 4.4.4.5. Filtración lento

Para el dimensionamiento del filtro, se consideró los parámetros de la tabla 14-3:

- *Determinación del número de filtros*

$$N = 0.044 * \sqrt{561,6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}$$

$$N = 1$$

- *Área Superficial*

$$Cs = 7 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2/\text{dia}}$$

$$As = \frac{561,6 \frac{\text{m}^3}{\text{d}}}{1 * 9 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2/\text{dia}}}$$

$$As = 62.4 \text{ m}^2$$

$\frac{L}{B} = 2$ , la cual está dentro de los parámetros establecidos:  $1 \leq \frac{L}{B} \leq 3$

$$As = 2B^2$$

$$B = \sqrt{\frac{62.4 \text{ m}^2}{2}}$$

$$B = 5.5 \text{ m}$$

$$L = 2 * 5.5 \text{ m}$$

$$L = 11 \text{ m}$$

- *Caudal de lavado*

$$Ql = 5.5 \text{ m} * 11 \text{ m} * 0.013 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Ql = 0.78 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

- *Altura del agua*

Se asumió un ancho de canal de  $b = 0.40\text{m}$

$$Ho = \frac{0.78 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{5 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$(1.357(0.4\text{m}))^{\frac{2}{3}}$$

$$Ho = 0.6\text{m}$$

- *Volumen de agua para lavado*

$$Vl = 0.78 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * (5\text{min} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ min}})$$

$$Vl = 234 \text{ m}^3$$

- *Volumen del agua tratada*

Se asumirá un tiempo de filtración de 30 horas, ya que corresponde al rango de filtros rápidos

$$Vf = 561.6 \frac{\text{m}^3}{\text{dia}} * (30\text{h} * \frac{1\text{dia}}{24\text{h}})$$

$$V. f = 702 \text{ m}^3$$

#### 4.4.4.6. Cloración.

Para el sistema de cloración se empleó hipoclorito de sodio al 3.47% durante prueba de tratabilidad, donde se empleó diferentes dosificaciones.

## Dosis

Para el cálculo de la dosis de cloro, se identificó inicialmente la caracterización físicas-químicas del agua de abastecimiento, con un pH de 7.6 y una temperatura de 15°C.

**Tabla 10-4:** Resultados de la prueba de cloración

	Concentración de hipoclorito añadido (mg/l)					
	10	8	6	4	3	2
<b>Cloro libre mg/L</b>	14.3	11.8	7.1	2.7	Rango alto: 2.1 Rango bajo: 0.92	Rango alto: 1.5 Rango bajo: 0.98

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

- *Capacidad de cloradores*

Se consideró el 10 % de perdida

$$C = \frac{505.4 \frac{m^3}{dia} * 2 \frac{mg}{L}}{1000}$$
$$C = 1.02 \frac{Kg}{dia}$$

- *Volumen del tanque de contacto*

$$tr = 60 \text{ min}$$
$$V = 505.4 \frac{m^3}{dia} * 0.04 \text{ dia}$$
$$V = 20.2 m^3$$

- *Dimensiones del tanque*

$$\text{Área} = 15 m^2$$
$$h = 2 m$$
$$r = 2.2 m$$
$$b = 4.4 m$$

Para construcción se consideró un volumen de tanque de 30 m<sup>3</sup> considerando un 20% de seguridad.

#### 4.4.4.7. Resultados del dimensionamiento

A continuación, se muestra las tablas de los criterios calculados para cada uno de los tratamientos considerados en el sistema de potabilización, el cual este compuesto por un canal abierto, un aforador Parshall, un floculador hidráulico, un sedimentador lamelar, un filtro y un tanque de cloración.

- Canal

**Tabla 11-4:** Resumen dimensiones del canal abierto

Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
Área del canal	$A$	$A = \frac{Q}{V}$	0.011	$m^2$
Base del canal	$B$	$B = \sqrt{A}$	0.15	$m$
Altura del canal	$H$	$H = h + h_s$	0.35	$m$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En la Tabla 11-4 se puede observar los resultados del dimensionamiento del canal por donde ingresará el flujo de agua para su tratamiento con los siguientes resultados: área del canal 0,011  $m^2$ ; ancho del canal 0,11 m y la altura efectiva 0.31 m.

- Aforador Parshall

**Tabla 12-4:** Resumen dimensiones del aforador Parshall

Sección	Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
0	Tirante del agua (sección de control)	$H_a$	$H_a = \frac{Q}{0.3812}^{\frac{1}{1.53}}$	0.07	$m$
	Ancho del canal (secc. de medición)	$D'$	$D' = \frac{2}{3}(D - W) + W$	0.32	$m$
	Velocidad (secc. de medición)	$V_o$	$V_o = \frac{Q}{D' * H_a}$	0.29	$\frac{m}{s}$
	Caudal específico	$q$	$q = \frac{Q}{W}$	0.04	$\frac{m^3}{sm}$
	Carga hidráulica disponible	$E_o$	$E_o = \frac{V_o^2}{2g} + H_a + N$	0.19	$m$
1	Velocidad (antes del resalto hidráulico)	$V_1$	$V_1 = 2 \sqrt{\frac{2gE_o}{3} * \cos \frac{\theta}{3}}$	1.8	$\frac{m}{s}$
	Altura del agua (antes del resalto hidráulico)	$H_b$	$H_b = \frac{q}{V_1}$	0.022	$m$

	Sumergencia	$S$	$S = \frac{H_b}{H_a}$	0.31	<i>adimensional</i>
	Número de Froude	$F_1$	$F_1 = \frac{V_1}{\sqrt{g * H_b}}$	3	<i>adimensional</i>
2	Altura del agua (salto hidráulico)	$h_2$	$h_2 = \frac{H_b}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right)$	0.08	<i>m</i>
	Velocidad (salto hidráulico)	$V_2$	$V_2 = \frac{Q}{W * h_2}$	0.53	$\frac{m}{s}$
3	Altura (sección de salida)	$h_3$	$h_3 = h_2 - (N - K)$	0.042	<i>m</i>
	Velocidad (secc. de salida)	$V_3$	$V_3 = \frac{Q}{C * h_3}$	0.39	$\frac{m}{s}$
	Perdida de carga	$h_p$	$h_p = H_a + K - h_3$	0.1	<i>m</i>
	Tiempo de retención	$T$	$T = \frac{2G}{V_2 + V_3}$	1.3	<i>s</i>
	Gradiente de velocidad	$G_v$	$G_v = \sqrt{\frac{\gamma * h_p}{\mu * T}}$	814	$s^{-1}$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En la Tabla 12-4 se puede observar los resultados del dimensionamiento del aforador Parshall, el cual cumple dos funciones fundamentales en la planta, actúa como medidor de caudal en tiempo real y como mezclador hidráulico, debido a que en este punto se adicionará el coagulante (sulfato de aluminio) en una concentración de 100 ppm por cada litro de agua, para su mezcla con el flujo de agua entrante. Este aforador posee las siguientes dimensiones: ancho de garganta 15.2 cm y largo del canal 1.83 m.

- **Floculador hidráulico**

**Tabla 13-4:** Resumen dimensiones del floculador

Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
Largo	L		12	m
Ancho	B		1.5	m
Distancia recorrida	L	$L = v * t$	360	m
Volumen del agua	V	$V = Q * t$	12	m <sup>3</sup>
Área transversal	$a$	$a = \frac{V}{L}$	0.04	m <sup>2</sup>

Dimensiones	$a_1$		0.35	m
	$d$		1	m
Altura del floculador	$H$	$H = d + hs$	1.20	m
Espacio libre entre deflectores	$e$	$e = 1.5 a_1$	0.5	m
Largo de los deflectores	$l$	$l = B - e$	1.0	m
Número requerido de deflectores	$N$		32	

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En la Tabla 13-4 se puede observar los resultados del dimensionamiento del floculador hidráulico, el cual cumple la función de generar las condiciones necesarias para que el proceso de coagulación-floculación sea óptimo, mediante la incorporación de deflectores que aumentan la zona de contacto y permite la formación de flóculos estables provocando una sedimentación rápida de las partículas obteniéndose un agua clarificada.

Este proceso permite eliminar el color, turbidez por la presencia de sólidos y hierro presentes en el agua. El floculador tiene una capacidad de 12 m<sup>3</sup>, ancho de 1.5 m, largo del canal 12 m, profundidad 1.2 m y 32 deflectores distribuidos a lo largo de la estructura del floculador.

- **SEDIMENTADOR**

**Tabla 14-4:** Resumen dimensiones del sedimentador lamelar

Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
Largo	L		4.5	m
Ancho	B		1	
Profundidad	H		3.5	m
Carga superficial	Cs	$Cs = \frac{Q}{A}$	125	$\frac{m^3}{m^2d}$
Velocidad en las laminas	$v_o$	$v_o = \frac{Q}{A * sen\theta}$	145	$\frac{m}{d}$
Largo relativo	L	$L = \frac{l}{d}$	18.3	m
Número de placas	N	$N = \frac{Q}{v_o dl}$	57	
Número de Reynolds	$N_R$	$N_R = \frac{V_o * d}{v}$	90	
Longitud corregida	$L_c$	$L_c = L - L'$	17.1	

Velocidad de sedimentación crítica	$v_{SC}$	$v_{SC} = \frac{Sc * v_o}{\text{sen}\theta + Lc \cos\theta}$	16	$\frac{m}{d}$
Tiempo de retención en laminas	$t$	$t = \frac{l}{v_o}$	11	$min$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

En la Tabla 14-4 se puede observar los resultados del dimensionamiento del sedimentador lamelar, el cual cumple la función de generar las condiciones necesarias para que los flóculos que ingresa del proceso anterior sedimenten, mediante la incorporación de placas planas que aumentan la zona de contacto y permite la sedimentación en una tasa alta por acción de la gravedad, lo cual permite eliminar la turbidez, los sólidos suspendidos y sedimentables. El sedimentador lamelar posee las siguientes dimensiones: ancho de 1 m, largo del canal 5.5 m, profundidad 3.5 m y 57 placas planas distribuidas a lo largo de la estructura del sedimentador.

- **FILTRO LENTO**

**Tabla 15-4:** Resumen dimensiones del filtro lento

Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
Número de filtros	$N$	$N = 0.044 * \sqrt{Q}$	1	
Ancho	$B$	$B = \sqrt{\frac{As}{2}}$	5.5	m
Largo	$L$	$L=2B$	11	m
Área superficial	$As$	$As = \frac{Q}{NCs}$	62.4	$m^2$
Caudal de lavado	$Ql$	$Ql = A * vl$	0.78	$\frac{m^3}{s}$
Altura del agua	$Ho$	$Ho = \frac{\frac{Ql}{N}}{(1.375b)^{\frac{2}{3}}}$	0.6	m
Volumen del filtro	$Vol.f$	$Vf = Q * tf$	702	$m^3$

Realizado por: Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

La Tabla 15-4 resume los resultados del dimensionamiento del filtro lento de arena compuesto por una capa de grava de 0.20 m y una capa de arena de 1.2 m, el cual cumple la función de retener los sólidos suspendidos, partículas disueltas y disminuir el DBO5, mediante la retención de los contaminantes en las capas. El filtro tiene una capacidad de 702 m<sup>3</sup>, un ancho de 5.5 m, largo de 11 m, y altura de 3.1 m.

- **DESINFECCIÓN**

**Tabla 16-4:** Resumen dimensiones del tanque de desinfección

Parámetro	Símbolo	Criterio	Resultado	Unidad
Capacidad de los cloradores	C	$C = \frac{Q * D}{1000}$	1.02	$\frac{\text{Kg}}{\text{dia}}$
Volumen del tanque de contacto	V	$V = Q * tr$	25	m <sup>3</sup>
Área del tanque	A		15	m <sup>2</sup>
Altura útil	h		2	m
Base (diámetro)	b		4.4	m

**Realizado por:** Vasco Villamarin, Diana L., 2022.

La Tabla 16–4 resume los resultados del dimensionamiento del tanque de desinfección, el cual cumple la función eliminar cualquier agente patógeno presente en el agua, asegurando su calidad para el consumo humano. Este proceso permite la eliminación de las coliformes fecales encontradas en el agua de abastecimiento.

El tanque de contacto es el tratamiento final dentro de la planta, en el cual se adicionará hipoclorito de sodio en una concentración de 2 ppm para desinfectar el agua durante un tiempo de contacto de 30 min; el tanque posee un diámetro de 4.4 m y una altura de 2 m.

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del presente proyecto permiten concluir que la planta de tratamiento de agua potable, es una alternativa aplicable que brindará resultados positivos en la zona, ya que, al satisfacer las necesidades básicas de la población, esta puede desarrollarse de una manera ordenada, mejorando así su calidad de vida en temas de salubridad y acceso a servicios.

## CONCLUSIONES

- El diseño en planos del sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia La Victoria ubicada en el cantón Pujilí, provincia de Cotopaxi, tendrá efectos positivos sobre los habitantes en términos de servicios básicos y salud. Esta propuesta de tren de tratamiento consta de cinco procesos, diseñados bajo los parámetros establecidos en la normativa vigente, la cual tratará un caudal de 6.5 L/s mediante los procesos de coagulación-floculación, sedimentación, filtración y desinfección, los cuales permitirán asegurar la inocuidad del agua tratada, destinada para el consumo interno de la parroquia.
- Se caracterizó el agua de abastecimiento proveniente de las vertientes de Yahuartoa, sector Santa Barbara, mediante análisis físico-químicos y microbiológicos, dando como resultado valores elevados en parámetros como: Arsénico con un valor de 1.25 ug/L, Color con un valor de 74.66 U Pt-Co, DQO con un valor de 10.50 mg/L, Turbidez con un valor de 12.38 NTU y Coliformes Fecales con un valor de 9.93 nmp/100mL, mismos que se encuentran fuera de los límites para agua de abastecimiento estipulados en la Tabla 1 del TULSMA y norma INEN 1108.
- Las condiciones preliminares de diseño permitieron analizar la situación actual y proyectar los datos a un perdido de 23 años, estipulado para la implementación del proyecto. Dentro de las condiciones que se consideró para el dimensionamiento del tren de tratamiento fueron: los valores del análisis físico-químico actualizado del agua a tratar, la población de diseño de 3957 habitantes, la dotación de 83 (L/hab\*día) y el caudal de diseño de 6.5 L/s.
- El sistema de tratamiento de agua potable para la parroquia La Victoria está conformado por las siguientes unidades de tratamiento: un canal con un ancho de 0,15 m y una altura de 0,5 m; un aforador Parshall con ancho de garganta de 0.152 m; un flocular hidráulico compuesto por 32 deflectores y una profundidad de 1.20 m; un sedimentador de alta tasa compuesta por laminas planas, una profundidad 3.5 m y largo de 5.5; un filtro lento de arena con un ancho de 5.5 m y un largo de 11 m y finalmente un tanque cilíndrico de contacto para desinfección con una altura de 2m y un diámetro de 4.4m. Cada una de estas medidas fueron aplicadas en el dimensionamiento en 2D del sistema de tratamiento, cumpliendo de esta manera con los límites establecidos por la normativa vigente, donde se pretende reducir la carga contaminante existente en el agua.
- El tratamiento del agua para el consumo humano es de suma importancia, debido a que el nivel de calidad del recurso influye directamente en aspectos como acceso al agua potable, salud y desarrollo local. Por ello, se denota la importancia de la implementación de un tren de tratamiento adecuado para obtener agua de calidad para consumo humano, lo que permitirá reducir directamente el índice de enfermedades, siendo el principal problema en

la zona. Al cumplir con los parámetros establecidos en la norma para consumo INEN 1108, permite asegurar el derecho al acceso del agua y el consumo de agua adecuada en términos de calidad y cantidad. Lo cual permitirá cubrir las necesidades básicas de la población, además de asegurar su desarrollo y mejorar la calidad de vida de la población.

## **RECOMENDACIONES**

- Definir el caudal límite de las fuentes de abastecimiento, las cuales son proyectadas al periodo de diseño, con finalidad de evitar escases del recurso en la zona de estudio.
- Realizar una buena caracterización del agua durante la proyección e implementación de plantas de tratamiento de agua potable, donde se debe considerar las estaciones tanto secas como lluviosas para obtener datos reales de las condiciones del agua.
- Para la implementación de plantas de tratamiento es indispensable considerar un periodo de diseño mayor a 20 años, donde se considere el crecimiento poblacional y la demanda existente.

## BIBLIOGRAFÍA

**ACEBO, Dayana; et al.** “Los métodos Turbidimétricos y sus aplicaciones en las ciencias de la vida”. *Revista CENIC*, vol. 44, N°1 (2013), (Cuba). Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1812/181226886003.pdf>.

**ALARCÓN, Teresa; et al.** *Arsénico en Agua* [En línea]. México: Centro de Investigación en Materiales Avanzados, 2013. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/1056/1/Libro%202013-Arsenico%20en%20el%20Agua%20con%20ISBN.pdf>.

**ALVARADO, Erick.** *Manual de Medición de Caudales* [En línea]. 2017. p.4. [Consulta: 18 junio 2021]. Disponible en: <https://icc.org.gt/wp-content/uploads/2018/02/Manual-de-medici%C3%B3n-de-caudales-ICC.pdf>.

**ARBOLEDA VALENCIA, Jorge.** *Teoría y práctica de la purificación del agua* (Filtración). 3ª ed. Tomo 2. Londres: McGRAW-HILL,2000, pp. 557-700.

**ARBOLEDA VALENCIA, Jorge.** *Teoría y práctica de la purificación del agua*. 3ª ed. Tomo 1. Londres: McGRAW-HILL,2000, pp. 100-134.

**BARRETO, Patricia.** *Instructivo de medición de caudal* [En línea]. [Consulta: 18 junio 2021]. Disponible en: [https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user\\_upload/p\\_biorem/education/research/protocols/INST\\_RUCTUVO\\_DE\\_MEDICI%C3%93N\\_DE\\_CAUDAL.pdf](https://biorem.univie.ac.at/fileadmin/user_upload/p_biorem/education/research/protocols/INST_RUCTUVO_DE_MEDICI%C3%93N_DE_CAUDAL.pdf).

**BERMEO, Martha Mirella.** *Tratamiento de aguas residuales: Técnicas convencionales* [En línea]. 2ª ed. Guayaquil: 2016. pp. 60-85. [Consulta: 20 junio 2021].

**CELEC.** *PDyOT Cotopaxi.* 2021. Disponible en: <https://www.celec.gob.ec/transelectric/images/stories/noticias/2021WEB/Tanicuhiweb/d/c/ANEXO/SOCIAL/PDOTs/Provincia%20Cotopaxi/PD%20Y%20OT%20COTOPAXI%202021.PDF>.

**CO 10.07-601.** *Normas para estudio y diseño de sistemas de agua potable y disposición de aguas residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes.* 1992.

**CO 10.7-602.** *Norma de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable, disposición de excretas y residuos líquidos en el área rural.*

*Constitución de la República del Ecuador.* 2008. pp. 13-95. Disponible en: <https://educacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/08/Constitucion.pdf>.

**CONAGUA.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* pp. 12-17. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro23.pdf>

**CONAGUA.** *Manual de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento.* p. 52. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <https://files.conagua.gob.mx/conagua/mapas/SGAPDS-1-15-Libro3.pdf>

**CONSULTORAR&V.** *PDOT GAD Parroquial La Victoria* [En línea]. 2015. pp. 3-9. Disponible en: [http://lavictoria.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2017/01/PDOT\\_GAD-PARROQUIAL-LA-VICTORIA.pdf](http://lavictoria.gob.ec/cotopaxi/wp-content/uploads/2017/01/PDOT_GAD-PARROQUIAL-LA-VICTORIA.pdf).

**CHOW.** *Hidráulica de canales abiertos.* Inglaterra: McGRAW-HILL, 1994, pp. 20-23.

**ENCICLOPEDIA AMBIENTAL.** *Determinación de la materia orgánica.* 2021. Disponible en: [https://www.ambientum.com/enciclopedia\\_medioambiental/aguas/determinacion\\_materia\\_organica.asp#:~:text=La%20Demanda%20Qu%C3%ADmica%20de%20Ox%C3%ADgeno,intervenci%C3%B3n%20de%20los%20organismos%20vivos.&text=Establece%20como%20valor%20m%C3%A1ximo%20orientador,O2%20por%20litro%20de%20agua](https://www.ambientum.com/enciclopedia_medioambiental/aguas/determinacion_materia_organica.asp#:~:text=La%20Demanda%20Qu%C3%ADmica%20de%20Ox%C3%ADgeno,intervenci%C3%B3n%20de%20los%20organismos%20vivos.&text=Establece%20como%20valor%20m%C3%A1ximo%20orientador,O2%20por%20litro%20de%20agua).

**EPM.** *Preguntas frecuentes sobre la calidad del agua.* pp.3-4. [Consulta: 27 junio 2021]. Disponible en: <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>

**FERNÁNDEZ, G; & TUSO, W.** Diseño de una planta de tratamiento de agua potable para la población de Mulaló, provincia de Cotopaxi (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana. 2020. pp. 7-107. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19175/1/UPS%20-%20TTS116.pdf>

**FIKRAT, H; & ANSAM, M.** *Evaluate the Efficiency of Drinking Water Treatment Plants in Baghdad City* [En línea]. 2018. [Consulta: 3 junio 2021]. Disponible en: <http://pubs.sciepub.com/jaem/6/1/1/index.html>

**GADPLV.** *Situación Geográfica.* 2019. Disponible en: <https://lavictoria.gob.ec/cotopaxi/situacion-geografica/>.

**GALLARDO ARMIJOS, Jorge.** *Diseño de canales abiertos* [En línea]. 2018, pp. 13-42. [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: <https://www.3ciencias.com/wp-content/uploads/2018/09/DISE%C3%91O-CANALES-ABIERTOS.pdf>

**GARCÍA, Miriam.** *Los modelos de crecimiento* [En línea]. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: [https://lya.fciencias.unam.mx/gfgf/ode/ode\\_files/result5b.pdf](https://lya.fciencias.unam.mx/gfgf/ode/ode_files/result5b.pdf).

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto.** *Metodología de la Investigación* [En línea]. 6ª ed. México: McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, 2014. pp. 92-176. [Consulta: 2 Julio 2021]. Disponible en: <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

**IMEFEN.** *Canales revestidos.* (p.25). [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/FSL/08\\_Disen%C3%B3\\_Canales.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/08_Disen%C3%B3_Canales.pdf)

**INDUANÁLISIS.** *Aguas subterráneas y superficial* [En línea]. 2019. [Consulta: 4 Junio 2021]. Disponible en: [https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua\\_subterranas\\_y\\_superficial\\_29](https://www.induanalisis.com/publicacion/detalle/agua_subterranas_y_superficial_29).

**INEC.** *¿Cómo crecerá la población en Ecuador?* [En línea]. [Consulta: 13 Junio 2021]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion\\_y\\_Demografia/Proyecciones\\_Poblacionales/presentacion.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Poblacion_y_Demografia/Proyecciones_Poblacionales/presentacion.pdf).

**INEC.** *Agua, saneamiento e higiene: Medición de los ODS en Ecuador* [En línea]. 2018. pp. 21-24. [Consulta: 1 Junio 2021]. Disponible en: [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,\\_SANEAMIENTO\\_e\\_HIGIENE.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/AGUA,_SANEAMIENTO_e_HIGIENE.pdf)

**LOZANO, Gabriel.** *Diseño de planta de tratamiento de agua potable.* 2016. pp. 9-72. [Consulta: 24 enero 2022]. Disponible en: [https://issuu.com/diegoandreschalacan/docs/taller\\_de\\_dise%C3%B1o\\_de\\_tratamiento\\_de\\_agua\\_potable](https://issuu.com/diegoandreschalacan/docs/taller_de_dise%C3%B1o_de_tratamiento_de_agua_potable)

**MAE.** *Estrategia Nacional de Calidad del Agua* [En línea]. Septiembre de 2016. pp. 12-14. Disponible en: [https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua\\_2016-2030.pdf](https://www.controlsanitario.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/05/Estrategia-Nacional-de-Calidad-del-Agua_2016-2030.pdf).

**MONTENEGRO BENALCÁZAR, Verónica.** Rediseño de la planta potabilizadora de agua para consumo humano en el terminal de productos limpios (ep-petroecuador), cantón Riobamba, provincia de Chimborazo [En línea] (Trabajo de titulación). ESPOCH, Facultad de Ciencias. Riobamba-Ecuador. 2017. pp. 7-20. [Consulta: 4 Junio 2021]. Disponible en: <http://dspace.espoch.edu.ec/bitstream/123456789/6629/1/236T0260.PDF>.

**MSP.** *Guía de Agua Segura.* 2019. pp. 14-28. [Consulta: 19 enero 2022]. Disponible en: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/12/Guia-Agua-Segura.pdf>

**MUÑOZ, Amílcar.** Caracterización y Tratamiento de Aguas Residuales (Trabajo de titulación). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. 2008. [Consulta: 14 Junio 2021]. Disponible en: <http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/bibliotecadigital/bitstream/handle/231104/514/Caracterizacion%20y%20tratamiento%20de%20aguas%20residuales.pdf;jsessionid=A466453BE4BDB1B062998EBD84796942?sequence=1>.

**NTE INEN 1108.** *Agua Potable. Requisitos.* Sexta: 2020. Disponible en: <https://studylib.net/doc/25540804/agua-potable-n-inen-1108-6-marzo-2020>.

**INEN 2169.** *Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras.* Primera: 2013. pp. 3-6. Disponible en: <https://www.trabajo.gob.ec/wp-content/uploads/2012/10/NTE-INEN-2169-AGUA.-CALIDAD-DEL-AGUA.-MUESTREO.-MANEJO-Y-CONSERVACION-DE-MUESTRAS.pdf?x42051#:~:text=1.1%20Esta%20norma%20establece%20las,biol%C3%B3gicos%20pero%20no%20an%C3%A1lisis%20microbiol%C3>

**OCHOA VELOZ, Pablo.** Relaciones espaciales entre la actividad alfarera y afecciones neurológicas en la parroquia La Victoria – Pujilí [En línea] (Trabajo de titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ciencias Humanas, Escuela de Ciencias Geográficas. Ecuador. 2017. p. 13 [Citado el: 22 de Agosto de 2021.] <http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14057/Relaci%C3%B3n%20espacial%20entre%20la%20actividad%20alfarera%20y%20afecciones%20neurol%C3%B3gicas%20en%20la%20parroquia%20La%20Victor.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

**OMS.** *Guías para la calidad del agua de consumo humano* [En línea]. 4ª ed. Ginebra, 2018. pp. 5-343. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/272403/9789243549958-spa.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

**OMS.** *Agua* [En línea]. 2019. [Consulta: 18 enero 2022]. Disponible en: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water#:~:text=El%20agua%20contaminada%20puede%20transmitir,muertes%20por%20diarrea%20al%20a%C3%B1o.>

**ONU.** *Agua* [En línea]. 2020. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.un.org/es/global-issues/water>

**OPS.** *Guía para el diseño de desarenadores y sedimentadores.* Lima-Perú. 2005. pp. 4-27. [Consulta: 19 enero 2022]. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/OPS%202005b.%20Gu%C3%ADa%20desarenadores%20y%20sedimentadores.pdf)

**OPS.** *Situación del marco para la seguridad del agua de consumo humano en américa latina y el caribe.* Washington, D.C. 2021. [Consulta: 1 junio 2021].

**PNUD.** *El agua devuelve la alegría a comunidades en Ecuador* [En línea]. 2021. [Consulta: 1 Junio 2021]. Disponible en: <https://www.ec.undp.org/content/ecuador/es/home/ourwork/democraticgovernance/successstories/el-agua-devuelve-la-alegria-a-comunidades-en-ecuador-.html>

**POZO, Mónica; & VITERI, Juan.** *INEC: Módulo de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH), (ENEMDU)* [En línea]. Ecuador, 2019. [Consulta: 31 mayo 2021]. Disponible en: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/EMPLEO/2019/Indicadores%20ODS%20Agua%2C%20Saneamiento%20e%20Higiene-2019/6.%20Documento%20metodologico%20de%20la%20operacion%20estadistica.pdf>

**PROAGUAII.** *Manual para la cloración del agua en sistemas de abastecimiento de agua potable en el ámbito rural* .2017. p. 29. [Consulta: 27 enero 2022]. Disponible en: [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/GIZ%202017.%20Manual%20para%20la%20cloraci%C3%B3n%20del%20agua%20en%20sistemas%20de%20abastecimiento%20de%20agua%20potable.pdf)

**PROGRAMA WASH ECUADOR.** 2019. [Consulta: 1 junio 2021]. Disponible en: [https://www.unicef.org/ecuador/media/3736/file/Ecuador\\_2019-2022\\_WASH\\_Strategy\\_Note.pdf.pdf](https://www.unicef.org/ecuador/media/3736/file/Ecuador_2019-2022_WASH_Strategy_Note.pdf.pdf)

**RAS.** *Reglamento técnico del sector de agua potable y saneamiento básico.* 2000. pp. 12-113. Disponible en: [https://procurement-notices.undp.org/view\\_file.cfm?doc\\_id=16483](https://procurement-notices.undp.org/view_file.cfm?doc_id=16483)

**RIPDA.** *Indicadores de contaminación fecal en agua.* pp. 225-226. Disponible en: [http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo\\_20.pdf](http://tierra.rediris.es/hidrored/ebooks/ripda/pdfs/Capitulo_20.pdf)

**ROJAS, J.** *Potabilización del agua* [En línea]. 3ª ed. México: Alfaomega, 1999. pp.15-170. [Consulta: 1 junio 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/43327791/Romero\\_Rojas\\_Jairo\\_Alberto\\_Potabilizaci%C3%B3n\\_De\\_l\\_Agua](https://www.academia.edu/43327791/Romero_Rojas_Jairo_Alberto_Potabilizaci%C3%B3n_De_l_Agua).

**ROJAS, J.** *Calidad del agua.* 2ª ed. México: Alfaomega, 1999.

**SDA.** *Recurso hídrico subterráneo.* [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <http://ambientebogota.gov.co/aguas-subterranas>

**SENPLADES.** *Propuesta Metodológica de Proyecciones de Población 2010–2020 a nivel de distritos y circuitos.* 2013. [Consulta: 13 junio 2021]. Disponible en: [https://sni.gob.ec/documents/10180/3344570/3+Propuesta\\_metodologica\\_poblacion\\_2010-2020\\_distritoscircuitos.pdf/c1f2c1e2-ab28-4f8f-8a75-71f72702c90b](https://sni.gob.ec/documents/10180/3344570/3+Propuesta_metodologica_poblacion_2010-2020_distritoscircuitos.pdf/c1f2c1e2-ab28-4f8f-8a75-71f72702c90b)

**TORRES, Laura.** “Physicochemical and microbiological characterization of wastewater from coffee processing”. *ION*, (2019), (Colombia) p.61. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/rion/v32n2/2145-8480-rion-32-02-59.pdf>

**TULSMA.** *Libro VI. Anexo I: Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua.* 2015. pp. 286-300. Disponible en: <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>

**UNESCO.** Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos. 2019. pp. 2-50 [Consulta: 7 junio 2021]. Disponible en: <https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf>

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.** *Canales revestidos* [En línea]. [Consulta: 28 enero 2021]. Disponible en: [http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas\\_interes/FSL/08\\_Disen%C3%B3\\_Canales.pdf](http://www.imefen.uni.edu.pe/Temas_interes/FSL/08_Disen%C3%B3_Canales.pdf)

**VARGAS, Lidia.** *Procesos unitarios y plantas de tratamiento.* p. 114. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en: <http://www.ingenieroambiental.com/4014/tres.pdf>

**VARGAS, Lidia.** *Floculación*. pp. 290-292. [Consulta: 20 enero 2022]. Disponible en:  
<http://www.ingenieroambiental.com/4014/seis.pdf>

## ANEXOS

### ANEXO A: LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA AGUAS DE CONSUMO HUMANO Y USO DOMÉSTICO

<i>TULSMA, Libro VI. Anexo I</i>			
PARÁMETRO	Expresado Como	UNIDAD	Límite máximo permitido
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/L	0,3
Arsénico	As	mg/L	0,1
Bario	Ba	mg/L	1
Cianuro (total)	CN-	mg/L	0,1
Cobre	Cu	mg/L	2
Color	color real	Unidades de color	75
Coliformes Totales	NMP	nmp/100 mL	1000
Cloruros	Cl-	mg/L	250
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/L	0,05
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/l	<4
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO5	mg/L	<2
Fluoruros	F	mg/L	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/L	1
Nitratos	N-Nitrato	mg/L	50,0
Nitritos	N-Nitrito	mg/L	0,2
Olor			Ausencia
Sabor			Ausencia
Potencial de Hidrógeno	pH		6-9
Sulfatos	SO4 =	mg/L	500
Sólidos disueltos totales		mg/L	500
Turbiedad		UTN	100

**ANEXO B: REQUISITOS FÍSICOS Y QUÍMICOS DEL AGUA PARA CONSUMO HUMANO INEN 1108:2020**

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>Límite máximo permitido</b>
<b>Características físicas</b>		
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor		No objetable
Sabor		No objetable
<b>Inorgánicos</b>		
Arsénico	mg/L	0,01
Bario, Ba	mg/L	0,7
Boro, B	mg/L	0,5
Cadmio, Cd	mg/L	0,003
Cianuros, CN-	mg/L	0,07
Cloro libre residual*	mg/L	0,3 a 1,5 <sup>1)</sup> )
Cobre, Cu	mg/L	2
Cromo, Cr (cromo total)	mg/L	0,05
Fluoruros	mg/L	1,5
Níquel, Ni	mg/L	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/L	50
Nitritos, NO <sub>2</sub> -	mg/L	0,2
Plomo, Pb	mg/L	0,01
Radiación total α *	Bq/L	0,5
Radiación total β **	Bq/L	1
Selenio, Se	mg/L	0,04
<b>Microbiológicas</b>		
Coliformes fecales	Número/100 mL	ausencia



**ANEXO D: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2021 (MUESTRA 1)**



	<b>INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS</b> 17825-80-CC-21-03	Laboratorio de Análisis acreditado por el SAE Administración N° SAE 148 14-03-2017		
<b>Laboratorio de Control de Calidad</b>				
<b>DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE</b>		<b>DATOS GENERALES</b>		
CLIENTE: JUNTA ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO DE VICTORIA DIRECCIÓN: C/OTRERA PLAZA CALERA AGUA POTABLE DIRECCIÓN DE CONTACTO: CALERA SANEAMIENTO OTRERA CALERA PROYECTO DE LA OBRA: OTRERA LOCALIZACIÓN DE TAMA DE MUESTRA: PUERTO LA VICTORIA TIPO Y FORMA DE TAMA DE MUESTRA: CANTO DE AGUA TIPO Y FORMA DE TAMA DE MUESTRA: CANTO DE AGUA TIPO DE TAMA DE MUESTRA (Preservación): Filtro TIPO DE MUESTRA (ANÁLISIS): AGUA DE CONSUMO METODOLOGÍA DE TAMA DE MUESTRA: MUESTRO SANEADO	NOMBRE DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: 21-03-08 FECHA Y HORA DE TOMA DE LA MUESTRA: 2021-03-08 08:00 AM FECHA DE ENVÍO DE ANÁLISIS: 2021-03-08 FECHA DE RECEPCIÓN DE ANÁLISIS: 2021-03-11 FECHA DE EMISIÓN DE RESULTADOS: 2021-03-14 LABORATORIO OPERATIVO:	Responsables: Responsable (QA): [Firma]		
<b>ANÁLISIS REALIZADOS</b>				
PARÁMETRO	UNIDAD	MÉTODO ESTÁNDAR	Norma de referencia NBR 1198:2009 - AGUA PARA CONSUMO DOMÉSTICO - Requisitos **	RESULTADO
CONDUCIVIDAD	µS/cm	Método 2550B	12	13
CONDUCIVIDAD RELATIVA	-	-	10	0,9
TEMPERATURA	°C	Temperatura ambiente	10	10
PH	-	PH 211 B	6,5 - 8,5	6,5
OPACIDAD	NTU	Temperatura ambiente	5	0,0
PARÁMETRO A CONTROLAR	LÍMITE DE ACEPTACIÓN	MÉTODOS DE REFERENCIA	MÉTODO DE RESULTADO	
CONDUCIVIDAD	12 µS/cm	2550B	2550B	
PH	6,5 - 8,5	211 B	211 B	
OPACIDAD	5 NTU	211 B	211 B	

**ANEXO E: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2021 (MUESTRA 2)**



**INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS**

17025-RG-CC-71-10



Laboratorio de ensayo  
acreditado por el SAE  
Acreditación N° SAE LEN 74-001-01  
EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO DE AMBATO

---

**LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD**

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES	
CLIENTE: JUNTA ADMINISTRADORA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO LA VICTORIA DIRECCIÓN: COTOPAXI/PUJILI/LA VICTORIA/PRINCIPAL S/N PERSONA DE CONTACTO: ESPINOSA PADILLA OSCAR BENIGNO TELÉFONO DE CONTACTO: 099617298 PROCEDENCIA DE LA MUESTRA: PLANTA AGUA POTABLE LA VICTORIA LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA: ENTRADA FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA: 2021-12-08: 06h30min TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Puntual/compuesta) PUNTUAL TIPO DE MUESTRA (MATRIZ): AGUA NATURAL RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA: RODRIGO SUÑTASIG	CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA: 21121438 FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO: 2021-12-08: 07h27min FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 2021-12-08 FECHA DE FIN DE ANÁLISIS: 2021-12-09 FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME: 2021-12-13 CONDICIONES AMBIENTALES: Humedad (%): 40 Temperatura (°C): 20.0		

---

**ANÁLISIS REALIZADOS**

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 1. CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO. TULSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015)**	RESULTADOS
ALCALINIDAD	mg/L	Standard Methods-2320B	-	139,08
ARSENICO *	µg/L	HACH 2800000	100	0
CLORURO*	mg/L	HACH 8113	-	0,3
GOLIFORMES FECALES *	nmp/100mL	Standard Methods-9221-C	1.000	24
COLOR REAL	U Pt-Co	HACH 8025	75	29
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) *	mg/L	HACH 8000	<4	14
DUREZA TOTAL	mg/L	Standard Methods-2340C	-	102,97
HIERRO *	mg/L	HACH-8008	1.0	0,53
pH	U pH	Standard Methods-4500H+B	6 - 9	6,31
SULFATOS *	mg/L	HACH-8051	500	<b>NO DETECTADO</b> Límite de detección del método: 2 mg/L
TURBIDEZ	NTU	Standard Methods-2130-B	100,0	4,24

\* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.  
 \*\* Los límites permisibles de la Norma de referencia descrita en el presente Informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Alcalinidad	(49 a 2000) mg/L	5%	17025-PR-CC-36-XX; Método de referencia: Standard Methods, Ed. 23, 2017 2320 B
Color Real	(5 a 500) U Pt-Co	25%	17025-PR-CC-30-XX; Método de referencia: HACH 8025
Dureza Total	(50 a 1500) mg/L	4%	17025-PR-CC-39-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23, 2017 2340 C
pH	(4,32 a 12,31) UpH	2%	17025-PR-CC-20-XX; Método de referencia: Standard Methods Ed. 23, 2017 4500 H+B
Turbidez	(0,32 a 106) NTU	14%	17025-PR-CC-21-XX; Método de referencia: Standard Methods, Ed. 23, 2017 2130 B

**NOTA:** ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO. EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE. POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GAR 04) NO SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.

OBSERVACIONES: Ninguna

ANEXO F: CARACTERIZACIÓN DEL AGUA AÑO 2022 (MUESTRA 3)

	<b>INFORME DE RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS</b>	Laboratorio de ensayo acreditado por el SAE con Acreditación N° SAE IEN 14-001
	17025-RG-CC-71-10	

LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE		DATOS GENERALES	
<b>CLIENTE:</b>	ZONA ADMINISTRATIVA DE AGUA POTABLE Y SANEAMIENTO LA VICTORIA	<b>CÓDIGO DE IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA:</b>	22010065
<b>DIRECCIÓN:</b>	COROPAJE, PUEBLO LA VICTORIA	<b>FECHA Y HORA DE LLEGADA AL LABORATORIO:</b>	2022-01-13; 10:00am
<b>PERSONA DE CONTACTO:</b>	DIANA LOSSETH YASCO VELAMAREN	<b>FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS:</b>	2022-01-13
<b>TÉLEFONO DE CONTACTO:</b>	099158945	<b>FECHA DE FIN DE ANÁLISIS:</b>	2022-01-14
<b>PROVENIENCIA DE LA MUESTRA:</b>	PLANTA DE AGUA POTABLE LA VICTORIA	<b>FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:</b>	2022-01-18
<b>LUGAR DONDE SE TOMÓ LA MUESTRA:</b>	ENFERA, A	<b>CONDICIONES AMBIENTALES:</b>	Humedad (H): 33 Temperatura (T): 22.8
<b>FECHA Y HORA DE TOMA DE MUESTRA:</b>	2022-01-13; 08:20am		
<b>TIPO DE TOMA DE MUESTRA: (Punto/campo)</b>	PUNTO A		
<b>TIPO DE MUESTRA (MATERIA):</b>	AGUA NATURAL		
<b>RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:</b>	DIANA LOSSETH YASCO VELAMAREN		

ANÁLISIS REALIZADOS

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO UTILIZADO	Norma de referencia: TABLA 1. CRITERIOS DE CALIDAD DE FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMÉSTICO. TUSMA. LIBRO VI. ANEXO 1 (2015) **	Norma de referencia: NORMA IEN 1108-2020. AGUA PARA CONSUMO HUMANO. REQUISITOS **	RESULTADOS
ALCALINIDAD	mg/L	Standard Method-2320B	-	-	148,10
COLORES RECALC *	nmp/100mL	Standard Method-9221-C	1 000	-	< 1,8
COLOUR REAL	U Pt-Co	HACH 8025	75	-	13
DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO (DQO) *	mg/L	HACH 8000	< 4	-	7
FLUORURO *	mg/L	HACH-8029	1,5	1,5	0,12
FERRO *	mg/L	HACH-8008	1,0	-	0,86
SÓLIDOS TOTALES DISUELTOS	mg/L	Standard Method-2540-C	-	-	194
SURBIDO	NTU	Standard Method-2130-B	100,0	5	7,70

\* Ensayos fuera del alcance de acreditación del SAE.

\*\* Los límites permisionales de la Norma de referencia descrita en el presente informe están fuera del alcance de acreditación del SAE.

PARÁMETRO ACREDITADO	RANGO DE ACREDITACIÓN	INCERTIDUMBRE EXPANDIDA DEL MÉTODO	MÉTODO DE ENSAYO UTILIZADO
Alcalinidad	(10 a 200) mg/L	5%	17025-PR-CC-36-XX; Método de referencia: Standard Method1. Ed. 23. 2017 2020 B
Color Real	(5 a 300) U Pt-Co	20%	17025-PR-CC-30-XX; Método de referencia: HACH 8025
Sólidos Totales Disueltos	(75 a 400) mg/L	8%	17025-PR-CC-25-XX; Método de referencia: Standard Method 2540 C. Ed. 23. 2017
Surbido	(0,30 a 10) NTU	14%	17025-PR-CC-21-XX; Método de referencia: Standard Method1. Ed. 23. 2017 2020 B

**NOTA:** ESTE INFORME SOLO AFECTA A LA MUESTRA QUE SE HA SOMETIDO A ENSAYO, EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD DE LA EP-EMAPA-A NO SE RESPONSABILIZA DEL ORIGEN DE LA MUESTRA, TRANSPORTACIÓN DE LA MISMA Y VERACIDAD DE LOS DATOS DADOS POR EL CLIENTE, POR LO TANTO LOS RESULTADOS SE APLICAN A LA MUESTRA COMO SE RECIBIÓ. NO SE PERMITE A LOS USUARIOS EL USO DEL LOGOTIPO DEL SAE NI DE LA CONDICIÓN DE ACREDITADO (CR GAR 04) NI SE DEBE REPRODUCIR EL INFORME DE ENSAYO, EXCEPTO EN SU TOTALIDAD, SIN LA APROBACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO.

OBSERVACIONES: NINGUNA

PROFESIONALES RESPONSABLES:



 PUEBLO ADMINISTRATIVO 2021  
**LORENA CAROLINA VARGAS VELASTROG**  
 Ing. Lorena Vargas V.  
**ANALISTA DE LABORATORIO**



 PUEBLO ADMINISTRATIVO 2021  
**JACQUELINE DEL ROCÍO AVILA JACOME**  
 Ing. Jacqueline Avila J.  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

**ANEXO G: ETAPA EXPERIMENTAL**

		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Toma de caudal en P1          B. Toma del caudal P1          C. Muestra 1</p>	<p><b>ESPOCH</b></p> <p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b>  <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

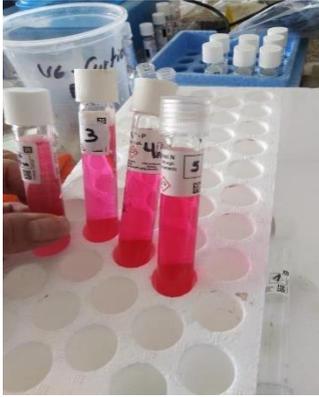
		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Muestra 2          B. Conservación de la muestra</p>	<p><b>ESPOCH</b></p> <p><b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b>  <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

**ANEXO H: ANÁLISIS DE TRATABILIDAD POR COAGULACIÓN FLOCULACIÓN**

		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Peso de coagulante          B. Sistema de Jarras.          C. Adición de la solución de coagulante.</p>	<p><b>ESPOCH</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b>  <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Proceso de coagulación y floculación con <math>Al_2(SO_3)_4</math>.          B. Medición de pH.          C. Medición de la turbiedad.</p>	<p><b>ESPOCH</b>  <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b>  <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b>  <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

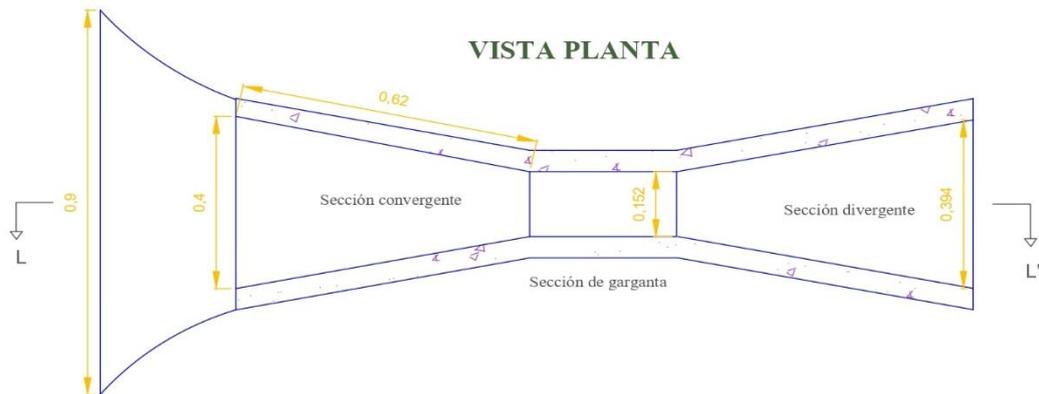
## ANEXO I: PRUEBA DE CLORACIÓN

		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Cloro líquido empleado en la prueba. B. Prueba 1 de cloración en diferentes muestras. C. Muestras después de 30 min de acción con el cloro.</p>	<p><b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b> <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

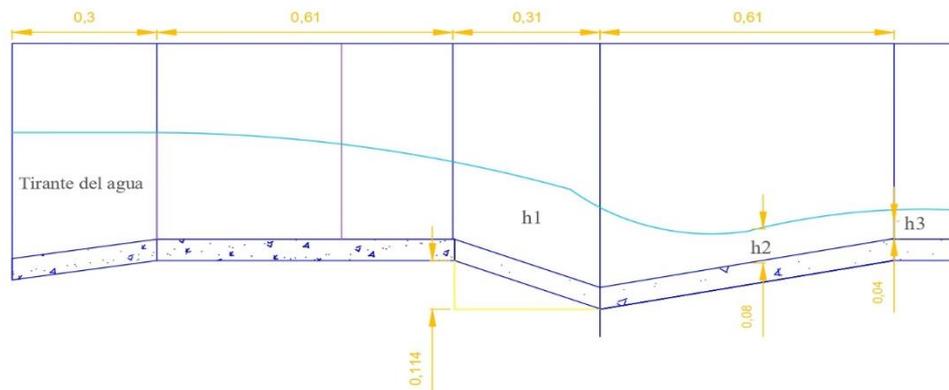
		
<p><b>NOTAS</b></p> <p>A. Prueba 2 de cloración en diferentes muestras. B. Medición de cloro residual mediante el equipo espectrofotómetro HACH DR 2800.</p>	<p><b>ESPOCH</b> <b>FACULTAD DE CIENCIAS</b> <b>INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA</b> <b>AMBIENTAL</b></p> <p>DIANA VASCO</p>	<p>“DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA, CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI”</p>

## ANEXO J: PLANO CANAL PARSHALL

### PLANO CANAL PARSHALL



**VISTA: L - L'**



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
Facultad de Ciencias  
Ing. Biotecnología Ambiental



"DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA,  
CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI"

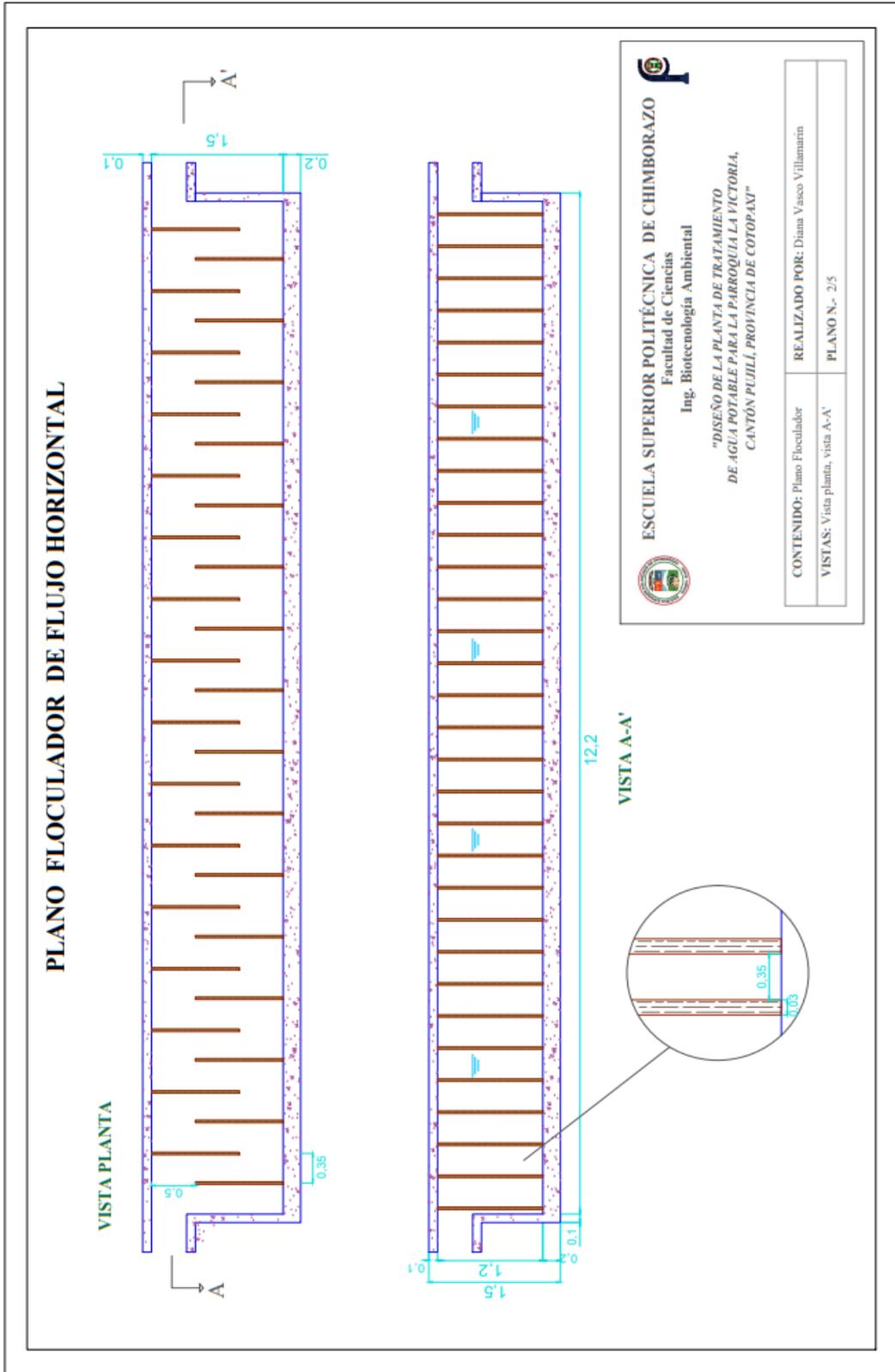
CONTENIDO: Plano canal Parshall

REALIZADO POR: Diana Vasco Villamarín

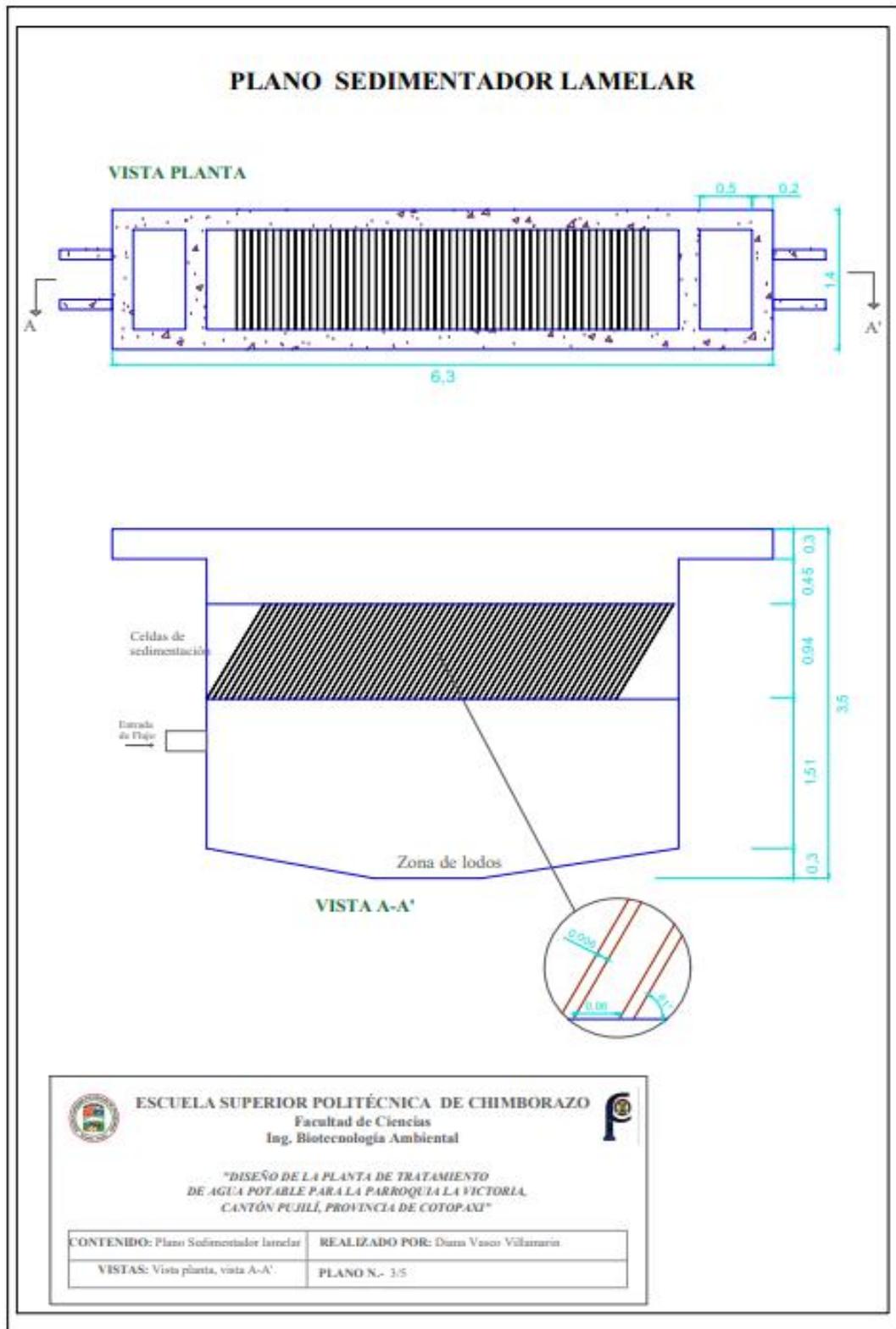
VISTAS: Vista planta, vista L-L'

PLANO N.- 1/5

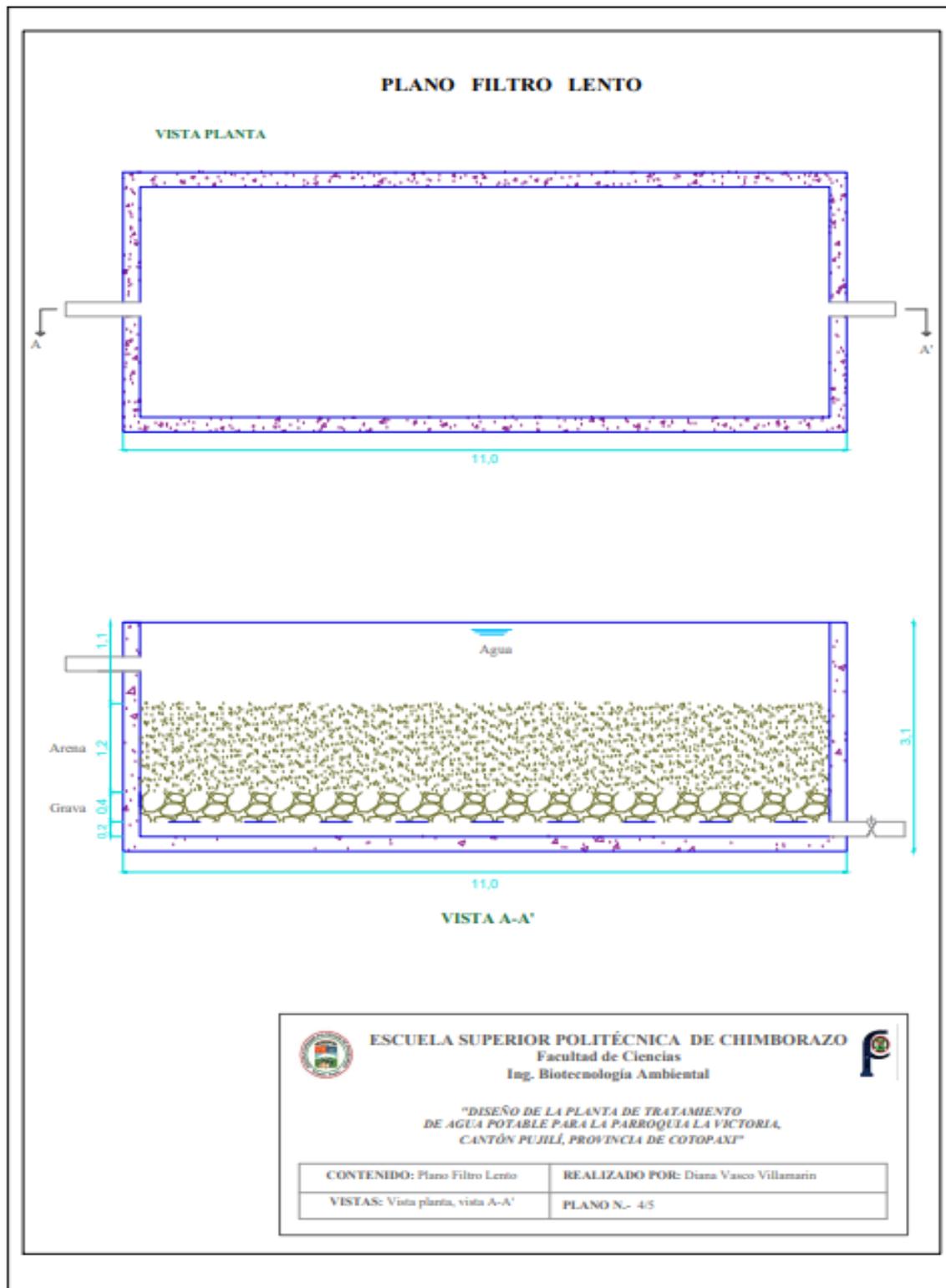
**ANEXO K: PLANO FLOCULADOR DE FLUJO HORIZONTAL**



## ANEXO L: PLANO SEDIMENTADOR

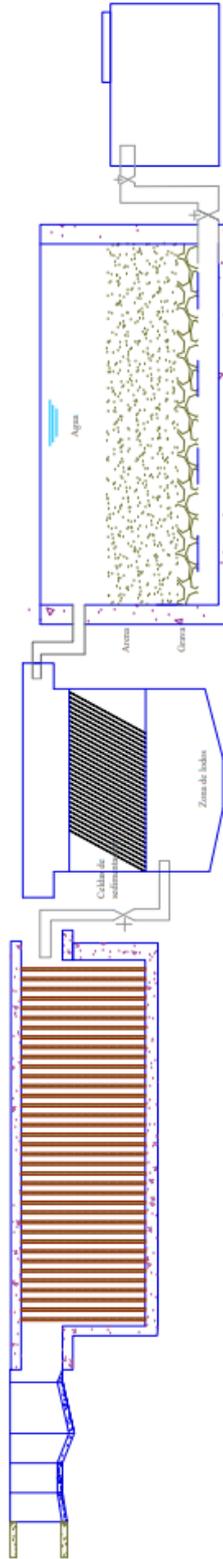


## ANEXO M: PLANO FILTRO



# ANEXO N: PLANO SISTEMA DE TRATAMIENTO

## PLANO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO



VISTA LONGITUDINAL



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
Facultad de Ciencias  
Ing. Biotecnología Ambiental

"DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA LA VICTORIA,  
CANTÓN PUJILÍ, PROVINCIA DE COTOPAXI"

CONTENIDO: Plano Sistema de tratamiento	REALIZADO POR: Diana Vasco Villamarín
VISTA: Vista longitudinal del sistema de tratamiento	PLANO N.- 5/5



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS  
BIBLIOGRÁFICO Y DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 14 / 04 / 2022

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> <i>Diana Lisseth Vasco Villamarin</i>
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> <i>Ciencias</i>
<b>Carrera:</b> <i>Ingeniería en Biotecnología Ambiental</i>
<b>Título a optar:</b> <i>Ingeniera en Biotecnología Ambiental</i>
<b>f. Analista de Biblioteca responsable:</b> <i>Ing. Leonardo Medina Ñuste MSc.</i>
<b>Código de Resumen:</b> <i>0676-DBRA-UTP-2022</i>

