



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE CIENCIAS QUÍMICAS**

**INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**“DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS  
RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN LUIS – PROVINCIA  
DE CHIMBORAZO”**

**TESIS DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:  
INGENIERÍA EN BIOTECNOLOGÍA AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ADRIANA ELIZABETH VALENCIA LÓPEZ**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2013**

## **AGRADECIMIENTO**

*Con inmenso cariño y gratitud a Dios y a mi madre Auxiliadora por iluminar mi vida con bendiciones.*

*A la vida por darme con experiencias lo que le he pedido cada día: humildad, respeto, sabiduría y paciencia.*

*Mi eterno agradecimiento a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias, Escuela de Ciencias Químicas, al Ing. Hanníbal Brito DIRECTOR DE TESIS, Dr. Gerardo León MIEMBRO DEL TRIBUNAL y maestros quienes han sido los artífices de mi formación profesional, pues con sus enseñanzas y orientación supieron encaminarme hacia el logro de mis objetivos.*

*A mis amigos por alentarme a seguir adelante siempre.*

**La Autora.**

## **DEDICATORIA**

*A mi madre Nelly López y a mi tía Rosa Mena.*

*De todo corazón gracias por el esfuerzo y empeño que pusieron para poder forjar mi vida estudiantil.*

***Adri Valencia L.***

“Yo, Adriana Elizabeth Valencia López, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en ésta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.”

---

**ADRIANA ELIZABETH VALENCIA LÓPEZ**

## HOJA DE FIRMAS

El Tribunal de Tesis certifica que: El Trabajo de Investigación “**DISEÑO DE UN SISTEMA DE TRATAMIENTO PARA LAS AGUAS RESIDUALES DE LA CABECERA PARROQUIAL DE SAN LUIS – PROVINCIA DE CHIMBORAZO**”, de responsabilidad de la señorita Adriana Elizabeth Valencia López, ha sido prolijamente revisado por los Miembros del Tribunal de Tesis, quedando autorizado su presentación.

<b>NOMBRE</b>	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
<b>Dr. Silvio Álvarez DECANO FAC. CIENCIAS</b>	_____	_____
<b>Dra. Nancy Veloz DIRECTORA DE ESCUELA</b>	_____	_____
<b>Ing. Hannibal Brito DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
<b>Dr. Gerardo León MIEMBRO DEL TRIBUNAL</b>	_____	_____
<b>Sr. Carlos Rodríguez DIRECTOR DEL CENTRO DE DOCUMENTACIÓN</b>	_____	_____
<b>NOTA DE LA TESIS</b>	_____	_____

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>A</b>	Area (m <sup>2</sup> )
<b>APHA</b>	American Public Health Association
<b>C.E.C</b>	Código Ecuatoriano de la Construcción
<b>CEPIS</b>	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente
<b>cm</b>	Centímetros
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de Carbono (mg/L)
<b>d</b>	Días
<b>D</b>	Dotación de Agua Potable (L/hab·día)
<b>DBO</b>	Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/L)
<b>DQO</b>	Demanda Química de Oxígeno (mg/L)
<b>e</b>	Número de Euler
<b>E</b>	Rendimiento (%)
<b>Ec.</b>	Ecuación
<b>EMAPAR</b>	Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Riobamba
<b>f</b>	Factor de Infiltración
<b>Fig.</b>	Figura
<b>g</b>	Gramos
<b>Graf.</b>	Gráfico
<b>h</b>	Horas
<b>H</b>	Altura (m)
<b>Ha</b>	Hectáreas
<b>Hab</b>	Habitantes
<b>IDF</b>	Intensidad – Duración - Frecuencia
<b>INEC</b>	Instituto Ecuatoriano de Censos
<b>INEN</b>	Instituto Ecuatoriano de Normalización
<b>Kg</b>	Kilogramos
<b>Km</b>	Kilómetros
<b>L</b>	Litros
<b>m</b>	Metros
<b>máx.</b>	Máxima

<b>mg</b>	Miligramos
<b>mL</b>	Mililitros
<b>mm</b>	Milímetros
<b>msnm</b>	Metros Sobre el Nivel del Mar
<b>OPS</b>	Organización Panamericana de la Salud
<b>P</b>	Población (hab)
<b>PAI</b>	Puesto de Auxilio Inmediato
<b>pH</b>	Potencial Hidrógeno
<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento para Aguas Residuales
<b>PVC</b>	Policloruro de Vinilo
<b>Q</b>	Caudal (L/m <sup>3</sup> )
<b>RAS</b>	Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico
<b>s</b>	Segundos
<b>SAC</b>	Sistema de Alcantarillado Combinado
<b>Se</b>	Concentración en el efluente (mg/L)
<b>SENPLADES</b>	Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo
<b>So</b>	Concentración en el afluente (mg/L)
<b>T</b>	Tiempo (s)
<b>TULAS</b>	Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario
<b>UFC</b>	Unidades Formadoras de Colonias
<b>UNT</b>	Unidades Nefelométricas Técnicas
<b>V</b>	Volumen (m <sup>3</sup> )
<b>w</b>	Ancho (m)

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>-Pp.-</b>
RESUMEN .....	i
ABSTRACT .....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
ANTECEDENTES .....	v
JUSTIFICACIÓN .....	vii
OBJETIVOS.....	ix

## CAPÍTULO I

	<b>-Pp.-</b>
1. MARCO TEÓRICO	
1.1 El Agua .....	1
1.1.1 El Agua Residual .....	2
1.1.2 Medición de Caudales .....	4
1.1.3 Muestreo de Aguas Residuales .....	5
1.2 Normativa Ambiental .....	8
1.2.1 Normas para Alcantarillado y Tratamiento de Aguas Residuales .....	8
1.2.2 Normas para Caracterización de Aguas Residuales .....	9
1.3 Tratamiento de Aguas Residuales .....	11
1.3.1 Operaciones Unitarias para el Tratamiento de Aguas Residuales .....	11
1.3.2 Métodos Naturales de Depuración de Aguas Residuales .....	13
1.3.3 Sistemas de Alcantarillado .....	15
1.3.3.1 Tipos de Sistemas de Alcantarillado .....	15
1.3.3.2 Diseño de un Sistema de Alcantarillado Combinado .....	16
1.3.4 Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales .....	29
1.3.4.1 Pretratamiento .....	29
1.3.4.2 Tratamiento Primario .....	35
1.3.4.3 Tratamiento Secundario .....	43
1.3.5 Rendimiento del Proceso de Depuración .....	51

## CAPÍTULO II

-Pp.-

2. PARTE EXPERIMENTAL	
2.1 Datos Experimentales .....	52
2.2 Metodología .....	55
2.1.1 Medición de Caudales .....	55
2.1.2 Muestreo de las Aguas Residuales .....	56
2.1.3 Caracterización de las Aguas Residuales .....	56
2.1.4 Diseño del Sistema de Alcantarillado .....	57
2.1.5 Diseño de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales .....	58
2.1.6 Elaboración de Planos .....	58
2.3 Materiales y Equipos .....	59
2.4 Datos Experimentales .....	60
2.4.1 Datos del Diagnóstico .....	60
2.4.2 Datos para el Dimensionamiento del Sistema de Alcantarillado Combinado .....	62
2.4.3 Datos para el Dimensionamiento de las Unidades Físicas de la Planta de Tratamiento .....	69

## CAPÍTULO III

-Pp.-

3. DISEÑO	
3.1 Cálculos .....	72
3.1.1 Ejemplo del cálculo del Volumen individual de las Muestras Puntuales .....	72
3.1.2 Ejemplo del Dimensionamiento del Sistema de Alcantarillado Combinado .....	72
3.1.3 Dimensionamiento de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales .....	79
3.2 Resultados .....	91
3.2.1 Resultados de la Medición de Caudales .....	91

3.2.2	Resultados de la Caracterización de Aguas Residuales .....	92
3.2.3	Resultados del Dimensionamiento del Sistema de Alcantarillado Combinado .....	92
3.2.4	Resultados del Caudal de Diseño .....	93
3.2.5	Resultados del Dimensionamiento de las Unidades Físicas de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales .....	93
3.3	Propuesta .....	99
3.3.1	Rendimiento del Proceso de Depuración.....	100
3.3.2	Verificación del Cumplimiento con la Normativa Ambiental .....	103
3.4	Análisis y Discusión de Resultados .....	104

#### **CAPÍTULO IV**

**-Pp.-**

4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
4.1	Conclusiones .....	109
4.2	Recomendaciones .....	110

#### **CAPÍTULO IV**

**-Pp.-**

5.	BIBLIOGRAFÍA .....	111
----	--------------------	-----

## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>-Pp.-</b>
• <b>Figura N° 1:</b> Elementos geométricos de un canal .....	30
• <b>Figura N° 2:</b> Diferentes formas de Rejillas .....	35
• <b>Figura N° 3:</b> Sedimentador Convencional .....	37
• <b>Figura N° 4:</b> Detalle de los orificios aboquillados .....	38
• <b>Figura N° 5:</b> Filtro Lento de Arena .....	45
• <b>Figura N° 6:</b> Mapa de la Parroquia San Luis.....	53
• <b>Figura N° 7:</b> Mapa de la Cabecera Parroquial de San Luis.....	53
• <b>Figura N° 8:</b> Canal de Llegada .....	94
• <b>Figura N° 9:</b> Rejilla.....	95
• <b>Figura N° 10:</b> Pantalla Perforada .....	95
• <b>Figura N° 11:</b> Sedimentador Convencional .....	96
• <b>Figura N° 12:</b> Filtro Lento Biológico de Arena.....	97
• <b>Figura N° 13:</b> Lecho de Secado.....	98
• <b>Figura N° 14:</b> Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesta .....	99

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>-Pp.-</b>
• <b>Gráfico N° 1:</b> Variación Diaria del Caudal .....	91

## ÍNDICE DE TABLAS

	-Pp.-
• <b>Tabla I:</b> Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce .....	10
• <b>Tabla II:</b> Operaciones Físicas Unitarias.....	11
• <b>Tabla III:</b> Procesos Químicos Unitarios .....	12
• <b>Tabla IV:</b> Procesos Biológicos Unitarios.....	13
• <b>Tabla V:</b> Coeficiente de Retorno para Aguas Residuales Domésticas .....	17
• <b>Tabla VI:</b> Valores del Coeficiente de Escurrimiento.....	23
• <b>Tabla VII:</b> Valores del Coeficiente de Escurrimiento para diferentes tipos de superficies .....	23
• <b>Tabla VIII:</b> Diámetro mínimo para tuberías.....	24
• <b>Tabla IX:</b> Velocidad Máxima y Coeficiente de Rugosidad permisibles según el tipo de material .....	28
• <b>Tabla X:</b> Clasificación de las Rejillas.....	32
• <b>Tabla XI:</b> Coeficiente de Pérdida para Rejillas .....	35
• <b>Tabla XII:</b> Tipos de clarificación del agua por Sedimentación .....	36
• <b>Tabla XIII:</b> Clasificación de los Tanques de Sedimentación .....	37
• <b>Tabla XIV:</b> Clasificación de los Filtros .....	44
• <b>Tabla XV:</b> Ventajas y desventajas de los Filtros Lentos de Arena.....	45
• <b>Tabla XVI:</b> Tiempo requerido para la digestión de lodos .....	50
• <b>Tabla XVII:</b> Técnicas de Análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos para aguas residuales .....	56
• <b>Tabla XVIII:</b> Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.....	62
• <b>Tabla XIX:</b> Valores de Ci para los Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado ...	63
• <b>Tabla XX:</b> Datos para el cálculo del Caudal Medio .....	66
• <b>Tabla XXI:</b> Datos para el cálculo del Caudal de Infiltración .....	66
• <b>Tabla XXII:</b> Infraestructuras de la Cabecera Parroquial de San Luis.....	67
• <b>Tabla XXIII:</b> Datos para el cálculo del Caudal por Conexiones Erradas .....	67
• <b>Tabla XXIV:</b> Datos para el cálculo de la Pendiente .....	67
• <b>Tabla XXV:</b> Datos para el diámetro de tubería .....	67
• <b>Tabla XXVI:</b> Datos para el cálculo de la velocidad en la tubería .....	68

• <b>Tabla XXVII:</b> Datos para el cálculo de la Tensión Tractiva .....	68
• <b>Tabla XXVIII:</b> Datos para profundidad de excavación .....	69
• <b>Tabla XXIX:</b> Datos para el cálculo del canal de llegada .....	69
• <b>Tabla XXX:</b> Datos para el cálculo de las rejillas .....	69
• <b>Tabla XXXI:</b> Datos para el cálculo de la zona de sedimentación .....	70
• <b>Tabla XXXII:</b> Datos para el cálculo de la zona de entrada .....	70
• <b>Tabla XXXIII:</b> Datos para el cálculo de la zona de lodos .....	71
• <b>Tabla XXXIV:</b> Datos para el cálculo de la zona de salida .....	71
• <b>Tabla XXXV:</b> Datos para el cálculo del filtro lento biológico de arena.....	71
• <b>Tabla XXXVI:</b> Datos para el cálculo del lecho de secado .....	71
• <b>Tabla XXXVII:</b> Cálculo del Volumen individual .....	72
• <b>Tabla XXXVIII:</b> Resultados de la Medición de Caudales .....	91
• <b>Tabla XXXIX:</b> Resultados de los Ensayos de Laboratorio.....	92
• <b>Tabla XL:</b> Resultados de los diferentes Caudales.....	93
• <b>Tabla XLI:</b> Dimensiones del Canal de Llegada .....	94
• <b>Tabla XLII:</b> Dimensiones de las Rejillas .....	94
• <b>Tabla XLIII:</b> Dimensiones de la Pantalla Difusora .....	95
• <b>Tabla XLIV:</b> Dimensiones del Tanque de Sedimentación.....	96
• <b>Tabla XLV:</b> Dimensiones del vertedero de salida del sedimentador.....	96
• <b>Tabla XLVI:</b> Dimensiones del Filtro Lento Biológico de Arena.....	97
• <b>Tabla XLVII:</b> Dimensiones del vertedero de entrada del filtro.....	97
• <b>Tabla XLVIII:</b> Dimensiones del Lecho de Secado .....	98
• <b>Tabla XLIX:</b> Parámetros fuera de los límites de la Normativa Ambiental.....	100
• <b>Tabla L:</b> Rendimiento del Pretratamiento.....	101
• <b>Tabla LI:</b> Rendimiento del Tratamiento Primario .....	101
• <b>Tabla LII:</b> Rendimiento del Tratamiento Secundario .....	102
• <b>Tabla LIII:</b> Eficiencia Total de la Planta de Tratamiento propuesta.....	103
• <b>Tabla LIV:</b> Verificación del Cumplimiento de la Normativa Ambiental .....	103

## ÍNDICE DE ANEXOS

	<b>-Pp.-</b>
• <b>ANEXO N°1:</b> Clasificación de las Aguas Residuales .....	118
• <b>ANEXO N°2:</b> Características Físicas de las Aguas Residuales .....	119
• <b>ANEXO N°3:</b> Características Químicas de las Aguas Residuales .....	120
• <b>ANEXO N°4:</b> Sistemas Acuáticos .....	122
• <b>ANEXO N°5:</b> Tratamientos mediante aplicación directa en el terreno .....	122
• <b>ANEXO N°6:</b> Resultados de la Medición del Caudal para cada día .....	123
• <b>ANEXO N°7:</b> Fotos .....	129
• <b>ANEXO N°8:</b> Tabla de Cálculo del Sistema de Alcantarillado Combinado .....	131
• <b>ANEXO N°9:</b> Resultados de los Análisis Físico – Químicos y Microbiológicos de las muestras de Agua Residual .....	132
• <b>ANEXO N°10:</b> Mapa Topográfico de la Red de Alcantarillado de la Cabecera Parroquial de San Luis .....	133
• <b>ANEXO N°11:</b> Planos de las Unidades de tratamiento de la PTAR .....	134
• <b>ANEXO N°12:</b> Estudio Ambiental .....	135

## RESUMEN

Se diseñó una Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis, provincia de Chimborazo, para lo cual, se inició con la medición de los caudales de la Descarga N°1 mediante el método de la experimentación utilizando guantes, flexómetro, balde plástico y cronómetro; y posteriormente la caracterización física, química y microbiológica de muestras de agua residual tomadas in situ a través del método del análisis, utilizando envases plásticos de 1L y frascos estériles de 150 mL.

Basándose en el método descriptivo se propuso una Planta de Tratamiento utilizando el programa EXCEL, el programa de diseño AUTO CAD y la aplicación CIVIL CAD.

Los resultados de la medición de caudales indican que no existe variación de caudal a lo largo del día siendo el valor promedio del caudal de 6,9 L/s para los seis días muestreados. Con ello se demostró que las redes de alcantarillado son caducas y que necesitan ser renovadas.

Los resultados de los análisis de laboratorio muestran que los parámetros que están fuera de los límites del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS) son: Coliformes Fecales  $8 \times 10^7$  UFC/100 mL, Aceites y Grasas 51,93 mg/L y Demanda Bioquímica de Oxígeno 169,33 mg/L.

Como conclusión se rediseñó una red de alcantarillado combinado y se diseñó una Planta de Tratamiento compuesta por tres etapas de tratamiento: dos tratamientos convencionales y un tratamiento natural de depuración; y con una eficiencia total promedio del 83% cumpliendo de manera efectiva con la normativa ambiental.

Se recomienda reutilizar el agua tratada como agua para riego.

## ABSTRACT

A Treatment Plant was designed for the header Wastewater parish of San Luis province of Chimborazo.

We began by measuring the flow of Discharge N°1 by the method of experimentation using gloves, flexometro, plastic bucket and timer; and later characterization physical, chemical and microbiological wastewater samples taken in situ by the method of analysis, using 1L plastic containers and 150 mL sterile jars.

Based on the descriptive method was proposed a Treatment Plant using the EXCEL program, the program design and implementation AUTO CAD CIVIL CAD.

The results of the measurement of flow rates indicate no change in flow throughout the day being the average value of flow rate of 6,9 L/s for six days sampled. This demonstrated that sewage systems are outdated and need to be renovated.

The results of the laboratory tests show that the parameters that are outside the limits of the Unified Text of Secondary Environmental Legislation (TULAS) they are Fecal Coliformes  $8 \times 10^7$  CFU/100 mL, Oils and Fats 51,93 mg/L and Demand Biochemical Oxygen 169,33 mg/L.

In conclusion it was redesigned combined sewer network and designed a Treatment Plant consists of three processing steps: two treatments conventional and natural treatment purification, and total efficiency average of 83% effectively complying with environmental regulations.

It is recommended, treated water reuse as irrigation water.

## INTRODUCCIÓN

La Cabecera Parroquial de San Luis, ubicada en la Parroquia San Luis del Cantón Riobamba, Provincia del Chimborazo, se encuentra formada por una población de 1835 habitantes según el censo realizado por el INEC en el año 2010. <sup>1</sup>

La zona cuenta con cuatro puntos de descarga para las aguas residuales generadas; dos de ellas pertenecen a las industrias dedicadas a la producción de lácteos “Prasol” y pulpa de frutas: “Mis Frutales”, y las dos restantes son descargas domésticas. También existe la presencia de vertidos de efluentes en algunas casas de la zona y en algunos barrios aledaños que todavía no cuentan con un sistema de alcantarillado.

Los habitantes de la comunidad descargan sus aguas residuales directamente al Río Chibunga sin ningún tratamiento previo por lo que se está generando una contaminación severa en el ambiente de la zona. El agua residual al no recibir tratamiento alguno altera la calidad del agua del Río Chibunga y sus propiedades físico - químicas y microbiológicas, afecta a la flora y fauna existente en la zona y genera un foco de infección que puede ocasionar enfermedades de origen hídrico.

El tratamiento de aguas residuales es una operación que utiliza diferentes procesos de depuración: físicos, químicos y microbiológicos, por medio de unidades tratamiento convencionales o naturales, permitiendo de esta manera que el agua que se desea tratar pueda eliminar la mayor parte de contaminantes presentes en la misma con la finalidad de que sus parámetros cumplan con los límites establecidos por las normas ambientales.

La Cabecera Parroquial de San Luis posee un estilo de vida aún conservador debido a que la mayoría de sus habitantes realizan sus actividades laborales fuera de la zona de estudio. Al realizar la caracterización física – química y microbiológica de las aguas residuales de la comunidad se pudo determinar que este tipo de agua es apta para un tratamiento natural de depuración ya que sus parámetros presentaron valores que se encuentran dentro de la norma ambiental TULAS.

---

<sup>1</sup> Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Luis.

Basándose en este dato anterior se diseñó una Planta de Tratamiento para las aguas residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis con tres etapas de depuración siendo las dos primeras etapas tratamientos convencionales.

Para el tratamiento secundario se propuso la aplicación de filtros lentos biológicos de arena. Este tipo de filtros permite separar partículas y microorganismos del agua que está siendo tratada simplemente por medio de una filtración biológica sin la necesidad de utilizar algún tipo de aditivo químico. La depuración se da a través de una biopelícula formada por los mismos microorganismos que se encuentran presentes en el agua residual y por capas de arena y grava que permiten limpiar el agua en su totalidad antes de ser evacuada al río Chibunga.

Los filtros lentos biológicos de arena degradan materia orgánica, nutrientes, microorganismos y otros componentes del agua tratada de una manera lenta pero efectiva dando como resultado un efluente que presenta características física – químicas y microbiológicas aceptables por la norma ambiental pudiendo ser reutilizada como agua de riego si así lo requieren.

## ANTECEDENTES

A partir de la primera mitad del siglo XX la introducción del alcantarillado en las ciudades en vías de desarrollo dio paso a la generación de cantidades considerables de aguas residuales que incrementaban su volumen a medida que crecía la demanda de agua urbana. Muchos de los sistemas de alcantarillado se descargaban a los cursos de agua sin tratamiento alguno.<sup>2</sup>

A comienzos del siglo XX varias ciudades e industrias empezaron a reconocer que el vertido directo de desechos en los ríos provocaba problemas sanitarios. Esto llevó a la construcción de instalaciones de depuración. Aproximadamente en aquellos mismos años se introdujo la fosa séptica como mecanismo para el tratamiento de las aguas residuales domésticas tanto en las áreas suburbanas como en las rurales.<sup>2</sup>

Durante la segunda década del siglo XX el proceso del lodo activado desarrollado en Gran Bretaña supuso una mejora significativa llegando a emplearse ésta técnica en muchas localidades de ese país y de todo el mundo.<sup>3</sup>

Otra técnica que nació a partir de los años cincuenta fueron los sistemas naturales de depuración. Estos procedimientos eliminan las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas a través de componentes del medio natural sin el empleo de ningún tipo de aditivo químico durante su proceso. Estos métodos de eliminación de efluentes son sistemas baratos y técnicamente simples, siendo sus efluentes aprovechados para el regadío.<sup>4</sup>

En Ecuador también se ha aplicado esta técnica natural de depuración. Un ejemplo de ello es la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ucubamba ubicada en la ciudad de Cuenca. La Empresa Municipal Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca – ETAPA desde 1983 ha realizado una serie de actividades tendientes a la recuperación de la calidad de las aguas de los ríos que

---

<sup>2</sup> FOSTER, S. et. al., Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas: Evaluación y Manejo de los Riesgos y Beneficios.

<sup>3</sup> RODRÍGUEZ, A., et. al., Tratamientos avanzados de Aguas Residuales Industriales.

<sup>4</sup> Métodos Naturales de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.

atraviesan la ciudad, para lo cual construyó una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales formada por estructuras de tratamiento preliminar y dos módulos de tratamiento independientes compuestos por tres lagunas: Aeradas, Facultativas y de Maduración, los mismos que son Sistemas Naturales de Depuración. El área total de las lagunas es de 45 hectáreas y fue concebida para tratar un caudal máximo horario de 2,5 m<sup>3</sup>/s.<sup>5</sup>

En la ciudad de Riobamba se ha construido una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales en el sector La Libertad, pero actualmente está fuera de funcionamiento.

En la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH) también se han realizado varios estudios sobre el Tratamiento de Aguas Residuales. Uno de las últimas investigaciones desarrolladas en este año es el Dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Cabecera Parroquial de Licán ubicado en la Parroquia Licán, Provincia de Chimborazo. Este estudio explica el tratamiento de un agua residual doméstica mediante el dimensionamiento de un sistema de tratamiento que consta de un canal de llegada para la conducción del afluente hasta la planta de tratamiento, la misma que está compuesta por un canal Parshall, rejillas, dos desarenadores, dos tanques Imhoff, cinco lechos de secado, y cinco filtros aerobios de flujo ascendente. La implementación de este diseño procurará dar un mejor desarrollo social, físico y económico para los habitantes de Cabecera Parroquial de Licán.<sup>6</sup>

En La Cabecera Parroquial de San Luis no se ha realizado ningún estudio de implementación para el tratamiento de sus aguas residuales, por lo que sus representantes están de acuerdo en dar la apertura y el apoyo necesario para la realización de algún tipo de investigación en el campo ambiental y así poder mejorar su calidad de vida.

---

<sup>5</sup> ETAPA: Empresa Municipal Pública de Telecomunicaciones, Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca.

<sup>6</sup> TENESACA M., Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la ciudad de Cañar.

## JUSTIFICACIÓN

El agua es un recurso muy importante que forma parte del estilo de vida del ser humano; se le da diversos usos: alimentación, higiene personal, recreación, turismo, entre otras.

El agua de suministro doméstico e industrial, una vez utilizada contiene una gran cantidad de materia orgánica, microorganismos patógenos, metales pesados, sólidos en suspensión, compuestos volátiles y otros elementos que al ser liberados sin un previo tratamiento conducen a un deterioro ambiental. Generalmente estas aguas residuales son descargadas directamente en las corrientes y cuerpos superficiales de agua alterando su calidad y generando problemas ambientales a tal grado que el agua queda inutilizable.

Una manera efectiva de evitar y solucionar la mayor parte de problemas generados por la mala disposición de las aguas residuales es mediante la aplicación de un tratamiento a la misma. La ejecución de un proceso de tratamiento del agua residual permite disminuir la contaminación al ecosistema y la mejora de la salud de los habitantes del sector.

Existen tratamientos naturales que se caracterizan en general por su escasa necesidad de personal de mantenimiento, consumo energético reducido y baja producción de fangos. Estos sistemas naturales de depuración son procedimientos o técnicas en los que la eliminación de sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales urbanas se realiza a través de componentes del medio natural sin la utilización de ningún tipo de aditivo químico. El efecto depurador se produce por la acción combinada de la vegetación, del suelo y de los microorganismos, siendo sus efluentes aprovechados para el riego.<sup>4</sup>

Por otro lado y considerando la Constitución del Ecuador 2008, en el Título II, Capítulo Segundo, Sección Segunda, Artículo 14, se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, declarando de interés público la preservación del ambiente, la recuperación de espacios naturales degradados, y la conservación de los ecosistemas y la biodiversidad.

Con estos argumentos se demuestra la importancia que existe en realizar un proyecto ambiental que permita mejorar la calidad de vida de los habitantes de la Cabecera Parroquial de San Luis.

El presente estudio pretende dar una propuesta de solución mediante el Diseño de un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales provenientes de la Cabecera Parroquial de San Luis. Este diseño optará por la mejor tecnología de tratamiento que mejor se adapte a las condiciones de la zona y será presentado sólo en planos base.

Se ha escogido este sector porque actualmente carece de un sistema de depuración de aguas residuales, a excepción de las otras comunidades de la parroquia San Luis.

Para el desarrollo de esta investigación se cuenta con el apoyo del Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural de San Luis, el mismo que está dispuesto a apoyar con la información y logística necesaria para realizar el presente trabajo.

## OBJETIVOS

➤ **General:**

Diseñar un Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis, provincia de Chimborazo.

➤ **Específicos:**

-Determinar el caudal de las aguas residuales provenientes de las descargas de la Cabecera Parroquial de San Luis.

-Realizar un breve diagnóstico sobre el estado actual del sistema de alcantarillado que se encuentra en vigencia.

-Caracterizar física, química y microbiológicamente las aguas residuales que actualmente se descargan al Río Chibunga.

-Dimensionar las unidades físicas y los planos correspondientes del Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis.

# **CAPÍTULO 1**

## CAPÍTULO I

### 1. MARCO TEÓRICO

#### 1.1 EL AGUA

AGUA, es una expresión que se aplica para definir el compuesto de hidrógeno y oxígeno en estado líquido siendo su fórmula  $H_2O$ . Es el componente principal de la materia viva constituyendo del 50 al 90% de la masa de todos los organismos vivos. Ha estado presente en la Tierra desde hace más de 3000 millones de años, ocupando las tres cuartas partes de la superficie del planeta. (1)

Según el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2003), el agua cubre el 75% de la superficie terrestre; el 97,5% del agua es salada, y sólo el 2.5% es agua dulce. Los casquetes y los glaciares contienen el 74% del agua dulce del mundo. El resto se encuentra en las profundidades de la tierra o encapsulada en los componentes de la misma. Sólo el 0,3% del agua dulce del mundo se encuentra en los ríos y lagos. Para uso humano se puede acceder a menos del 1% del agua dulce superficial o subterránea del planeta. (34)

Una de las propiedades más sorprendentes del agua es su capacidad para disolver sustancias: el agua es una molécula fuertemente dipolar por lo que atrae a otras moléculas de agua a través de uniones conocidas como puentes de hidrógeno. La polaridad es el factor principal que determina su capacidad como solvente haciendo del agua una sustancia única. (18)

Debido a su capacidad de solvencia el agua adhiere a sus moléculas sustancias indeseables y peligrosas como los metales pesados, además puede acarrear otro tipo de sustancias no miscibles que forman emulsiones como los aceites, sólidos y materia flotante. Todas estas sustancias alteran las características físicas del agua y la contaminan.

El agua también constituye un medio de proliferación de varios microorganismos como bacterias, virus y otros, representando un riesgo para la salud pública sin no se la trata de una manera adecuada.

### **1.1.1 EL AGUA RESIDUAL**

Los términos AGUA RESIDUAL se utilizan para referirse al agua que presenta una composición variada de líquidos y residuos sólidos que provienen del sistema de abastecimiento de una población y que ha sido modificada debido a diversos usos en actividades como: domésticas, industriales, comerciales, de servicios, agrícolas, pecuarios, entre otros. Debido a la naturaleza de las aguas residuales al momento de su descarga, no pueden ser reutilizadas en los procesos que las generó, y al ser vertidas en varios cuerpos receptores sin un tratamiento previo pueden llegar a implicar una alteración de los ecosistemas terrestres y acuáticos o incluso afectar a la salud humana.  
(18)

#### **1.1.1.1 TIPOS DE AGUA RESIDUAL**

Las aguas residuales pueden provenir de diferentes lugares, es así que dependiendo de su origen pueden ser clasificadas como: Aguas Residuales Domésticas, Aguas Residuales Industriales y Aguas Residuales Municipales.

(VER ANEXO N°1)

#### **1.1.1.2 CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA EN AGUAS RESIDUALES**

La generación de las aguas residuales es un producto inevitable de toda actividad humana. Para lograr un tratamiento y disposición final apropiado de las mismas, es indispensable conocer sus características físicas, químicas y microbiológicas, la interpretación de los resultados obtenidos de los parámetros analizados, y de sus efectos principales sobre la fuente receptora.

Todo cuerpo de agua tiene la capacidad de depurar, asimilar y transformar cierta cantidad de contaminantes, especialmente de origen orgánico. (18) Por tal razón se consideran a los ríos como los receptores naturales de las aguas residuales. Sin embargo, si se arrojan aguas residuales a un cuerpo de agua, en exceso de la capacidad de asimilación

de contaminantes del agua receptora, éste se verá disminuido en su calidad y aptitud para usos benéficos por parte del hombre. (4)

Las aguas residuales presentan características físicas, químicas y biológicas especiales a diferencia de las demás aguas.

Conocer estas características es de vital importancia para poder establecer las diferentes cargas orgánicas y los sólidos que transportan, los efectos del vertimiento a un cuerpo de agua, y la selección de procesos y operaciones que resulten eficaces para el tratamiento de las mismas.

➤ **CARACTERÍSTICAS FÍSICAS**

Entre las principales características físicas del agua residual están: temperatura, olor, color, turbiedad, sólidos y materia flotante.

(VER ANEXO N°2)

➤ **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS**

Entre las principales características químicas del agua residual tenemos: potencial hidrógeno, nitrógeno, fósforo, azufre, aceites y grasas, metales pesados, detergentes y materia orgánica (Demanda Química de Oxígeno y Demanda Bioquímica de Oxígeno).

(VER ANEXO N°3)

➤ **CARÁCTERÍSTICAS BIOLÓGICAS**

Las aguas residuales contienen un gran número de microorganismos vivos cuya función es la de descomponer, transformar, y fermentar la materia orgánica utilizando o no el oxígeno disuelto por medio de procesos aerobios o anaerobios. Estos microorganismos pueden ser de origen vegetal: plantas, semillas, helechos; de origen animal: microorganismos vertebrados e invertebrados; o de origen protista: bacterias, hongos, protozoos y algas. También están presentes varios microorganismos patógenos como los coliformes los cuales mueren rápidamente al encontrarse en un hábitat extraño. Cada uno de estos grupos de microorganismos, constituyen un papel primordial como indicadores de la calidad del agua residual.

- **Coliformes Fecales:**

Los microorganismos patógenos que existen en las aguas residuales son pocos y difíciles de aislar e identificar, por esta razón se utiliza a los microorganismos coliformes como un organismo indicador de contaminación o presencia de organismos productores de alguna enfermedad.

Aunque no sean dañinos, se usan los coliformes como indicador debido a que el ser humano arroja diariamente en sus excrementos entre  $10^9$  y  $4 \times 10^{11}$  coliformes, por lo tanto su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como norma de control sanitario.

El exceso de coliformes fecales en un cuerpo de agua, hacen que el agua sea no apta para el consumo humano, e insegura para la recreación. (4)

### **1.1.2 MEDICIÓN DE CAUDALES**

El caudal es la cantidad de un líquido que fluye de modo natural o no natural en un determinado lugar y por una unidad de tiempo. Generalmente se utiliza la siguiente ecuación para el cálculo del caudal:

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

Ec. (1)

Donde:

V= Volumen del líquido o gas ( $m^3$ )

T= Tiempo de flujo (s)

La medición de caudales es una técnica que se realiza con el fin de facilitar el muestreo, ya que a través del mismo se puede obtener una concentración promedio de los contaminantes presentes en el agua residual a lo largo de un turno, ciclo de producción o día.

Para poder medir el caudal de una descarga, se debe de realizar por lo menos 3 jornadas de medición horaria durante las 24 horas del día. Los datos obtenidos en la medición del caudal permiten calcular los caudales medio y máximo horario representativos de la descarga, y el factor de mayorización correspondiente. (23)

### 1.1.2.1 MÉTODOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES

El aforo de caudal es un conjunto de operaciones que permiten determinar el caudal de un curso de agua que fluye por una determinada sección de un cauce natural.

Se realiza para un nivel de agua observado (tirante) y para un cierto nivel o porcentaje de exactitud. Para la realización del aforo de caudales existen varios métodos que registran mediciones de una manera continua o permanente o de una manera puntual o instantánea. La mayoría de los métodos de aforo se basan en la ecuación de Continuidad:

$$Q = V * A$$

Ec. (2)

Donde:

A= Área (m<sup>2</sup>)

El método a escoger depende básicamente de la calidad y cantidad de los registros de caudales necesarios en un estudio hidrológico.

#### ➤ MÉTODO VOLUMÉTRICO

La manera más sencilla de calcular caudales pequeños es por medio de la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido. Para ello, el fluido es desviado hacia un canal que descarga en un recipiente adecuado, y el tiempo que demora su llenado se mide por medio de un cronómetro.

Para caudales de más de 4 L/s es adecuado un recipiente de 10 litros de capacidad, el mismo que se llenará en un tiempo de 2½ segundos; y para caudales mayores es recomendable usar un recipiente de 200 litros.

### 1.1.3 MUESTREO DE AGUAS RESIDUALES

Dependiendo de la procedencia de cada agua residual se puede llegar a determinar los diferentes tipos de contaminantes que éstas contienen. Sin embargo, para poder caracterizar con mejor precisión el tipo de contaminante y la concentración con la que es descargado, es necesario realizar varios muestreos y determinaciones analíticas. (18)

El muestreo del agua es una técnica que consiste en extraer una pequeña porción representativa de una masa de agua con el fin de analizar las diversas características que posee ésta, y así poder determinar sus parámetros físicos, químicos y microbiológicos mediante análisis de laboratorio.

Las muestras que se toman y se llevan a examinar generalmente requieren de criterios y técnicas de toma diferentes, por tal razón se debe de tener un cuidado especial al obtener la muestra de agua. Para ello las muestras deben ser en todo lo posible representativas de la masa de agua que se desea caracterizar y deberán tomarse las debidas precauciones para poder conservar la muestra de tal forma que no experimente modificación alguna desde el momento de su toma hasta su análisis. Además se debe tener en cuenta una frecuencia de muestreo.

### **1.1.3.1 CLASIFICACION DE LAS MUESTRAS**

#### **➤ MUESTRAS SIMPLES**

Son muestras que se toman cuando se conoce que su composición es constante en el tiempo y espacio. Este tipo de muestra representa las características del agua para el instante del muestreo. Estas muestras son preferidas para análisis de temperatura, pH, oxígeno disuelto, cloro residual, alcalinidad, acidez, grasas y aceites, y coliformes.

#### **➤ MUESTRAS COMPUESTAS**

Son la mezcla de varias muestras simples proporcionales al caudal instantáneo, recogidas en el mismo lugar pero en diferentes tiempos. Para tal efecto, se recolectan las muestras simples a intervalos constantes de tiempo, por lo regular una hora, hasta lograr un tiempo total igual a 24 horas.

Las muestras recolectadas se almacenan apropiadamente en un refrigerador y al final del periodo del muestreo se mezclan en proporción directa al caudal aforado en cada instante del muestreo.

Para poder preparar la muestra compuesta es necesario conocer la cantidad requerida de cada muestra simple.

El cálculo del volumen de las muestras simples se realiza con la siguiente ecuación:

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * N_o}$$

Ec. (3)

Donde:

V = Volumen final total de la muestra compuesta (mL)

$Q_i$  = Caudal instantáneo de cada muestra ( $m^3/s$ )

$Q_p$  = Caudal promedio durante el período de muestreo ( $m^3/s$ )

$V_i$  = Volumen de cada alícuota de cada muestra (mL)

$N_o$  = Número de muestras que se van a tomar para construir la muestra compuesta.

Son preferibles este tipo de muestras cuando se desea conocer resultados promedios, ya que aseguran mejor la representatividad de la masa de agua y permiten detectar los efectos de la descarga variable de los diferentes contaminantes de las aguas sometidas a procesos determinados, como por ejemplo: tratamientos, depuración, vertidos, y otros.

### **1.1.3.2 VOLUMEN DE LA MUESTRA**

El volumen de la muestra debe de ser lo suficiente como para poder llevar a cabo los análisis de laboratorio requeridos; es decir, depende del número de parámetros que se desea determinar. Es preferible que el volumen de la muestra no sea menor a 100 mL. Generalmente el volumen para muestras simples es de 2L, y para muestras compuestas de 3 a 4L con volúmenes individuales aproximadamente de 120 mL.

## **1.2 NORMATIVA AMBIENTAL**

El agua de suministro una vez utilizada se convierte en un acarreador de desechos que lleva consigo sustancias disueltas, suspendidas o emulsionadas y que limitan o impiden su aplicación en el uso que les dio origen, a menos que reciba un tratamiento. Generalmente el agua residual contiene varias sustancias en exceso que deben ser reguladas por alguna normativa ambiental antes de ser descargadas al recurso agua. El contenido de estas sustancias no debe de exceder los límites permisibles de la norma.

El Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013 en su Objetivo 4:

Garantizar los derechos de la naturaleza y promover un ambiente sano y sustentable, Política 4.4., hace referencia en prevenir, controlar y mitigar la contaminación ambiental como aporte para el mejoramiento de la calidad de vida, regulando criterios de preservación, conservación, ahorro y usos sustentables del agua e implementando normas para controlar y enfrentar la contaminación de los cuerpos de agua mediante la aplicación de condiciones explícitas para el otorgamiento de las autorizaciones de uso y aprovechamiento. (3)

Basándose en este concepto se nombran a continuación las normas ambientales aplicadas durante el desarrollo de este trabajo.

### **1.2.1 NORMAS PARA ALCANTARILLADO Y TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Para el diseño y dimensionamiento de la red de alcantarillado combinado y unidades de la planta de tratamiento para las aguas residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis se aplicaron las siguientes normas:

\*Normativa ecuatoriana emitido por el Código Ecuatoriano de la Construcción C.E.C:

- Normas para estudio y diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes:
  - Octava Parte: Sistemas de Alcantarillado
  - Décima Parte: Sistemas de Tratamiento de Aguas Residuales.

\*Normativa colombiana emitida por el Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico RAS – 2000:

- Sección II – Título E: Tratamiento de Aguas Residuales, República de Colombia, Ministerio de Desarrollo Económico, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico.

\*Normativa peruana emitida por la Organización Panamericana de la Salud y el Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental:

- Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS / OPS, Guías para el Diseño de Plantas de Tratamiento para Aguas Residuales.

También se consideró los parámetros de diseño para Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la ciudad de Riobamba, emitidos por la Dirección de Ingeniería: Jefatura de Estudios y Diseños de la Empresa Pública – Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Riobamba (EMAPAR).

### **1.2.2 NORMAS PARA CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES**

Para la caracterización de las aguas residuales provenientes de la Cabecera Parroquial de San Luis y determinación de la calidad de efluente que se descarga en el Río Chibunga se aplicó la normativa emitida por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario, Libro VI – Anexo #1:

- Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua:
- Normas de descarga de efluentes a un cuerpo de agua o receptor: agua dulce y marina. En el literal 4.2.3.7 se establece que:

*Toda descarga a un cuerpo de agua dulce, deberá cumplir con los valores establecidos en la Tabla #12:*

**TABLA I**  
**Límites de descarga a un cuerpo de agua dulce.**

Parámetros	Expresado como	Unidad	Límite máximo permisible
Aceites y Grasas.	Sustancias solubles en hexano	mg/L	30
Coliformes Fecales	Nmp/100 mL		<sup>7</sup> Remoción > al 99,9 %
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	D.B.O <sub>5</sub> .	mg/L	100
Demanda Química de Oxígeno	D.Q.O.	mg/L	250
Fósforo Total	P	mg/L	10
Hierro total	Fe	mg/L	10,0
Nitratos + Nitritos	Expresado como Nitrógeno (N)	mg/L	10,0
Potencial de hidrógeno	pH		5-9
Sólidos Sedimentables		mL/L	1,0
Sólidos Suspendidos Totales		mg/L	100
Sólidos totales		mg/L	1 600
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>=</sup>	mg/L	1000
Temperatura	°C		< 35

\*FUENTE: TULAS.

<sup>7</sup> Aquellos regulados con descargas de coliformes fecales menores o iguales a 3 000, quedan exentos de tratamiento.

### 1.3 TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los tratamientos a los que se deben someter los efluentes tienen que garantizar la eliminación o recuperación del compuesto orgánico en el grado requerido por la legislación que regula el vertido del efluente. La aplicación de cualquier tipo de método depende fundamentalmente de la concentración del contaminante y del caudal del efluente. (20)

#### 1.3.1 OPERACIONES UNITARIAS PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

##### 1.3.1.1 OPERACIONES FÍSICAS UNITARIAS

Incluyen métodos de tratamiento en los que predomina la acción de fuerzas físicas que permiten la remoción de la materia en suspensión presente en el agua a tratar. Los sólidos en suspensión generalmente están formados por partículas de diversos tamaños y formas. La eliminación de esta materia se suele hacer mediante operaciones mecánicas. (20)

Las operaciones para eliminar este tipo de contaminación suelen ser las primeras en efectuarse dado que la presencia de partículas en suspensión obstaculiza otros procesos de tratamiento. La utilización de cualquier operación está en función de las características de las partículas (tamaño, densidad, forma) y de la concentración de las mismas.

**TABLA II**  
**Operaciones Físicas Unitarias.**

<b>OPERACIÓN</b>	<b>APLICACIÓN</b>
Desbaste	El objetivo es eliminarlo sólidos de gran tamaño y evitar que dañen equipos posteriores del resto de tratamientos. Suele ser un tratamiento previo a cualquier otro.
Sedimentación / Decantación	Aprovecha la fuerza de la gravedad de las partículas más densas del agua haciendo que tengan una trayectoria descendente y depositándolas en el fondo del sedimentador.
Filtración	Se hace pasar el agua a través de un medio poroso con el objetivo de retener la mayor cantidad posible de materia en suspensión. Es un proceso muy utilizado en el tratamiento de aguas potables y en el tratamiento de aguas para reutilización.
Flotación	Genera pequeñas burbujas de gas (aire), que se asocian a las partículas presentes en el agua y que se elevan hasta la superficie, de donde son arrastradas y sacadas del sistema.
Coagulación - Floculación	Favorece a la floculación de las partículas que tienen una velocidad de sedimentación extremadamente lenta por medio de la adición de reactivos químicos. Esta operación se utiliza a menudo en el tratamiento de aguas residuales urbanas, potables e industriales.

\*FUENTE: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Agua Residuales Industriales.

### 1.3.1.2 PROCESOS QUÍMICOS UNITARIOS

Estos métodos de tratamiento permiten la remoción de la materia disuelta del agua a tratar mediante la adición de productos químicos que provocan el desarrollo de varias reacciones químicas. Los sólidos disueltos generalmente pueden tener características y concentraciones muy diversas: desde grandes cantidades de sales inorgánicas disueltas (salmueras), orgánicas (materia orgánica biodegradable en industria de alimentación), hasta extremadamente pequeñas cantidades de inorgánicos (metales pesados) y orgánicos (pesticidas); siendo estos últimos de necesaria eliminación debido a su carácter peligroso. (20)

**TABLA III**  
**Procesos Químicos Unitarios.**

<b>OPERACIÓN</b>	<b>APLICACIÓN</b>
Precipitación	Consiste en la eliminación de una sustancia disuelta indeseable por adición de un reactivo que forme un compuesto insoluble con el mismo, facilitando así su eliminación.
Procesos Electroquímicos	Utiliza técnicas electroquímicas haciendo pasar una corriente eléctrica a través del agua y provocando reacciones de oxidación-reducción. Tiene una importante aplicación en el tratamiento de aguas residuales industriales.
Intercambio iónico	Utiliza resinas de intercambio iónico que es capaz de retener selectivamente los iones disueltos en el agua manteniéndolos temporalmente unidos a su superficie y cediéndolos a una disolución con un fuerte regenerante.
Adsorción	Consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido siendo un parámetro fundamental la superficie específica del mismo, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en su superficie. Es un tratamiento de refinado más usual, siendo utilizado especialmente con posterioridad a un tratamiento biológico.
Desinfección	Pretende la destrucción o inactivación de los microorganismos que puedan causarnos enfermedades. Se hace imprescindible para la protección de la salud pública si el agua a tratar tiene como finalidad el consumo humano.

\*FUENTE: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales.

### 1.3.1.3 PROCESOS BIOLÓGICOS UNITARIOS

Constituyen una serie de importantes procesos de tratamiento que tienen en común la utilización de microorganismos (especialmente las bacterias), para llevar a cabo la eliminación de componentes indeseables del agua aprovechando la actividad metabólica de los mismos. Es uno de los métodos más usados para el tratamiento de aguas residuales urbanas y aguas industriales.

La aplicación de un proceso biológico consiste en la eliminación de la materia orgánica biodegradable tanto soluble como coloidal, ya que ésta constituye la fuente de energía: de

carbono, oxígeno disuelto y nutrientes: Nitrógeno y Fósforo, necesarios para el crecimiento de los microorganismos. En el metabolismo bacteriano juega un papel fundamental el elemento aceptor de electrones en los procesos de oxidación de la materia orgánica. Este aspecto tiene una importante incidencia en las posibilidades de aplicación al tratamiento de aguas. (20) En función del elemento aceptor de electrones se distinguen tres casos de sistemas biológicos: Sistema Aerobios, Sistemas Anaerobios y Sistemas Anóxicos.

**TABLA IV**  
**Procesos Biológicos Unitarios.**

TIPO DE SISTEMA	ELEMENTO ACEPTOR	FUNDAMENTO
<b>Sistemas aerobios</b>	Oxígeno disuelto.	Este compuesto hace que el rendimiento energético del tratamiento sea elevado provocando una generación de fangos debido al alto crecimiento de bacterias aerobias. Su aplicación a aguas residuales puede estar muy condicionada por la baja solubilidad del oxígeno en el agua.
<b>Sistemas anaerobios</b>	CO <sub>2</sub> o parte de la propia materia orgánica, obteniéndose como producto de esta reducción el carbono es su estado más reducido, el metano (CH <sub>4</sub> ).	Este sistema tiene como ventaja la obtención de un gas combustible. Posee un bajo consumo de energía, produce poca cantidad de fangos y por tanto un menor requerimiento de nutrientes, y permite la posibilidad de períodos de parada en el proceso sin alterar la población bacteriana.
<b>Sistemas anóxicos</b>	Presencia de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	La ausencia de oxígeno disuelto (O <sub>2</sub> ) y la presencia de nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ) hacen que este último elemento sea el aceptor de electrones transformándose en nitrógeno (N <sub>2</sub> ), por tanto es posible que en ciertas condiciones se consiga una eliminación biológica de nitratos (desnitrificación).

\*FUENTE: Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales.

### 1.3.2 MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

Se denominan Sistemas Naturales de Depuración a los procedimientos o técnicas que eliminan las sustancias contaminantes presentes en las aguas residuales mediante componentes del medio natural sin la utilización de ningún aditivo químico durante su proceso. Al ser un sistema alternativo de depuración se aplica como un mecanismo eficaz para la regulación de los recursos hídricos en zonas que son altamente deficitarias. Actualmente se los conoce bajo el concepto de vertido de contaminación cero o vertido cero.

### **1.3.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS NATURALES DE DEPURACIÓN**

Generalmente se diferencian dos grandes grupos de técnicas de depuración natural.

- Sistemas Acuáticos
- Tratamiento mediante aplicación directa en el terreno

En cualquiera de los dos grupos el efecto depurador se debe a la interacción combinada del suelo, la vegetación y los microorganismos presentes, junto con las plantas y animales superiores que actúan en menor medida.

#### **➤ SISTEMAS ACUÁTICOS**

Se desarrollan en un medio acuático junto con la interacción de plantas emergentes y de microorganismos asociados que transforman los contaminantes presentes en el agua residual a través de procesos físicos, químicos y biológicos: sedimentación, oxidación, fotosíntesis, digestión, aireación, y evaporación. Se diseñan con la finalidad de mantener un flujo continuo controlado del agua residual, funcionando estacionalmente o a lo largo de todo el año. Dependen de la carga aplicada y de las condiciones climáticas. Entre estos métodos se puede encontrar: Lagunajes, Humedales y Cultivos acuáticos.

(VER ANEXO N°4)

#### **➤ TRATAMIENTO MEDIANTE APLICACIÓN DIRECTA EN EL TERRENO**

La depuración se desarrolla a través de la combinación de procesos físicos, químicos y biológicos: filtración, intercambio iónico, precipitación, fenómenos de óxido reducción y degradación de la materia orgánica, que se dan mediante la interacción del sistema planta – suelo – agua. En este caso, el suelo cumple dos funciones principales: ser el receptor de las aguas residuales evitando así el vertido de las mismas a otro medio, y ser el agente activo que produce el proceso de depuración eliminando materia orgánica, nutrientes, microorganismos y otros componentes presentes en el agua residual. Entre estos métodos de tratamiento se puede encontrar: Filtro Verde, Infiltración rápida, Escorrentía superficial, Lechos de Turba y Filtros de arena.

(VER ANEXO N°5)

### 1.3.3 SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Se define al sistema de alcantarillado como el conducto de servicio público cerrado conformado por una red de alcantarillas que son generalmente tuberías enterradas, destinadas a recolectar, transportar y evacuar en forma rápida y segura las aguas residuales y pluviales producidas en una población hacia una planta de tratamiento establecida. En la mayoría de los casos, los sistemas de alcantarillado bajo condiciones normales funcionan por gravedad aprovechando la pendiente propia del terreno, sin embargo en zonas demasiado planas es necesario el uso de sistemas de bombeo.

#### 1.3.3.1 TIPOS DE SISTEMAS DE ALCANTARILLADO

Los sistemas de alcantarillado se clasifican en dos tipos: Alcantarillado Sanitario y Alcantarillado Pluvial. Ambos tipos de sistemas de alcantarillado se pueden diseñar con sistemas por gravedad o por bombeo.

- **Sistema de Alcantarillado Sanitario:** Conduce solamente las aguas residuales de una población. Esta red de tuberías permite que las aguas residuales puedan ser almacenadas o transportadas hacia las plantas de tratamiento.
- **Sistema de Alcantarillado Pluvial:** Conduce solamente las aguas que son de origen pluvial. Esta red de tuberías permite que las aguas lluvia puedan ser almacenadas o transportadas hacia los arroyos naturales.

Dentro de la clasificación de los sistemas de alcantarillado existen tres esquemas:

- ✓ **Sistema de Alcantarillado por Separado:** Cuando se desea que las aguas residuales sean conducidas por una red de tuberías independientes del agua pluvial.
- ✓ **Sistema de Alcantarillado Combinado:** Cuando se desea que las aguas residuales y pluviales sean conducidas por una misma red de tuberías.
- ✓ **Sistema de Alcantarillado Mixto:** Es una combinación de los dos anteriores. Se utiliza cuando dentro de una misma área urbana se desea construir una red de alcantarillado separado para una zona y una red de alcantarillado combinado para otra.

### 1.3.3.2 DISEÑO DE UN SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO

#### ➤ TRAMO

Los tramos son la parte del colector comprendidos entre dos pozos de inspección, uno superior y el otro inferior.

#### ➤ LONGITUD (m)

- **Longitud Propia (Lp):** Es el valor de la longitud de cada tramo obtenido in situ.
- **Longitud Tributaria (Lt):** Es la suma de las longitudes de los tramos que drenan hacia un mismo punto determinado.
- **Longitud Acumulada (La):** Es la suma de los valores de la longitud propia y la longitud tributaria.

$$L_a = L_p + L_t$$

Ec. (4)

#### ➤ ÁREA (ha)

Se considera al área como una medida de la extensión de una superficie comprendida dentro de un perímetro. Se expresa en unidades de superficie.

- **Área Propia (Ap):** Es el valor del área de cada tramo.
- **Área Tributaria (At):** Es la suma de las áreas de los tramos que drenan hacia un mismo punto determinado.
- **Área Acumulada (Aa):** Es la suma de los valores del área propia y el área tributaria.

$$A_a = A_p + A_t$$

Ec. (5)

#### ➤ POBLACIÓN (Hab)

Es el número de habitantes que ocupa un área de aporte en cada tramo de la red de alcantarillado.

- **Población Propia (Pp):** Es el número de habitantes para cada tramo de la red de alcantarillado y se obtiene multiplicando la densidad poblacional por el área propia del sector.

$$P_p = A_p * \rho_p$$

Ec. (6)

- **Población Acumulada (Pa):** Se obtiene multiplicando la densidad poblacional por el área acumulada del sector.

$$Pa = Aa * \rho p$$

Ec. (7)

➤ **CAUDALES (L/s)**

- **Caudal Medio Diario (Q<sub>md</sub>):**

Es el caudal de aporte de las aguas residuales domésticas. Ocurre en un periodo de 24h y representa el consumo medio anual diario. Este parámetro permite evaluar la capacidad de las plantas de tratamiento para poder desarrollar los caudales que serán usados en su diseño. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{md} = C_r * P * D$$

Ec. (8)

Donde:

Cr = Coeficiente de retorno

P = Población futura (Hab)

D = Dotación

- ✓ **Coeficiente de Retorno (Cr):** Conocido también como aporte, es un parámetro que establece que solo un porcentaje del total del agua consumida por la población es devuelto al alcantarillado. Este valor varía entre el 60% y 80% dependiendo del área en estudio.

**TABLA V**  
**Coeficiente de Retorno para Aguas Residuales Domésticas**

Nivel de complejidad del Sistema	Coeficiente de Retorno
Bajo y Medio	0,7 – 0,8
Medio alto y alto	0,8 – 0,85

\*FUENTE: Norma colombiana - RAS 2000

- **Caudal Máximo Diario (Q<sub>MD</sub>):**

Es el caudal máximo que ocurre durante un periodo de 24h y representa el consumo máximo de un día presentado durante un año.

Este parámetro se utiliza para diseñar las unidades de tratamiento que involucran el tiempo de retención.

Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_{MD} = M * Q_{md} \quad \text{Ec. (9)}$$

Donde:

M= Coeficiente de mayorización

✓ **Coeficiente de Mayorización (M):**

Conocido también como coeficiente de punta, es la relación entre el gasto máximo diario y el gasto medio diario. Es un factor pico o de simultaneidad que se selecciona de acuerdo con las características propias de la población ya que depende principalmente del número de habitantes servidos.

Para determinar el coeficiente de mayorización es necesaria la utilización de fórmulas que relacionen el coeficiente con la magnitud de población. En este caso, se tomará en cuenta el Coeficiente de Harmon, el mismo que es recomendado para poblaciones de 1000 a 100000 habitantes. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{P}} \quad \text{Ec. (10)}$$

$$P = \frac{x}{1000} \quad \text{Ec. (11)}$$

• **Caudal de Infiltración (Q<sub>i</sub>):**

En toda instalación de tuberías independiente de su material no se puede evitar por completo la infiltración, es por ello que dependiendo del material y el nivel freático en donde las tuberías han sido instaladas se debe de obtener el factor *f* de infiltración por medio de tablas. El caudal de infiltración se calcula con la siguiente ecuación:

$$Q_i = f * \frac{L}{1000} \quad \text{Ec. (12)}$$

Donde:

L= Longitud de la tubería (m)

- **Caudal por Conexiones Erradas ( $Q_e$ ):**

Se determina este caudal cuando existe una mala instalación de tuberías, para ello se debe considerar un caudal máximo del 5% al 10%. Se obtiene multiplicando este dato por el valor del caudal máximo de cada tramo de la red de alcantarillado.

$$Q_e = Q_{MD} * \% \text{ Pérdidas}$$

Ec. (13)

- **Caudal Industrial ( $Q_{ind}$ ):**

Hace referencia a las aguas de desecho que se generan en los procesos de producción de una industria. Para el cálculo del caudal industrial se debe de tener en cuenta el sistema de abastecimiento de agua y el régimen de trabajo de la industria, así como también instalaciones de tratamiento dentro de la misma. (25)

- **Caudal Diseño ( $Q_D$ ):**

Para el cálculo del Caudal Diseño es necesario valorar la cantidad de aguas residuales y pluviales evacuadas por el sistema de alcantarillado. Para la red de alcantarillado combinado el Caudal Diseño se obtiene a través de la sumatoria de los caudales máximo diario, caudal pluvial, caudal de infiltración, caudal por conexiones erradas y caudal industrial:

$$Q_D = Q_{MD} + Q_p + Q_i + Q_e + Q_{ind.}$$

Ec. (14)

- **Caudal Mínimo Diseño ( $Q_d$ ):**

Es el valor que se acepta como límite inferior del menor gasto probable para cualquier tramo de la red de alcantarillado, el mismo que tiene un valor de 2,2 L/s y que corresponde a la descarga de un inodoro.

- **Caudal de Diseño de Aguas Lluvia ( $Q_p$ ):**

Cuando llueve en una localidad el agua no infiltrada escurre por las calles y en el terreno natural hacia las partes bajas donde finalmente puede almacenarse o conducirse hacia los arroyos naturales. A este tipo de caudal se le conoce como caudal de aguas lluvia o caudal de escurrimiento.

Para poder calcular el caudal pluvial se procederá a utilizar el Método Racional.

- ✓ **Método Racional:** se utiliza para la estimación del escurrimiento superficial en cuencas tributarias con una superficie inferior a 100 hectáreas (5 km<sup>2</sup>). Dentro de éste método el caudal de escurrimiento se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$Q_p = 2,78 * C * I * A \quad \text{Ec. (15)}$$

Donde:

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

I = Intensidad de lluvia (mm/h)

A = Área de la cuenca (ha)

Para la aplicación este método se debe de disponer de los datos de las curvas, intensidad, duración y frecuencia de los registros de lluvia en el área de estudio.

#### ➤ **ANÁLISIS DE TORMENTAS**

El término TORMENTA se aplica para definir la perturbación violenta de la atmósfera debida a fuertes vientos y precipitaciones.

Se caracteriza por la coexistencia de dos o más masas de aire de diferentes temperaturas que provocan una inestabilidad en el ambiente con la inclusión de varios fenómenos meteorológicos como truenos, relámpagos, lluvias, granizos, entre otros. Una tormenta puede llegar a durar desde unos pocos minutos hasta varias horas o días, abarcando extensiones variadas de terrenos, zonas o incluso regiones. (38)

El análisis de tormentas es un estudio que permite comprender mejor los cálculos previos al diseño de una obra de ingeniería hidráulica. Es preferible diseñar una obra para la tormenta de máxima intensidad y de una duración definida ya que con esto se procura una protección absoluta y la defensa contra una tormenta de características bien definidas, o de una determinada probabilidad de ocurrencia.

Los elementos fundamentales del análisis de tormentas son la intensidad, la duración y la frecuencia.

- **Intensidad de Precipitación (Im):**

La intensidad de precipitación es la cantidad de agua caída por unidad de tiempo. Para una tormenta se debe tomar en cuenta la intensidad máxima que se haya presentado.

- **Duración (t):**

Se refiere al tiempo que transcurre entre el comienzo y el fin de una tormenta. Dentro de este concepto también se toma en cuenta el período de duración, el mismo que es el período de tiempo tomado en minutos u horas dentro del total que dura una tormenta. Estos parámetros se obtienen a través de un pluviograma. La duración se calcula con la siguiente ecuación:

$$t = t_e + t_r \quad \text{Ec. (16)}$$

Donde:

$t_e$  = Tiempo de concentración inicial (min)

$t_r$  = Tiempo de recorrido en el colector (min)

- **Tiempo de concentración inicial ( $t_e$ ):**

Es aquel tiempo expresado en minutos en el cual, la gota de agua ubicada en el punto más lejano llega a la salida de la cuenca. Este tiempo de concentración puede variar desde unos pocos minutos hasta una o varias horas, dependiendo principalmente de las condiciones fisiográficas de la cuenca. El tiempo de concentración se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$t_e = \frac{0,275 (L^{1,155}) * (e^{-1,7802C})}{H^{0,385}} \quad \text{Ec. (17)}$$

Donde:

L = Longitud entre el punto más alejado y el punto inicial de recolección (m)

H = Diferencia de nivel entre el punto más alejado y el punto de ingreso (m)

C = Coeficiente de escurrimiento (adimensional)

En los tramos iniciales para el tiempo de concentración se tomará un valor de 15 minutos.

- **Tiempo de Recorrido (tr):**

Es el tiempo expresado en minutos que se demora en recorrer la gota de agua desde el punto más lejano hasta la salida de la cuenca. Al tiempo de recorrido se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$t_r = \frac{L}{60 * V}$$

Ec. (18)

Donde:

L = Longitud del tramo (m)

V = Velocidad media asumida (m/s)

- **Frecuencia (f):**

Es el número de veces que se repite una tormenta con características de intensidad y duración definidas, en un período de tiempo más o menos largo, tomado generalmente en años.

- **Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia:**

Las curvas IDF permiten representar los valores de intensidad, duración y frecuencia, en formas más manejables y de fácil lectura, mediante dos métodos:

1. Construcción de gráficos de Curvas de Duración – Intensidad – Frecuencia.
2. Empleando la siguiente fórmula empírica:

$$I_m = \frac{a}{(b + t)^c}$$

Ec. (19)

Donde:

I<sub>m</sub> = Intensidad máxima de precipitación (mm/h)

t = Tiempo de concentración (h)

a, b, c = constantes que dependen del lugar de estudio

- **Coefficiente de Escurrimiento (C):**

El coeficiente de escurrimiento es un parámetro que relaciona el escurrimiento y la lluvia en función de su intensidad, duración y frecuencia.

Éste factor no es constante, y depende principalmente de las condiciones y características del suelo, los efectos de infiltración, evaporación, almacenamiento por retención superficial, absorción de la capa vegetal que cubre la superficie, topografía del terreno, entre otros. El coeficiente de escorrentía se obtiene por medio de la siguiente ecuación:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A}$$

Ec. (20)

Donde:

$C_i$  = Coeficiente de Escorrentía para cada tramo de la red de alcantarillado.

$A_i$  = Área para cada tramo de la red de alcantarillado.

$A$  = Área total en la que cae la lluvia (m)

A continuación se nombra una tabla de valores de C recomendados por la Norma para estudio y diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, numeral # 5.4.2.2, para frecuencias entre 2 y 10 años:

**TABLA VI**  
**Valores del coeficiente de escurrimiento**

TIPO DE ZONA	VALORES DE C
Zonas centrales densamente construidas, con vías y calzadas pavimentadas.	0,7 – 0,9
Zonas adyacentes al centro de menor densidad poblacional con calles pavimentadas.	0,7
Zonas residenciales medianamente pobladas.	0,55 – 0,65
Zonas residenciales con baja densidad.	0,35 – 0,55
Parques, campos de deportes.	0,1 – 0,2

\*FUENTE: Norma ecuatoriana – INEN – C.E.C.

**TABLA VII**  
**Valores del coeficiente de escurrimiento para diferentes tipos de superficies.**

TIPO DE SUPERFICIE	C
Cubierta metálica o teja vidriada	0,95
Cubierta con teja ordinaria o impermeabilizada	0,9
Pavimentos asfálticos en buenas condiciones	0,85 – 0,9
Pavimentos de hormigón	0,8 a 0,85
Empedrados (juntas pequeñas)	0,75 – 0,8
Empedrados (juntas ordinarias)	0,4 – 0,5
Pavimentos de macadam	0,25 – a 0,6
Superficies no pavimentadas	0,1 – 0,3
Parques y Jardines	0,05 – 0,25

\*FUENTE: Norma ecuatoriana – INEN – C.E.C.

- **Periodo de retorno:**

El periodo de retorno para el escurrimiento se determina en función de si el sistema en estudio es de micro o macro drenaje, o también en función de la importancia del sector, daños y molestias que puedan provocar inundaciones.

➤ **DIÁMETRO (mm)**

- **Diámetro Mínimo (d):**

Según datos establecidos por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Dirección de Ingeniería, de la Ciudad de Riobamba, el diámetro mínimo para los colectores combinados y pluviales debe de ser de 300 mm. Además se debe de procurar que la capacidad real de transporte de las tuberías no exceda el 60% de su capacidad a tubo lleno.

**TABLA VIII**  
**Diámetro mínimo para tuberías.**

<b>TIPO DE TUBERÍA</b>	<b>Diámetro (mm)</b>
Conexión Domiciliaria	150
Tirante de Sumidero	200
Colectores Sanitarios	250
Colectores Combinados y pluviales	300
Sifón invertido	150

\*FUENTE: EMAPAR

➤ **PENDIENTE (%)**

Es la diferencia de alturas que existe por longitud de cada tramo de la red de alcantarillado. Se determina con la finalidad de obtener volúmenes menores de excavación, para ello las tuberías deben seguir la pendiente natural del terreno considerando una pendiente mínima permisible. En caso de que la pendiente sea muy pronunciada o muy débil y no permita cumplir con la velocidad mínima y/o máxima, se procederá a variar el valor de la pendiente hasta que cumpla con las condiciones de autolimpieza o este dentro del rango de velocidades permitido (25).

La pendiente se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{\Delta H}{L} * 100 \%$$

Ec. (21)

Donde:

$\Delta H$  = Diferencia de alturas (m)

L = Longitud (m)

### ➤ **AUTO LIMPIEZA**

Se conoce como Auto limpieza al proceso a través del cual la velocidad de flujo en un conducto impide la sedimentación de partículas sólidas. La capacidad hidráulica del sistema debe de ser suficiente para el Caudal Diseño, con una velocidad de flujo que produzca auto limpieza. (25)

- **Tensión Tractiva ( $\tau$ ):**

Es la resistencia que presenta el fluido al moverse con respecto a la pared de la tubería. Para poder asegurar la pendiente de auto limpieza se recomienda un valor mínimo de fuerza tractiva de 1 Pascal (Pa). Se obtiene a través de la siguiente ecuación:

$$\tau = \rho * g * rh * S$$

Ec. (22)

Donde:

g = Gravedad ( $m/s^2$ )

rh= Radio hidráulico para caudal final(m)

S = Gradiente hidráulica (adimensional)

$\rho$  = Densidad del fluido ( $Kg/m^3$ )

La densidad del fluido es igual a la densidad del agua la misma y que tiene un valor de  $\rho=1000 \text{ kg/m}^3$ .

### ➤ **RÉGIMEN HIDRÁULICO**

Los cálculos hidráulicos permiten tener una visión de la superficie del líquido al momento en que se producen fenómenos hidráulicos como posibles saltos, curvas de remanso, entre otros.

La tubería nunca debe funcionar llena, por lo que siempre debe estar debajo de la corona del tubo esto con el fin de que exista un espacio de ventilación del líquido y así puede evitar la acumulación de gases tóxicos dentro de la misma. (25)

- **Radio Hidráulico ( $R_H$ ):**

Es el cociente entre el área de la sección mojada y el perímetro mojado de un canal el mismo que puede ser de forma rectangular, triangular, trapezoidal, circular, irregular, o de secciones especiales. Se emplea en el cálculo de pérdidas de carga según la fórmula de Manning.

Para el caso de una sección circular completamente llena el radio hidráulico estará en función del diámetro y se expresará de la siguiente manera:

$$R_H = \frac{\varnothing}{4}$$

Ec. (23)

Donde:

$\varnothing$  = Diámetro (mm)

- **Velocidad (V):**

Es una magnitud física que expresa la variación por unidad de tiempo de alguna de las características de un fenómeno. Para el cálculo de la velocidad en las tuberías del sistema de alcantarillado se utiliza la Fórmula de Manning descrita a continuación:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Ec. (24)

Donde:

n= Coeficiente de rugosidad (adimensional)

R = Radio Hidráulico (m)

S =Pendiente del tubo (m/m)

✓ **Velocidad Mínima (v):** Es la mínima velocidad permitida en la red de alcantarillado para prevenir la sedimentación de sólidos.

Para el diseño de un sistema de alcantarillado combinado la velocidad mínima a utilizarse debe ser de 0,9 m/s a tubo lleno.

- ✓ **Velocidad Máxima (V):** Es la máxima velocidad permitida en la red de alcantarillado para evitar la erosión. Depende del material utilizado en las tuberías.

La velocidad máxima, en cualquier año del periodo de diseño no debe de ser menor a 0,45 m/s, de preferencia debe de ser mayor a 0,6 m/s, con el fin de impedir la acumulación de gas sulfhídrico en el líquido. (25)

- ✓ **Velocidad Crítica (V<sub>c</sub>):** Es la velocidad máxima permisible para cada tramo de la red de alcantarillado. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$V_c = 6 \sqrt{g * rh}$$

Ec. (25)

Donde:

V<sub>c</sub> = Velocidad crítica (m/s)

g = aceleración de la gravedad (9,8 m/s<sup>2</sup>)

rh = Radio Hidráulico para caudal final (m)

- **Material de la Tubería:**

El material con el que se instalará la tubería debe de cumplir con los estándares de calidad establecidos y además debe de ser resistente a las infiltraciones generadas, esto con el fin de garantizar seguridad en el sistema de alcantarillado. Para poder elegir el material de la tubería se debe de considerar las características físico – químicas del agua que se desea transportar, así como también las características del terreno, y otros factores que puedan alterar la integridad de la tubería.

- **Coefficiente de rugosidad (n):**

Proveniente de la Fórmula de la Velocidad de Manning, es un valor que está determinado por el tipo de material de la tubería. Este coeficiente varía según el tipo de textura del material, además influye el número de conexiones domiciliarias, cámaras de inspección, y otras instalaciones que pueden provocar rugosidad debido al grado de incertidumbre por lo que es recomendable no utilizar un valor menor a 0,013 para este coeficiente.

**TABLA IX**  
**Velocidad Máxima y Coeficiente de Rugosidad permisibles según el tipo de material.**

MATERIAL	VELOCIDAD MÁXIMA (m/s)	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD (n)
Tubería de hormigón simple y/o armado	3,5 – 4	0,013 – 0,015
Tubería plástica	4,5	0,010 – 0,015
Tubería de asbesto / cemento	4,5 - 5	0,011 – 0,015

\*FUENTE: EMAPAR, Norma ecuatoriana – INEN – C.E.C., Norma colombiana - RAS 2000

- **Caudal máximo que soporta la tubería a tubo lleno (Q<sub>A</sub>):**

El caudal actual se calcula por medio de la ecuación de la continuidad:

$$Q = V * A \tag{Ec. (2)}$$

Donde:

A = Área de la sección circular (m<sup>2</sup>)

$$A = \frac{\pi * \varnothing^2}{4} \tag{Ec. (26)}$$

Donde:

∅ = Diámetro de la tubería (m)

- **PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN (P<sub>e</sub>)**

Para la profundidad y ubicación de las tuberías se ha tomado en cuenta los numerales 5.2.1.3, 5.2.1.4, y 5.2.1.5 de la Norma para estudio y diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes. Se consideró un relleno mínimo de 1,20 m como seguridad para que la tubería soporte el tránsito vehicular.

- **COTAS DEL TERRENO**

Las cotas son valores que indican la altura de un punto sobre el nivel del mar o sobre otro plano de nivel, y en este caso indican la altura de cada pozo superior e inferior de los tramos de la red de alcantarillado combinado.

- **Cota Solera (Cs)**

Se calculan con una resta de los valores de altitud, profundidad de excavación y diámetro de la tubería de cada tramo superior e inferior de la red de alcantarillado, de la siguiente manera:

**\*Superior:**

$$Cs_s = Ct_s - Pe_s - D \quad \text{Ec. (27)}$$

**\*Inferior:**

$$Cs_i = Ct_i - Pe_i - D \quad \text{Ec. (28)}$$

### **1.3.4 SISTEMAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Los sistemas de tratamiento para aguas residuales se diseñan con la finalidad de remover sólidos suspendidos, DBO, microorganismos patógenos, nitrógeno, fósforo, sustancias orgánicas (detergentes, fenoles y pesticidas), trazas de metales pesados y sustancias inorgánicas disueltas. (4)

La capacidad y la eficiencia del sistema de tratamiento a aplicar esta en función de su diseño. La selección de un proceso de tratamiento está en base a un estudio individual de cada proyecto, de acuerdo a las eficiencias de remoción requeridas y el presupuesto destinado para las posibles soluciones técnicas.

En base a su ubicación en el proceso de limpieza los tratamientos para aguas residuales se clasifican en cuatro grupos: pretratamientos, tratamientos primarios, tratamientos secundarios, y tratamientos terciarios o avanzados siendo éstos últimos utilizados para fines más específicos.

#### **1.3.4.1 PRETRATAMIENTO**

El Pretratamiento se realiza por medio de procesos físicos y/o mecánicos dispuestos convencionalmente de modo que permitan la retención y remoción de materiales extraños presentes en el agua a tratar y eviten interferencias en los procesos de tratamiento posteriores.

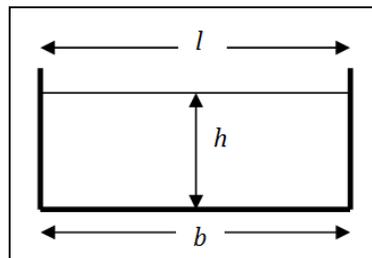
### 1.3.4.1.1 CANAL DE LLEGADA

El canal es una estructura abierta a la atmósfera destinada al transporte de fluidos. Está formado por diferentes dispositivos como: vertederos, compuertas, sifones, canaletas Parshall, y entre otros que permiten el control del caudal y el nivel del agua que está transportando. Los canales pueden ser de dos tipos:

- **Canales Naturales:** existen de una manera natural en la tierra como por ejemplo: arroyos, arroyuelos, ríos, estuarios de mareas, entre otros.
- **Canales Artificiales:** son construidos sobre el suelo mediante esfuerzo humano. Pueden ser revestidos con roca, concreto, madera y materiales bituminosos.

#### ➤ DISEÑO DE UN CANAL ARTIFICIAL

El diseño del canal artificial se define en términos de la profundidad de flujo y de las dimensiones de la sección. Generalmente se diseñan con secciones de figuras geométricas regulares siendo así rectangulares, trapezoidales, triangulares, entre otros. Se debe tener en cuenta algunos elementos geométricos y factores como: tipo de material, coeficiente de rugosidad, velocidad máxima y mínima permitida, pendiente del canal, taludes, entre otros. A continuación se presenta los elementos geométricos para la elaboración de un canal artificial de sección rectangular:



\*FUENTE: Norma ecuatoriana – INEN

Fig. N°1: Elementos geométricos de un canal.

- **ALTURA (h):** Indica la altura del agua en el canal. Se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$h = 1.6624 * K^{0,74232} * b$$

Ec. (29)

Donde:

K = Coeficiente de Manning (adimensional)

b = Ancho del canal (m)

- **COEFICIENTE DE MANNING (K):** Permite verificar la velocidad que debe manejarse en el canal. Se calcula por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{Q_{md} * n}{b^{8/3} * S^{1/2}}$$

Ec. (30)

Donde:

$Q_{md}$  = Caudal medio diario ( $m^3/s$ )

$n$  = Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

$b$  = Ancho del canal (m)

$S$  = Pendiente del canal (m/m)

- ✓ **Coeficiente de Rugosidad (n):** Se tomará un valor de rugosidad según la superficie o material a utilizarse en la construcción del canal. (25)
- ✓ **Pendiente (S):** El cálculo de la pendiente se la realizará con una ecuación conocida o a su vez se asumirá un valor considerando las modificaciones que puede sufrir el sector donde se realizará el canal. (25)
- **RADIO HIDRÁULICO ( $R_H$ ):** Para el caso de una sección rectangular el radio hidráulico estará en función del ancho y altura del canal, y se expresará de la siguiente manera:

$$R_H = \frac{b * h}{b + 2 * h}$$

Ec. (31)

- **VELOCIDAD (V):** El cálculo de la velocidad en el canal se determinará por medio de la Fórmula de Manning:

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Ec. (24)

La Norma para estudio y diseño de Sistemas de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para poblaciones mayores a 1000 habitantes, numeral #5.2.2.4 - Tabla #16, recomienda los valores para la velocidad máxima según el tipo de material a utilizarse en la construcción del canal.

### 1.3.4.1.2 CRIBADO

La operación del cribado se utiliza para separar materiales gruesos presentes en el agua mediante el paso de la misma a través de una criba o rejilla. Sus objetivos principales son dos:

- a) Reducir los sólidos en suspensión, de distintos tamaños, que trae consigo el influente de agua cruda.
- b) Evitar la obstrucción de los conductos, bombas, válvulas, entre otros para proteger los equipos.

Por tal razón, el cribado es la primera operación que se lleva a cabo en el efluente de agua.

#### ➤ CLASIFICACIÓN DE LAS REJILLAS

La distancia entre las barras de las rejillas depende del tamaño de partículas que se desea retener. El canal en donde se encuentran las rejillas debe diseñarse de tal manera que la velocidad del agua no se reduzca a menos de 0.60 m/s, esto con el fin de evitar la sedimentación de materiales pétreos retenidos en el mismo. En base a este dato se puede encontrar la siguiente clasificación:

**TABLA X**  
**Clasificación de las Rejillas.**

<b>1. De acuerdo al método de limpieza</b>	Limpieza Manual
	Limpieza Mecánica (Automática)
<b>2. Según el tamaño de las aberturas</b>	Rejillas gruesas: Aberturas iguales o mayores de 0,64 cm (1/4 pulgada).
	Rejillas Finas: Aberturas menores de 0.64 cm.
<b>3. De acuerdo a su colocación</b>	Rejillas Fijas
	Rejillas Móviles
<b>4. Según la sección transversal de sus barras</b>	Cuadradas, rectangulares, circulares o aerodinámicas.
<b>5. Dependiendo del tamaño de materia que se desea remover</b>	Finas (0,1 – 1,5 cm)
	Medianas (1,5 – 2,5 cm)
	Gruesas (2,5 – 5,0 cm).

\*FUENTE: Jairo Romero Rojas – Tratamiento de Aguas Residuales

### ➤ DISEÑO DE REJILLAS

En la mayoría de países en vías de desarrollo las rejillas más utilizadas son las de limpieza manual. A continuación se detalla el dimensionamiento de rejillas de limpieza manual.

- **Ubicación de las rejillas:** El emparrillado de las rejillas debe estar inclinado con respecto al piso del canal donde se instalan. El canal debe preferiblemente ser horizontal, recto y perpendicular a la rejilla, para promover una distribución uniforme de los sólidos retenidos por ella.
- **Área libre al paso del agua (al):** Indica el flujo presente en el canal. Se recomienda que éste flujo tenga una velocidad no menor a 0,5 m/s ya que así se procura detener los materiales bastos permitiendo el paso de las partículas pequeñas a través de las barras. El área libre al paso del agua se calcula con la ecuación siguiente ecuación:

$$Al = \frac{Q}{V_b}$$

Ec. (32)

Donde:

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

V<sub>b</sub> = velocidad mínima a través de las barras (m/s)

- **Tirante de agua en el canal (h):** Indica la altura del agua dentro del canal. Se calcula con la fórmula del área despejando la altura como se muestra a continuación:

$$h = \frac{Al}{b}$$

Ec. (33)

Donde:

b = Ancho del canal de llegada (m)

- **Altura total del canal (H):** Es la sumatoria de la altura de agua en el canal y una altura de seguridad que generalmente es un valor propuesto. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$H = h + H_s \quad \text{Ec. (34)}$$

Donde:

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

- **Longitud de las barras (L<sub>b</sub>):** La longitud de las barras no debe exceder de la que permita su limpieza conveniente por el operador. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$L_b = \frac{H_s}{\sin \alpha} \quad \text{Ec. (35)}$$

Donde:

$\alpha$  = Ángulo de inclinación de las rejillas con respecto a la horizontal del canal.

Se recomienda un ángulo de inclinación de las barras entre 44° y 60° con respecto a la horizontal. (25)

- **Número de barras (n):** El número de barras está a consideración del ingeniero que las diseña; sin embargo por cuestiones de mantenimiento es recomendable instalar de 2 a más barras. El número de barras se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$n = \left( \frac{b}{e + S} \right) - 1 \quad \text{Ec. (36)}$$

Donde:

e = separación entre barras (m)

S = Espesor máximo de las barras (m)

Se recomienda valores entre 25 mm y 50 mm para el espaciamiento entre barras. (25)

- **Pérdida de carga en las rejillas (hf):** Conocida también como pérdida de energía, es la diferencia de alturas antes y después de las rejillas, dada en metros. La pérdida de carga en una rejilla depende principalmente de la frecuencia con la que se limpia y la cantidad de material de desecho que lleva el agua a tratar, es por ello que este parámetro está en función de la forma de las barras y de la altura o energía de velocidad del flujo entre las mismas.

“En ningún caso se permite una pérdida de energía mayor a 75 cm (0,75 m).” (4)

El cálculo de la pérdida de carga para una rejilla limpia se calcula con la siguiente ecuación propuesta por Kirschmer en 1926:

$$hf = \beta \left(\frac{S}{e}\right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \text{Sen } \alpha$$

Ec. (37)

Donde:

$\beta$  = Factor dependiente de la forma de las barras

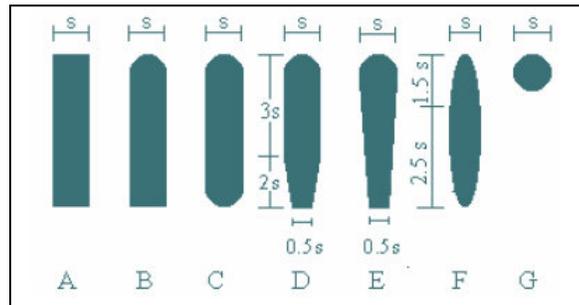
$V^2/2g$  = Carga de velocidad antes de la reja (m)

Para el valor del factor dependiente de la forma de las barras se puede basar en la tabla de valores que se presenta a continuación:

**TABLA XI**  
**Coficiente de Pérdida para Rejillas**

Sección Transversal							
Forma	A	B	C	D	E	F	G
$\beta$	2,42	1,83	1,67	1,035	0,92	0,76	1,79

\*FUENTE: Jairo Romero Rojas – Tratamiento de Aguas Residuales



\*FUENTE: Norma colombiana - RAS 2000

Fig. N°2: Diferentes formas de Rejillas.

#### 1.3.4.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

El Tratamiento primario es el sistema más sencillo en el tratamiento de aguas. Tiene la función de preparar el agua a tratar limpiándola de todas aquellas partículas que por sus dimensiones pueden llegar a alterar los demás procesos consecuentes.

Generalmente el tratamiento primario remueve alrededor del 60% de sólidos suspendidos y entre el 30 a 40% de DBO. (4)

### 1.3.4.2.1 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación, conocida también como decantación, es el proceso mediante el cual los sólidos en suspensión de un fluido se separan del mismo por acción de la gravedad.

Generalmente el agua en movimiento arrastra partículas granulares y materia floculenta de carácter liviano, manteniéndolos en suspensión. La remoción de éstos materiales se logra reduciendo la velocidad del agua para que de esta manera las partículas en suspensión se depositen en un determinado tiempo de retención. Este fenómeno se produce en los decantadores.

El decantador es un tanque de sección rectangular o circular, cuyo fondo muchas veces está inclinado hacia uno o más puntos de descarga. Este tanque posee dispositivos de entrada y salida del agua, previstos para evitar zonas muertas y obtener una mejor distribución del líquido en el interior de la unidad.

#### ➤ TIPOS DE CLARIFICACIÓN DEL AGUA POR SEDIMENTACIÓN

La sedimentación comprende un grupo de acciones diferentes según el tipo y concentración de sólidos en suspensión que posee el agua a tratar, es por ello que el proceso de sedimentación se usa para diferentes propósitos.

**TABLA XII**  
***Tipos de clarificación del agua por sedimentación***

<b>TIPO</b>	<b>FUNDAMENTO</b>
<b>Sedimentación primaria o Tipo 1</b>	Remueve sólidos sedimentables y material flotante reduciendo el contenido de sólidos suspendidos. Las partículas en suspensión son idealizadas como partículas discretas es decir, no cambian de densidad, tamaño o forma al descender en el líquido.
<b>Sedimentación intermedia o Tipo 2</b>	Remueve sólidos y crecimientos biológicos preformados en reactores biológicos intermedios. En este caso las partículas se aglomeran agrupándose en partículas de mayor tamaño, se adhieren entre sí cambiando de tamaño, forma y peso específico durante la caída.
<b>Sedimentación secundaria o Tipo 3</b>	Remueve la biomasa y sólidos en suspensión de reactores biológicos secundarios. Las partículas interfieren entre sí en su descenso manteniendo posiciones estables y formando un manto de lodos que flota en el líquido.
<b>Sedimentación terciaria o Tipo 4</b>	Remueve sólidos suspendidos y floculados, o precipitados químicos. Se forma una estructura entre las partículas que va modificándose lentamente con el tiempo. Se da en soluciones de alta concentración y forma un manto de lodos igual que el proceso anterior.

\*FUENTE: Teoría y práctica de la purificación del Agua – Jorge Arboleda Valencia.

➤ **CLASIFICACIÓN DE LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN**

Básicamente, existen tres tipos de tanques de sedimentación clasificados según el sentido del flujo, el tipo de clarificación que se genera, y el uso al que son destinados en las unidades de decantación:

**TABLA XIII**  
**Clasificación de los Tanques de Sedimentación**

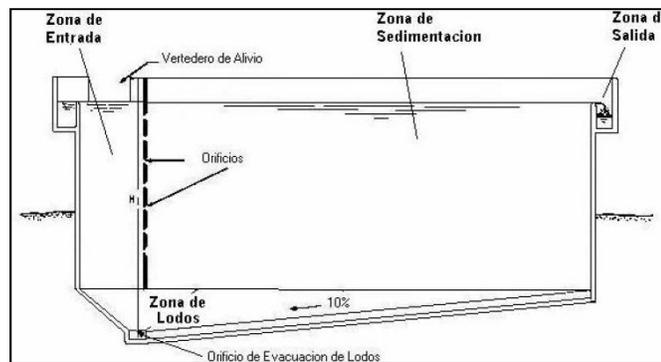
Sentido del flujo	Tipo de sedimentación	Carga Superficial (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d)	Ejemplo
Flujo Horizontal	1 y 2	200 – 420	Desarenadores
		15 – 30	
Flujo Vertical	2 y 3	45 – 60	Manto de Lodos
Flujo ascensional	1 y 2	120 - 180	Decantadores con módulos o placas

\*FUENTE: Teoría y Práctica de la Purificación del Agua – Jorge Arboleda Valencia.

➤ **DISEÑO DEL TANQUE DE SEDIMENTACIÓN**

Para el diseño del sedimentador se tomará en cuenta el modelo teórico de Hazen y Camp conocido como Sedimentación Convencional, el cual consiste en la descripción del funcionamiento de un sedimentador con clarificación tipo 1 y de flujo horizontal. Este modelo se basa en la concepción de un tanque ideal en donde la sedimentación se realiza exactamente en la misma manera que en un recipiente de igual profundidad que contiene un líquido que está en reposo. (1)

Para este modelo de sedimentación se determinan cuatro zonas independientes: Entrada, Salida, Sedimentación y Retención de partículas sedimentadas.



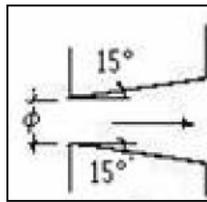
\*FUENTE: CEPIS.

Fig. N°3: Sedimentador Convencional

- **ZONA DE ENTRADA:**

Permite una distribución uniforme de partículas a lo largo de toda la altura del sedimentador. Para la zona de entrada se diseñará una pantalla difusora la misma que se ubicará entre 0,7 y 1,00 m de distancia de la pared de entrada, y mínimo 0,80 m de distancia de la pared interior del sedimentador para poder realizar la limpieza. La pantalla difusora estará formada por orificios: Los orificios más altos de la pared difusora deben estar a 1/5 o 1/6 de altura a partir de la superficie del agua y los más bajos entre 1/4 ó 1/5 de altura a partir de la superficie del fondo. (28)

La velocidad en los orificios no debe sobrepasar los 0,15 m/s de velocidad para no provocar turbulencias dentro de la zona de sedimentación, y se debe aboquillar los orificios en un ángulo de 15° en el sentido del flujo como se muestra en la figura:



\*FUENTE: CEPIS.

Fig. N°4: Detalle de los orificios aboquillados

El área total de los orificios se calcula con la siguiente ecuación:

$$A_o = \frac{Q}{V_o} \quad \text{Ec. (38)}$$

Donde:

Q = Caudal diseño (m<sup>3</sup>/s)

V<sub>o</sub> = Velocidad de paso entre orificios (m/s)

Se asume un valor para el diámetro del orificio y se calcula su área con la ecuación para un área de sección circular:

$$a_o = \frac{\pi * \phi^2}{4} \quad \text{Ec. (39)}$$

A continuación se determina el número de orificios dividiendo los valores de las áreas obtenidas con la siguiente ecuación:

$$n_o = \frac{A_0}{a_0}$$

Ec. (40)

- **ZONA DE SEDIMENTACIÓN:**

Se da dentro de un canal rectangular con volumen, longitud y condiciones de flujo adecuados para la sedimentación de partículas. En la zona de sedimentación la dirección del flujo es horizontal, y su velocidad es la misma en todos los puntos de la zona. Generalmente los sedimentadores deben diseñarse para una mínima temperatura esperada del agua y para un tamaño mínimo de partículas, ya que con esto se garantiza que se removerán por completo las demás partículas de gran tamaño.

La velocidad crítica de sedimentación es la velocidad mínima a la cual las partículas empiezan a asentarse del flujo en el que se encuentran presentes hacia un depósito estacionario a lo largo de la pendiente del conducto. El cálculo de la velocidad de sedimentación se determina de acuerdo a los diámetros que presentan las partículas del agua a tratar, y está en función del número de Reynolds de las mismas. En base a esto tenemos:

- ✓ **Partículas Discretas (V<sub>si</sub>):** Son todas aquellas partículas que no cambian de características físicas: forma, tamaño y densidad, durante el proceso de tratamiento. La velocidad de sedimentación para las partículas discretas se calculará con la ecuación de la Ley de Stokes:

$$V_{si} = \frac{g}{18} * \left( \frac{\rho_p - \rho}{\mu} \right) * d_{pd}^2$$

Ec. (41)

Donde:

g = Aceleración de la gravedad (cm/s<sup>2</sup>)

ρ<sub>p</sub> = Densidad de la partícula (g/cm<sup>3</sup>)

ρ = Densidad del agua (g/cm<sup>3</sup>)

μ = Viscosidad Dinámica del Agua (g/cm·s)

d<sub>pd</sub> = Diámetro de la Partícula Discreta (cm)

- ✓ **Partículas Críticas (Vsc):** Se define como partícula crítica a aquella que si se encontrara al ras con la superficie del agua a tratar y pasara la zona de entrada a la zona de sedimentación, llegara a la zona de lodos justo cuando la masa de agua que la transporta llega a la zona de salida. La velocidad de sedimentación para las partículas críticas se calculará con la ecuación de la Ley de Allen:

$$V_{sc} = 0,22 * \left( \frac{\rho_p - \rho}{\rho} * g \right)^{2/3} * \left[ \frac{d_{pc}}{(v)^{1/3}} \right]$$

Ec. (42)

Donde:

$v$  = Viscosidad Cinemática del Agua (g/cm·s)

$d_{pc}$  = Diámetro de la Partícula Crítica (cm)

- ✓ **Período de retención hidráulico (P<sub>RH</sub>):** Se define como el tiempo que se demora en llegar la partícula de diseño a la zona de lodos. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_{RH} = \frac{Vol}{Q}$$

Ec. (43)

Donde:

Vol = Volumen de la zona de sedimentación (m<sup>3</sup>)

Q = Caudal de diseño (m<sup>3</sup>/s)

- ✓ **Altura máxima para partículas discretas (h):** Es la máxima altura a partir del fondo del sedimentador a la cual la partícula discreta puede llegar a la zona de lodos en un tiempo de retención hidráulico determinado. Se calcula como sigue:

$$h = V_{si} * P_{RH}$$

Ec. (44)

- ✓ **Altura máxima para partículas críticas (H):** Es la distancia máxima que la partícula crítica alcanza a recorrer la zona de sedimentación en un tiempo de retención hidráulico determinado. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$H = V_{sc} * P_{RH}$$

Ec. (45)

- ✓ **Área Superficial en la zona de sedimentación (As):** Se calcula tomando en cuenta el valor de la velocidad de sedimentación para partículas discretas:

$$As = \frac{Q}{V_{si}}$$

Ec. (46)

- ✓ **Longitud de la zona de sedimentación (L):** Se recomienda mantener la relación entre largo, ancho y profundidad de la zona de sedimentación, para ello:

La relación entre las dimensiones de largo y ancho (L/w) debe estar entre 3 a 6. La relación entre las dimensiones de largo y profundidad (L/h) será entre 5 a 20.

Y se debe guardar una relación entre las velocidades de flujo y las dimensiones de largo y profundidad. (28)

La longitud de la zona de sedimentación se calculará a partir de la siguiente ecuación:

$$L = \frac{Q}{V_{si} * w}$$

Ec. (47)

- ✓ **Velocidad Horizontal (Vh):** Dentro de la zona de sedimentación la velocidad horizontal del líquido puede provocar el arrastre de las partículas que ya han sido sedimentadas, es por eso que se establece la condición de que la velocidad horizontal debe ser menor a la velocidad de arrastre. La velocidad horizontal se calculará con la ecuación que sigue:

$$v_h = \frac{Q}{As}$$

Ec. (48)

Mientras que la velocidad de arrastre será calculada con la siguiente ecuación:

$$v_a = 125 * [(\rho_p - \rho) * d_{pd}]^{1/2}$$

Ec. (49)

- **ZONA DE RETENCIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTADAS:**

Los lodos sedimentados son recolectados dentro de una tolva que posee una tubería y una válvula para la evacuación periódica de los mismos. Todas las partículas que entran en la zona de lodos quedan atrapadas considerándose como removidas, y sin importar su tamaño todas las partículas en esta zona se comportan como partículas discretas y aisladas produciéndose así una clarificación del tipo 1.

Las partículas presentes en el agua a tratar se sedimentan en el primer tercio de la longitud del sedimentador entre el 60 y 90% aproximadamente, según este dato la longitud de tolva de lodos debe tener la siguiente forma:

- ✓ En la zona de entrada del sedimentador la pendiente de la tolva debe estar entre el 5 y 10 %, y en la zona de salida del sedimentador la pendiente de la tolva debe estar entre el 2,5 y 5 %. (14)
- ✓ El drenaje de los lodos obtenidos en la tolva se efectuará por medio de una tubería de diámetro  $\geq 12''$ . (14)

- **ZONA DE SALIDA:**

Se da por medio de canaletas, vertederos, o tubos perforados que recolectan el agua tratada sin perturbar la sedimentación de las partículas depositadas en la tolva.

Para el diseño de un vertedero de salida la longitud de la cresta del vertedero será igual al ancho del sedimentador, y el valor de la altura de agua sobre la cresta del vertedero se obtendrá por medio de la siguiente ecuación:

$$ha = \left( \frac{Q}{1,84 * b} \right)^{2/3}$$

Ec. (50)

Donde:

b = Ancho del sedimentador (m)

### 1.3.4.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario pretende la reducción de la contaminación orgánica, la coagulación y la eliminación de sólidos coloidales que son no decantables. Varios de estos tratamientos son procesos biológicos que se realizan con la ayuda de microorganismos, especialmente bacterias, y que en condiciones aerobias actúan sobre la materia orgánica presente en el agua a tratar. En este proceso también se emplea la combinación de procesos físicos y químicos.

#### 1.3.4.3.1 LA FILTRACIÓN DEL AGUA

La filtración se define como la velocidad de pasaje del agua a través de un medio filtrante o manto poroso, que se mide como la carga superficial en  $m^3/m^2/h$ . (1)

Se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$v_f = \frac{Q}{A_s}$$

Ec. (51)

Donde:

$A_s$  = Área superficial del filtro ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal del agua que entra al filtro ( $m^3/h$ )

El objetivo de la filtración es el de separar del agua que está siendo tratada las partículas y microorganismos objetables que no han sido retenidos en los procesos de tratamiento anteriores, por lo que los filtros dependen en su mayoría de dichos procesos.

Básicamente los fenómenos que se producen durante la filtración son:

- ✓ La acción mecánica de filtrar.
- ✓ La sedimentación de partículas sobre el medio filtrante.
- ✓ La floculación de partículas que estaban en formación debido al aumento de la posibilidad de contacto entre ellas.
- ✓ La formación de una película gelatinosa en el medio filtrante y que es producida por los microorganismos que se reproducen allí, (generalmente se produce en los filtros lentos).

## ➤ CLASIFICACIÓN DE LOS FILTROS

La filtración puede efectuarse de varias maneras: con baja o alta carga superficial, y en medios porosos o granulares; además, los filtros pueden trabajar a presión o por gravedad según sea la magnitud de carga hidráulica presente sobre el lecho filtrante.

**TABLA XIV**  
**Clasificación de los Filtros.**

Según la Velocidad de filtración	Según el medio filtrante usado	Según el sentido del flujo	Según la carga hidráulica sobre el lecho
<b>1. Filtros Rápidos:</b> Carga superficial de 120 a 360 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d.	<b>1. Arena:</b> Altura de 60 a 75 cm.  <b>2. Antracita:</b> Altura de 60 a 75 cm.  <b>3. Mixtos:</b> Antracita (h= 35 a 50 cm) Arena (h= 20 a 35 cm)  <b>4. Mixtos:</b> Arena, antracita, granate.	<b>1. Ascendente:</b> flujo de abajo hacia arriba.  <b>2. Descendente:</b> flujo de arriba hacia abajo.  <b>3. Mixto:</b> flujo con parte ascendente y parte descendente.	<b>1. Por gravedad</b>  <b>2. Por presión</b> Cerrados, metálicos.
<b>2. Filtros Lentos:</b> Carga superficial de 7 a 14 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /d.	<b>Arena:</b> altura de 60 a 100 cm	1. Ascendente 2. Descendente 3. Horizontal	Por gravedad

\*FUENTE: Teoría y práctica de la purificación del Agua – Jorge Arboleda Valencia.

## ➤ FILTROS BIOLÓGICOS

Permiten la remoción de materia orgánica a través de un medio poroso granular. Éste al recibir agua con suficiente carga orgánica disuelta, tiende a formar una película biológica alrededor de los granos del medio poroso. La biopelícula formada está compuesta por un grupo variado de moléculas y/o compuestos asimilables por las bacterias por lo que es capaz de alimentar varios microorganismos consumidores de la materia orgánica biodegradable de diferente tipo.

La filtración biológica puede realizarse de dos maneras distintas: con filtración rápida o filtración lenta. Además los lechos de los filtros biológicos pueden ser de cuatro tipos: lechos de arena sola, lechos mixtos de arena y antracita, lechos de antracita sola, y lechos de carbón activado granular.

➤ **FILTROS LENTOS DE ARENA**

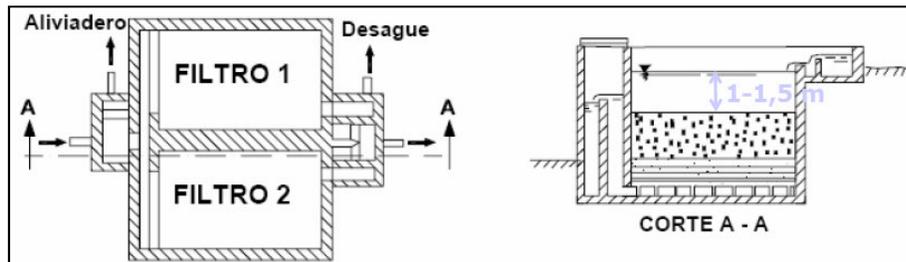
Son una de las tecnologías más antiguas de depuración de aguas residuales que se conoce, siendo muy eficaces cuando se los emplea de una manera adecuada.

Consisten en un lecho formado por material granular con granos de tamaño relativamente uniforme drenados adecuadamente en el fondo del filtro. Es un tanque que contiene una capa sobrenadante de agua residual, una capa filtrante de arena, drenajes y un juego de dispositivos de regulación y control. Se recomienda el uso de este tipo de filtros para aguas residuales con una carga superficial menor a  $12 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{s}$ .

**TABLA XV**  
**Ventajas y desventajas de los Filtros Lentos de Arena.**

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<p>-Es muy sencillo y confiable de operar con los recursos disponibles del medio rural ya que no necesita control de la velocidad: el control del flujo se lo realiza mediante vertederos.</p> <p>-El agua tratada no presenta cambios organolépticos.</p> <p>-El precio de la arena es bajo.</p>	<p>-Necesita de un pretratamiento ya que no debe de operar con aguas con turbiedades que sobrepasen los 10 UNT. Se puede aceptar una turbiedad máxima de 50 UNT.</p> <p>-La eficacia de esta unidad se reduce con la temperatura baja.</p> <p>-La presencia de plaguicidas en el afluente puede llegar a alterar o destruir el proceso microbiológico del lecho.</p>

\*FUENTE: Métodos Naturales de Depuración.



\*FUENTE: Métodos Naturales de Depuración

Fig. N°5: Filtro Lento de Arena.

➤ **DISEÑO DE UN FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA**

- **Geometría del lecho filtrante:** Consiste en un filtro biológico de flujo descendente con forma rectangular a manera de caja, que contiene 0,40 a 0,45 m de espesor de grava gruesa en el fondo con un sistema de drenes apropiados para el lecho, y sobre ella 0,90 a 1,20 m de espesor de arena fina.

Encima del lecho filtrante está ubicada una capa de agua residual a tratar de alrededor de 1,00 a 1,50 m de espesor.

La capa de grava sirve como soporte a la capa de arena durante la operación de filtración evitando que ésta escape por el sistema de drenaje, y permite una distribución uniforme del agua a tratar.

La capa de arena está constituida por un lecho de 0,90 a 1,20 m de granos finos de 0,15 a 0,30 mm de tamaño efectivo, y de 1,5 a 2,5 de coeficiente de uniformidad. El lecho de arena más fino preferiblemente debe ser de 1,59 a 2,12 mm siendo colocada sobre la grava mediante capas.

- **Área superficial (as):** El área superficial del filtro está condicionada por el caudal del agua a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros. Se deben de diseñar por lo menos dos unidades en paralelo con un área máxima de 100 m<sup>2</sup> para facilitar su limpieza. Cada una debe retener la capacidad total del flujo sin sobrecarga. El área superficial del filtro se calcula con la siguiente ecuación:

$$As = \frac{Q}{N * Vf}$$

Ec. (52)

Donde:

Q = Caudal del agua que entra al filtro (m<sup>3</sup>/h)

N = Número de unidades (adimensional)

Vf = Velocidad del Filtración (m/h)

- **Coefficiente de mínimo costo (k):** La relación de mínimo costo es un parámetro que depende del número de unidades de filtración. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$k = \frac{2 * N}{N + 1}$$

Ec. (53)

- **Ancho (b) y Longitud del filtro (L):** Las dimensiones del filtro, ancho (b) y longitud (L), se determinan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$L = (As * k)^{1/2}$$

Ec. (54)

$$b = \left(\frac{As}{k}\right)^{1/2}$$

Ec. (55)

- **Velocidad de filtración real ( $Vf_R$ ):** La velocidad de filtración real para filtros lentos debe variar entre los 0,10 y 0,12 m/h, dependiendo de la calidad del agua residual a tratar. Si el agua residual posee mayor contaminación menor será la velocidad de filtración. Se calcula con la siguiente ecuación:

$$Vf_R = \frac{Q}{(2 * As * b)}$$

Ec. (56)

- **Sistema de entrada y llenado del filtro:** El afluente debe entrar al filtro con una velocidad baja: 0,3 m/s aproximadamente para no escarificar el lecho. Además se debe de llenar mediante un sistema de drenaje apto que evite que el aire presente en el lecho filtrante quede atrapado entre los granos de arena y obstruya el paso del agua durante el proceso de filtración.
- **Sistema de drenaje y salida del agua filtrada:** Pueden ser de tres tipos:
  - a) Ladrillos tendidos, dejando un espacio de 1 cm entre ladrillos. El flujo del filtro drena hacia un colector central.
  - b) Bloques de concreto poroso en forma de puente. El flujo también drena hacia un colector central.
  - c) Tuberías de drenaje perforadas. El flujo desemboca en forma de espina de pescado hacia un colector central.

La tubería debe tener un sistema de ventilación para evitar bolsas de aire en el codo de la misma y en los drenes.

- **Control de la Carga Superficial:** La velocidad de flujo del agua presente en el filtro suele ser constante por lo que es regulada mediante orificios, vertederos, u otros, ya

sea a la entrada o salida del lecho filtrante. La carga superficial del filtro debe variar entre 2 y 14 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>·d.

- **Vaciado y limpieza del filtro:** Para vaciar el filtro se debe de cerrar el ingreso del agua residual dejando que el agua presente en el mismo se filtre por completo hasta que el nivel del agua esté al ras con la superficie del lecho. Para ello se diseña una tubería de drenaje sobre la superficie del mismo, ésta permite que cuando el filtro se encuentre demasiado colmatado y el descenso del agua sea muy lento en especial en la última parte, se pueda abrir la tubería para extraer el volumen final que no puede filtrarse, y para ayudar a secar el medio filtrante antes del raspado. Se debe diseñar una tubería de excesos para evitar que el agua presente en el lecho llegue a rebosar.

La limpieza se realiza raspando de 1 a 2 cm de la superficie del lecho, se extrae y se almacena en un lugar cubierto hasta alcanzar un volumen mayor: la arena extraída se la puede lavar y volver a poner en el filtro.

#### **1.3.4.3.2 LECHO DE SECADO**

Los Lechos de Secado son sistemas sencillos y de bajo costo que permiten la deshidratación de los lodos digeridos. Estos dispositivos eliminan el agua presente en los lodos a manera de evaporación, quedando como residuo un material sólido con un contenido de humedad inferior al 70%. El lodo seco se retira del lecho y se utiliza como acondicionador de suelos o a su vez se evacúa a un vertedero controlado. Gracias a su diseño económico su uso como tratamiento resulta ideal en pequeñas comunidades.

##### **➤ DISEÑO DEL LECHO DE SECADO**

- **Geometría del Lecho de secado:** El diseño típico del lecho de secado es una caja en forma rectangular poco profunda que puede tener o no un sistema de drenaje. El lodo se aplica sobre el lecho en forma de capas de 20 a 40 cm de espesor y se deja secar al ambiente.

- **Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador (C):**

$$C = Q * SS \quad \text{Ec. (57)}$$

Donde:

Q = Caudal diseño (L/s)

SS = Sólidos Suspendidos (mg/L)

- **Masa de Sólidos que conforman los lodos (Msd):**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C) \quad \text{Ec. (58)}$$

- **Volumen diario de lodos digeridos (Vld):**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{\text{lodo}} * \left( \frac{\% \text{ Sólidos}}{100 \%} \right)} \quad \text{Ec. (59)}$$

Donde:

$\rho_{\text{lodo}}$  = Densidad del lodo (Kg/L)

% sólidos = Porcentaje de sólidos (%)

El porcentaje de sólidos se refiere a los sólidos que están presentes en el lodo, y que varían entre el 8 y 12%.

- **Volumen de lodos a extraerse (Vel):**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000} \quad \text{Ec. (60)}$$

Donde:

Td = Tiempo requerido para la digestión de lodos (d)

El tiempo de digestión varía según la temperatura, es por ello que los valores para el mismo se asumirán en base a la siguiente tabla:

**TABLA XVI**  
**Tiempo requerido para la digestión de lodos.**

Temperatura °C	Tiempo de digestión (días)
5	110
10	76
15	55
20	40
>25	30

\*FUENTE: CEPIS / OPS.

- **Área del Lecho de secado (Als):**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Ec. (61)

Donde:

Ha = Profundidad de aplicación (m)

- **Área individual de los lechos de secado (Als<sub>i</sub>):**

$$Als_i = \frac{Als}{N^\circ \text{ Lechos}}$$

Ec. (62)

Donde:

N° lechos = Número de Lechos (adimensional)

- **Longitud del lecho de secado (L):**

$$L = \frac{Als_i}{b}$$

Ec. (63)

Donde:

b = Ancho del lecho (m)

El Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente – CEPIS / OPS recomienda asumir para el ancho del lecho de secado valores entre 3 y 6 m.

### 1.3.5 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN

El rendimiento es un parámetro importante que permite por medio de cálculos determinar la eficiencia de la Planta de Tratamiento propuesta y la concentración final de los parámetros que están fuera de norma. El rendimiento se expresa en porcentaje y se calcula con las siguientes ecuaciones:

- **Para el rendimiento de cada etapa de tratamiento:**

$$E = 0,955 * e^{-\left(\frac{265}{S_0} + 0,0021 * \frac{Q}{A}\right)}$$

Ec. (64)

- **Para el rendimiento general de la Planta:**

$$ET = \frac{S_0 - S_e}{S_0} * 100$$

Ec. (65)

Donde:

Q = Caudal Diseño (m<sup>3</sup>/s)

A = Área de la unidad de tratamiento (m<sup>2</sup>)

S<sub>0</sub> = Concentración en el afluente (mg/L)

S<sub>e</sub> = Concentración en el efluente (mg/L)

La concentración en el efluente se calcula con la siguiente ecuación:

$$S_e = \left( S_0 * \frac{\text{Rendimiento teórico \%}}{100\%} \right) - S_0$$

Ec. (66)

# **CAPÍTULO 2**

## CAPÍTULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

#### 2.1 DIAGNÓSTICO DEL ÁREA DE ESTUDIO

El siguiente trabajo de investigación se realizó en la Cabecera Parroquial de San Luis, Cantón Riobamba, Provincia de Chimborazo.

##### 2.1.1 UBICACIÓN Y EXTENSIÓN

La Parroquia San Luis está localizada a 2662 msnm, en el centro del Cantón Riobamba de la Provincia de Chimborazo, entre los 78° 38' 32" de longitud Occidental, y 1° 42' 23" de latitud Sur.<sup>8</sup>

Tiene una extensión actual de 29,3 km<sup>2</sup> (2926,92 hectáreas), según datos obtenidos de la Información geográfica levantada en base a requerimientos SENPLADES REGIONAL 3.

##### ➤ Localización Geográfica:

- \*Región: Sierra
- \*Provincia: Chimborazo
- \*Cantón: Riobamba
- \*Parroquia: San Luis

##### ➤ Límites:

- \*Norte: Ciudad de Riobamba
- \*Sur: Parroquia Punín
- \*Este: Cantón Chambo
- \*Oeste: Parroquias Yaruquíes y Cacha

##### ➤ Mapas:

---

<sup>8</sup> FUENTE: CELIR-INEC-MAG-IGM



### **2.1.2 TAMAÑO DE LA POBLACIÓN**

La Parroquia San Luis cuenta con una población de 12055 habitantes, de los cuales 6426 son mujeres (53.3 %) y 5629 son hombres (46,7 %); según datos obtenidos en el censo realizado en los talleres de diagnóstico en cada una de las comunidades de la parroquia y el censo realizado por el INEC en el año 2010. La Cabecera Parroquial de San Luis cuenta con una población de 1835 habitantes.

### **2.1.3 CLIMATOLOGÍA**

<b>*Clima:</b>	Templado Sub andino
<b>*Temperatura:</b>	máxima 18º C, mínima 10º C, promedio 14º C.
<b>*Precipitación:</b>	máxima 1000mm, mínima 43mm, promedio 520mm
<b>*Humedad relativa:</b>	75-80%
<b>*Viento:</b>	2,3 m/seg.
<b>*Rango altitudinal:</b>	2584 msnm – 2839 msnm

### **2.1.4 FISIOGRAFÍA Y SUELOS**

La Parroquia San Luis posee una topografía irregular, ligeramente inclinada hacia los ríos Chambo y Chibunga, conformado por suelos rústicos de la clase Durustolls y haplustolls: suelos poco profundos erosionados y sobre una capa dura cementada a menos de 0,5 metros de profundidad. En su mayoría estos suelos son fértiles, de textura franco a franco-arenosa, con buena retención de humedad, pH ligeramente ácido, con poca presencia de materia orgánica y de baja pendiente, lo que los hace aptos para la mecanización.

Dentro del rango de altura que va de los 2500 a 2800 msnm existen planicies con pendientes menores a 20%. Los Suelos sobre los 2.900 msnm se caracterizan por tener una topografía laderosa con pendientes variables entre 20 y 50%, capa arable entre 0-70cm, de textura limo-arenosa, pH ligeramente ácido, suelos canchahuosos cubiertas en su mayoría por una capa vegetal y en algunos sectores con formación de pequeñas colinas.

### **2.1.5 USOS DEL SUELO**

La Parroquia San Luis posee una superficie total de 2926,92 hectáreas (equivalente a 29,3 km<sup>2</sup>.) con tierras aptas para cultivos de ciclo corto que representan más de 80% de la superficie total. El 3,57% son zonas abandonadas, el 14,3% son bosques exóticos, 3,61% ríos y quebradas, el 5,02% es zona rural y el 0,19% son zonas mineras.

## **2.2 METODOLOGÍA**

### **2.2.1 MEDICIÓN DE CAUDALES**

La medición del caudal de las descargas domésticas de la Cabecera Parroquial de San Luis se realizó mediante la aplicación del Método Volumétrico. Este método se usa cuando la descarga presenta una caída de agua en la cual se pueda interponer un recipiente de volumen conocido (de 10 a 20 L) y con graduaciones de 1L, tomándose el tiempo de llenado del recipiente y obteniéndose el caudal por medio de cálculos aplicando la ecuación Ec. (2).

El recipiente que se usó para determinar el caudal fue un Balde plástico de 10L. Primero se procedió a purgar el balde con tres porciones de agua residual de aproximadamente un litro. Luego se colocó el balde debajo de la descarga de manera que recibiera todo el flujo y a través de un proceso simultáneo se obtuvo el tiempo de llenado del balde con un cronómetro.

La Cabecera Parroquial de San Luis cuenta con cuatro puntos de descarga para las aguas residuales generadas: dos de ellas pertenecen a las industrias dedicadas a la producción de lácteos: "Prasol" y pulpa de frutas: "Mis Frutales", y las dos restantes son descargas domésticas; de las cuales una de ellas es de difícil acceso. Por tal motivo, la medición de caudales se realizó solo para la Descarga N°1 ubicada debajo del puente que une la Cabecera Parroquial de San Luis con la comunidad de El Troje.

La medición se realizó en 24 jornadas de medición horaria durante 12 horas del día (de 6h30 a 18h00) por 6 días consecutivos.

## 2.2.2 MUESTREO DE LAS AGUAS RESIDUALES

Para recolectar las muestras de agua residual se escogió un muestreo del tipo Compuesto en función del caudal. Se recolectó una muestra compuesta con un volumen final de 3 litros conformada por cinco muestras puntuales tomadas en un período de dos horas, cada media hora a partir de las 12:00 a 14:00 horas, por 3 días consecutivos. Para el cálculo del volumen de cada muestra puntual se utilizó la ecuación Ec. (3).

Las muestras se recolectaron en botellas plásticas limpias de 1L y en botellas de vidrio (ámbar) de 1L para los análisis físicos – químicos, y en frascos estériles de 150 mL para los análisis microbiológicos.

## 2.2.3 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

La caracterización física, química y microbiológica de las muestras obtenidas se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH.

Las técnicas de análisis para aguas residuales aplicadas por el laboratorio se realizan en base a los Métodos Estandarizados APHA - 2005 (American Public Health Association), y Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, descritas a continuación:

**TABLA XVII**  
**Técnicas de Análisis de parámetros físico-químicos y microbiológicos para aguas residuales.**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Método
Potencial de Hidrógeno	pH	-	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – H <sup>+</sup> B
Turbiedad	-	UNT	APHA/AWWA/Standard Method N° 2130 – B
Sólidos Totales	ST	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 – A
Sólidos Sedimentables	SSed	mL/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 - B
Sólidos Suspendidos	SS	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 2540 - C
Coliformes Fecales	Colonias	UFC/100 mL	APHA/AWWA/Standard Method N° 9222 D
Hierro	Fe	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – Fe
Fosfatos	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – PO <sub>4</sub> – B
Nitritos	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – NO <sub>2</sub> - B
Nitratos	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – NO <sub>3</sub> - C
Sulfatos	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 4500 – SO <sub>4</sub>
Aceites y Grasas	-	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5520 – B
Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO <sub>5</sub>	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5210 – B
Demanda Química de Oxígeno	DQO	mg/L	APHA/AWWA/Standard Method N° 5220 – C

\*FUENTE: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias – ESPOCH

## **2.2.4 DISEÑO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO**

### **2.2.4.1 DIAGNÓSTICO DE LA RED DE ALCANTARILLADO**

La Cabecera Parroquial de San Luis actualmente posee dos tipos de alcantarillado creados por el Ilustre Municipio de Riobamba vigente en el año de 1978 para el alcantarillado sanitario y 1985 para el alcantarillado pluvial. Ambas redes de alcantarillado no han sido renovadas hasta la fecha.

Para poder determinar si las redes de alcantarillado de la comunidad han cumplido ya su vida útil se tomó en cuenta tres puntos básicos:

- a) El incremento de la Población desde el momento en que se instaló la red de alcantarillado hasta la actualidad.
- b) El tiempo de vida, año y uso de la tubería.
- c) La presencia de Industrias y otras infraestructuras que anteriormente no existían.

### **2.2.4.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO DEL ÁREA EN ESTUDIO**

El mapa topográfico de la Cabecera Parroquial de San Luis fue facilitado por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Dirección de Ingeniería, de la Ciudad de Riobamba con sus respectivas coordenadas y alturas, por lo que no fue necesario realizar un nuevo levantamiento topográfico ya que éste es actualizado.

### **2.2.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO**

Para el dimensionamiento del sistema de alcantarillado combinado se utilizó el programa de Diseño AUTOCAD junto con la aplicación CIVILCAD, para ello se ingresó las coordenadas x e y del mapa topográfico de la Cabecera Parroquial de San Luis con sus respectivas alturas.

Se reconoció el mapa como una nueva red de alcantarillado y se procedió a obtener la triangulación, curvas de nivel, áreas, dirección del flujo, atarjeas, números de tramos de tubería, entre otros. A continuación se generó una tabla de cálculo en el programa EXCEL.

### **2.2.5 DISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES**

Para el dimensionamiento de la Planta de Tratamiento para las Aguas Residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis se consideró sistemas de depuración que mejor se adapten a las condiciones de la zona. Para ello, se identificó el área de emplazamiento del sistema siendo éste un lugar accesible y adecuado. Posteriormente se continuó con el procesamiento de información el mismo que consta básicamente de lo siguiente:

- Características topográficas del lugar y condiciones ambientales
- Población futura a servir y periodos de diseño
- Caudales: pluvial, medio diario, máximo diario, de infiltración e industrial. Estos valores se obtienen con el dimensionamiento de la red de alcantarillado combinado.
- Calidad del agua residual descargada. Se determinan con la caracterización física – química y microbiológica y se compara con la Normativa Ambiental propuesta en el Capítulo N°1.

Luego se diseñan las unidades de tratamiento utilizando ecuaciones y criterios de diseño sugeridos por las normas para tratamiento de aguas residuales mencionadas en el Capítulo N°1.

### **2.2.6 ELABORACIÓN DE PLANOS**

Con la información obtenida anteriormente se procedió a elaborar los planos respectivos utilizando el Programa de Diseño AUTOCAD. El diseño del mapa topográfico de la Cabecera Parroquial de San Luis se lo realizó a una escala de 1:1000, y el diseño de las unidades de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales lo realizó a una escala de 1:100. Los diseños se presentaron sólo a nivel de planos base.

## 2.3 MATERIALES Y EQUIPOS

Para la realización de este trabajo de investigación se utilizó los siguientes materiales y equipos nombrados a continuación.

### ➤ MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE LONGITUDES

- |                     |                     |                   |                      |
|---------------------|---------------------|-------------------|----------------------|
| <b>*MATERIALES:</b> | -Flexómetro         | <b>* EQUIPOS:</b> | - Cámara Fotográfica |
|                     | - Cinta Métrica     |                   |                      |
|                     | -Libreta de Apuntes |                   |                      |

### ➤ MATERIALES Y EQUIPOS PARA LA MEDICIÓN DE CAUDALES

- |                     |                          |                   |                      |
|---------------------|--------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>*MATERIALES:</b> | -Flexómetro              | <b>* EQUIPOS:</b> | - Cámara Fotográfica |
|                     | - Guantes                |                   | - Cronómetro         |
|                     | - Botas de Caucho        |                   | - GPS                |
|                     | - Mascarilla             |                   |                      |
|                     | - Balde plástico de 10 L |                   |                      |
|                     | -Libreta de Apuntes      |                   |                      |

### ➤ MATERIALES Y EQUIPOS DE MUESTREO

- |                     |                                     |                   |                      |
|---------------------|-------------------------------------|-------------------|----------------------|
| <b>*MATERIALES:</b> | -Guantes                            | <b>* EQUIPOS:</b> | - Cámara Fotográfica |
|                     | - Botas de Caucho                   |                   | - Termómetro         |
|                     | - Mascarilla                        |                   | - PHmetro            |
|                     | - Envases plásticos de 1L           |                   |                      |
|                     | - Envases de vidrio (ámbar) de 1L   |                   |                      |
|                     | - Envase plástico o de vidrio de 5L |                   |                      |
|                     | - Frasco estéril de 150 mL          |                   |                      |
|                     | -Libreta de Apuntes                 |                   |                      |

## **2.4 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.4.1 DATOS DEL DIAGNÓSTICO**

#### **2.4.1.1 PERÍODO DE DISEÑO**

Según los datos establecidos por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Dirección de Ingeniería, de la Ciudad de Riobamba; se tomará como período de diseño 25 años para sistemas de tipo secundario o terciario y 30 años para sistemas principales.

#### **2.4.1.2 POBLACIÓN TOTAL ACTUAL (P)**

Según el Censo de Población y Vivienda realizado por el INEC en el año 2010, la Cabecera Parroquial de San Luis cuenta con una población de 1835 habitantes, comprendida dentro del 2,82% del área total.

Según el INEC, la tasa de crecimiento demográfico para el cantón Riobamba en el período intercensal 1990 - 2001 es de 1.5%. (MAITA J., Tesis: Dimensionamiento PTAR para la Cabecera Parroquial de Licán), y la tasa de crecimiento demográfico para la Parroquia de San Luis en el período intercensal 2001 - 2010 es de 16.63%. (INEC 2001)

Basándose en este dato se puede determinar que la población actual correspondiente al área de estudio es de 1872 habitantes.

#### **2.4.1.3 POBLACION TOTAL FUTURA ESTIMADA (Pf)**

La población futura o de diseño se determina a través de una proyección demográfica utilizando métodos de proyección aritmética, geométrica, logarítmica, entre otras. Para esta investigación se aplicó el método geométrico cuya ecuación es la siguiente:

$$Pf = Pa * \left(1 + \frac{r}{100}\right)^n$$

Ec. (67)

Donde:

$P_a$  = Poblacional actual (Hab)

r = Tasa de crecimiento anual en forma decimal (%)

n = Período de diseño

➤ **Cálculo de la población futura:**

*Poblacional actual:	1872 Hab
*Tasa de crecimiento anual:	1,5 %
*Período de diseño:	25 años

$$Pf = 1872 \text{ hab} * \left(1 + \frac{1,5\%}{100}\right)^{25}$$

$$Pf = 2716,1697$$

$$Pf = 2716 \text{ hab}$$

**2.4.1.4 ÁREA TOTAL (A<sub>T</sub>)**

La Cabecera Parroquial de San Luis cuenta con un área total de 659,22 hectáreas, sin embargo su población está distribuida en tan solo el 2,82% del área total; es decir en 18,7095 hectáreas, el porcentaje restante actualmente son terrenos baldíos y áreas de cultivo. Por tal razón se tomará como el área total el valor de 2,82% y con este se procederá a realizar los cálculos respectivos para el desarrollo de este proyecto.

**2.4.1.5 DENSIDAD POBLACIONAL (ρ<sub>p</sub>)**

Es el número de habitantes que viven en un área determinada. La densidad poblacional debe de reflejar la distribución de la población de manera zonificada, la densidad actual y la densidad máxima esperada. Se determina por medio de la siguiente ecuación:

$$\rho_p = \frac{P}{A_T}$$

Ec. (68)

Donde:

P= Población (Hab)

A<sub>T</sub> = Área Total (Ha)

➤ **Cálculo de la Densidad Poblacional:**

* Población:	2716 Hab
* Área Total:	18,7095 Ha

$$\rho_p = \frac{2716 \text{ hab}}{18,7095 \text{ ha}}$$

$$\rho_p = 145 \frac{\text{hab}}{\text{ha}}$$

#### 2.4.1.6 DOTACIÓN ACTUAL (Da)

Es el valor del consumo diario de agua potable de una población. Está en función del número de habitantes y del lugar en donde habitan. Se mide en litros por habitante-día (L/hab·día), y se establece de manera que sea suficiente para abastecer los usos para los cuales fue contemplado.

Según los datos establecidos por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Dirección de Ingeniería, de la Ciudad de Riobamba; la Provincia de Chimborazo cuenta con una Dotación de 208 L/hab·día, con un porcentaje de pérdidas de aproximadamente el 20%. Estos valores son permitidos desde el año 2012 hasta el año 2040.

#### 2.4.2 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO

##### 2.4.2.1 NÚMERO DE TRAMO

La red de alcantarillado combinado comprende 95 tramos compuestos por los siguientes pozos:

**TABLA XVIII**  
**Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.**

TRAMOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO									
Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior
1	2	57	56	41	32	15	26	67	66
2	3	56	54	41	40	26	27	66	65
3	4	9	55	40	39	27	28	65	64
4	5	55	54	39	35	27	31	64	63
5	6	54	53	25	24	31	32	68	77
6	7	53	52	24	23	32	33	77	78
57	7	52	51	23	22	33	34	78	79
7	8	51	50	22	21	28	29	79	80
8	9	50	49	21	20	29	30	80	81
11	10	49	13	20	19	30	34	81	82
10	9	49	48	19	18	76	75	82	83

(Continúa)

(Continuación)

**TABLA XVIII**  
**Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.**

TRAMOS DE LA RED DE ALCANTARILLADO COMBINADO									
Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior	Pozo Superior	Pozo Inferior
5	59	48	46	18	16	75	74	81	84
60	59	47	46	17	16	74	73	84	85
60	61	46	45	10	12	73	72	85	86
61	62	45	44	12	13	72	71	63	34
62	58	44	27	17	13	71	70	34	35
59	58	44	43	13	14	70	69	35	36
6	58	43	42	14	15	69	68	36	37
58	57	42	41	16	15	68	67	37	38

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

#### 2.4.2.2 COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

Para el cálculo del coeficiente de escurrimiento primero se obtuvo los valores de  $C_i$  para cada tramo la red de alcantarillado como se muestra en la siguiente tabla:

**TABLA XIX**  
**Valores de  $C_i$  para los Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.**

Valores de $C_i$ para los tramos de la red de alcantarillado combinado			
TRAMO		$C_i$	Descripción
Superior	Inferior		
1	2	0,3	Superficies no pavimentadas
2	3	0,3	Superficies no pavimentadas
3	4	0,3	Superficies no pavimentadas
4	5	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
5	6	0,3	Superficies no pavimentadas
6	7	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
57	7	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
7	8	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
8	9	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
11	10	0,3	Superficies no pavimentadas
10	9	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
5	59	0,3	Superficies no pavimentadas
60	59	0,3	Superficies no pavimentadas
60	61	0,3	Superficies no pavimentadas
61	62	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
62	58	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
59	58	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
6	58	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
58	57	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
57	56	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)

(Continúa)

(Continuación)

**TABLA XIX**  
**Valores de Ci para los Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.**

Valores de Ci para los tramos de la red de alcantarillado combinado			
TRAMO		Ci	Descripción
Superior	Inferior		
56	54	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
9	55	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
55	54	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
54	53	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
53	52	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
52	51	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
51	50	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
50	49	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
49	13	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
49	48	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
48	46	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
47	46	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
46	45	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
45	44	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
44	27	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
44	43	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
43	42	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
42	41	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
41	32	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
41	40	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
40	39	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
39	35	0,3	Superficies no pavimentadas
25	24	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
24	23	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
23	22	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
22	21	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
21	20	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
20	19	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
19	18	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
18	16	0,9	Pavimentos asfálticos en buenas condiciones
17	16	0,3	Superficies no pavimentadas
10	12	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
12	13	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
17	13	0,3	Superficies no pavimentadas
13	14	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
14	15	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
16	15	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
15	26	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
26	27	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
28	27	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
27	31	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
31	32	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
32	33	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
33	34	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
28	29	0,3	Superficies no pavimentadas
29	30	0,3	Superficies no pavimentadas
30	34	0,3	Superficies no pavimentadas
76	75	0,3	Superficies no pavimentadas
75	74	0,3	Superficies no pavimentadas

(Continúa)

(Continuación)

**TABLA XIX**  
**Valores de Ci para los Tramos de la Red de Alcantarillado Combinado.**

Valores de Ci para los tramos de la red de alcantarillado combinado			
TRAMO		Ci	Descripción
Superior	Inferior		
74	73	0,3	Superficies no pavimentadas
73	72	0,3	Superficies no pavimentadas
72	71	0,3	Superficies no pavimentadas
71	70	0,3	Superficies no pavimentadas
70	69	0,3	Superficies no pavimentadas
69	68	0,3	Superficies no pavimentadas
68	67	0,3	Superficies no pavimentadas
67	66	0,3	Superficies no pavimentadas
66	65	0,3	Superficies no pavimentadas
65	64	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
64	63	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
68	77	0,3	Superficies no pavimentadas
77	78	0,3	Superficies no pavimentadas
78	79	0,3	Superficies no pavimentadas
79	80	0,3	Superficies no pavimentadas
80	81	0,3	Superficies no pavimentadas
81	82	0,3	Superficies no pavimentadas
82	83	0,3	Superficies no pavimentadas
81	84	0,3	Superficies no pavimentadas
84	85	0,3	Superficies no pavimentadas
85	86	0,3	Superficies no pavimentadas
63	34	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
34	35	0,5	Empedrados (juntas ordinarias)
35	36	0,3	Superficies no pavimentadas
36	37	0,3	Superficies no pavimentadas
37	38	0,3	Superficies no pavimentadas

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

Luego se procedió a realizar el cálculo utilizando los valores del área acumulada de cada tramo y el área total de la zona en estudio.

#### 2.4.2.3 CAUDALES

##### ➤ Caudal Pluvial:

Se aplicó método racional. La información de las curvas IDF y de la duración de las lluvias fue facilitada por la Empresa Pública Municipal de Agua Potable y Alcantarillado - Dirección de Ingeniería, de la Ciudad de Riobamba. Basándose en esta información se realizó una ecuación de la curva IDF para un período de retorno de 3 años (Redes pluviales y combinadas):

$$I_m = \frac{581,803}{(t + 4,1)^{-0,826013}}$$

Ec. (69)

Para el tiempo de concentración inicial se asumió un valor de 15 min para los tramos iniciales y para los demás tramos secundarios se calculó utilizando la longitud propia, las alturas, y coeficiente de escurrimiento de cada tramo.

Para el tiempo de recorrido se utilizó la longitud de cada tramo y se asumió una velocidad media de 2,25 m/s basándose en la velocidad máxima y mínima de la tubería.

➤ **Caudal Medio:**

**TABLA XX**  
**Datos para el cálculo del Caudal Medio.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Coefficiente de retorno	Cr	0,80	-
Dotación	D	208	L/hab·día

\*FUENTE: EMAPAR.

➤ **Caudal de infiltración:**

**TABLA XXI**  
**Datos para el cálculo del Caudal de Infiltración.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Factor de infiltración	f	0,35	L/s·km

\*FUENTE: EMAPAR.

➤ **Caudal Industrial:**

La Cabecera Parroquial de San Luis cuenta con dos industrias:

- ✓ Empresa “Prasol” dedicada a la producción de lácteos con subproductos de: leche pasteurizada, queso fresco y yogur. Su volumen de procesamiento es de 320000 litros de leche aproximadamente.
- ✓ Empresa “Mis Frutales” dedicada a la producción de pulpa de frutas. El volumen que procesa mensualmente es de 12500 kg de pulpa aproximadamente.

Sin embargo para el cálculo del caudal industrial se incluyó a las demás infraestructuras que también sobresalen en la comunidad. A continuación se indica una tabla de valores en donde se especifica el tramo, la infraestructura y el caudal máximo que produce:

**TABLA XXII**  
**Infraestructuras de la Cabecera Parroquial de San Luis.**

# TRAMO	INFRAESTRUCTURA	CAUDAL (L/s)
5-6	Centro de Educación Inicial "Margarita Santillán Villacis"	0,0770
6-7	Puesto de Auxilio Inmediato (PAI)	0,0057
57-7	Junta Parroquial	0,0134
28-29	Sub Centro de Salud	0,0173
32-33	Empresa de producción de pulpa de frutas "Mis Frutales"	1,3888
46-45	Empresa de productos lácteos "Prasol"	2,2222
53-52	Escuela de Educación Básica "San Luis Rey de Francia" (Primaria)	0,2195
54-53	Iglesia – Escuela de Educación Básica "San Luis Rey de Francia"	0,0654

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

➤ **Caudal por Conexiones Erradas:**

**TABLA XXIII**  
**Datos para el cálculo del Caudal por Conexiones Erradas.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Porcentaje de pérdidas	-	20	%

\*FUENTE: EMAPAR.

**2.4.2.4 PENDIENTE**

**TABLA XXIV**  
**Datos para el cálculo de la Pendiente.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Pendiente mínima	S	0,2	%
Velocidad mínima	v	1,16	m/s
Tirante	H	0,45	m

\*FUENTE: Catálogo de Tuberías - PLASTIGAMA.

**2.4.2.5 DIÁMETRO DE TUBERÍA**

**TABLA XXV**  
**Datos para el diámetro de tubería.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Diámetro nominal	Øn	475	mm
Diámetro externo	Øe	475	mm
Diámetro interno	Øi	450	mm
Espesor de la tubería	e	25	mm

\*FUENTE: Catálogo de Tuberías - PLASTIGAMA.

#### 2.4.2.6 RÉGIMEN HIDRÁULICO

- **Velocidad en la tubería a tubo lleno:**

**TABLA XXVI**  
**Datos para el cálculo de la velocidad en la tubería.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Velocidad mínima	v	1,00	m/s
Velocidad máxima	V	7,5	m/s
Coefficiente de rugosidad	n	0,013	-

\*FUENTE: Catálogo de Tuberías – PLASTIGAMA, Norma ecuatoriana – INEN – C.E.C.

- **Relación Caudal diseño/ Caudal máximo en la tubería:**

Se procedió a realizar una relación entre el caudal diseño y el caudal máximo que soporta la tubería dividiendo los valores de caudal mínimo diseño por los valores del caudal máximo presente en la tubería de cada tramo de la red de alcantarillado.

$$\frac{Q_d}{Q_A} \quad \text{Ec. (70)}$$

Con estos resultados y basándose en un Diagrama de elementos hidráulicos para una sección circular, se realizó una interpolación, con la cual se pudo obtener valores teóricos para determinar las Relaciones de velocidad ( $v/V$ ), diámetro ( $d/D$ ) y radio hidráulico ( $rh/RH$ ), en cada tramo de la red de alcantarillado. Luego de obtener los valores teóricos, se pudo determinar el valor real de la velocidad, el diámetro y el radio hidráulico, despejando cada relación de la siguiente manera:

$$v = 0,62 * V \quad \text{Ec. (71)}$$

$$d = 0,20 * D \quad \text{Ec. (72)}$$

$$rh = 0,49 * RH \quad \text{Ec. (73)}$$

#### 2.4.2.7 TENSIÓN TRACTIVA

**TABLA XXVII**  
**Datos para el cálculo de la Tensión Tractiva.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Peso específico del agua	$\rho$	1000	Kg/m <sup>3</sup>

\*FUENTE: EMAPAR.

## 2.4.2.8 PROFUNDIDAD DE EXCAVACIÓN

**TABLA XXVIII**  
**Datos para la profundidad de excavación.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Profundidad de excavación	Pe	1,90	m

\*FUENTE: EMAPAR.

## 2.4.3 DATOS PARA EL DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES FÍSICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

### 2.4.3.1 CANAL DE LLEGADA

**TABLA XXIX**  
**Datos para el cálculo del canal de llegada.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal Diseño	$Q_D$	33,91	L/s
Caudal Promedio	$Q_{md}$	17,071	L/s
Base	b	0,8	m
Coefficiente de rugosidad	n	0,016	-
Pendiente	S	3	%

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013, Norma ecuatoriana – INEN – C.E.C.

- **Velocidad:** La velocidad máxima que puede soportar un canal de hormigón es de 10 m/s, sin embargo esta velocidad no debe de sobrepasar los 2,5 m/s, y de igual forma la velocidad mínima no debe ser menor de 0,6 m/s, esto con el fin de evitar la sedimentación de materiales pétreos retenidos en el mismo.

### 2.4.3.2 CRIBADO:

**TABLA XXX**  
**Datos para el cálculo de las rejillas.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal Diseño	$Q_D$	0,03391	$m^3/s$
Velocidad mínima a través de las barras	$V_b$	0,6	m/s
Ancho del canal de llegada	b	0,8	m
Altura de seguridad	Hs	0,90	m
Ángulo de inclinación de las barras	$\alpha$	50°	-
Separación entre barras	e	0,025	m
Espesor de las barras	S	10	mm
Coefficiente de pérdida	$\beta$	2,42	-

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

### 2.4.3.3 SEDIMENTADOR CONVENCIONAL

#### ➤ ZONA DE SEDIMENTACIÓN

**TABLA XXXI**  
**Datos para el cálculo de la zona de sedimentación.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal Diseño	Q <sub>D</sub>	0,016955	m <sup>3</sup> /s
Gravedad	g	981	cm/s <sup>2</sup>
Densidad de la Partícula	ρ <sub>p</sub>	2,65	g/cm <sup>3</sup>
Densidad del Agua	ρ	0,998599	g/cm <sup>3</sup>
Viscosidad Dinámica del Agua	μ	0,01053	g/cm·s
Viscosidad Cinemática del Agua	ν	0,01054	cm <sup>2</sup> /s
Temperatura	T	18	°C
Diámetro de la Partícula Discreta	d <sub>pd</sub>	0,003	cm
Diámetro de la Partícula Crítica	d <sub>pc</sub>	0,020	cm
Ancho del sedimentador	b	2,7	m
Período de Retención Hidráulico	P <sub>RH</sub>	1	min

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

- **Longitud de la zona de sedimentación:**

Para poder comprobar la relación entre el largo y el ancho de la unidad primero se obtuvo el valor de la longitud total del sedimentador realizando una suma del valor de la longitud obtenida anteriormente con el valor de la longitud de la distancia entre la pantalla difusora y la pared de entrada:

$$L_T = L + L_{pd} \quad \text{Ec. (74)}$$

- **Período de retención hidráulico:** Se calculó el valor del volumen del sedimentador multiplicando los valores de ancho, longitud y altura obtenidos anteriormente:

$$Vol = w * L * H \quad \text{Ec. (75)}$$

#### ➤ ZONA DE ENTRADA

**TABLA XXXII**  
**Datos para el cálculo de la zona de entrada.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Velocidad a través de los orificios	V <sub>o</sub>	0,10	m/s
Diámetro del orificio	∅	7,5	cm

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

➤ **ZONA DE RETENCIÓN DE PARTÍCULAS SEDIMENTADAS**

**TABLA XXXIII**  
**Datos para el cálculo de la zona de lodos.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Distancia entre la pantalla difusora con la pared de entrada	-	1	m
Ángulo de inclinación para la zona de entrada	$\alpha$	36°	-
Longitud de la zona de sedimentación	L	8	m
Ángulo de inclinación para la zona de salida	$\alpha$	9°	-

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

➤ **ZONA DE SALIDA**

**TABLA XXXIV**  
**Datos para el cálculo de la zona de salida.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Longitud de la cresta del vertedero	b	2,7	m

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

**2.4.3.4 FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA**

**TABLA XXXV**  
**Datos para el cálculo del filtro lento biológico de arena.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal Diseño	$Q_D$	0,011303333	m <sup>3</sup> /s
Área superficial máxima	$A_s$	100	m <sup>2</sup>
Número de unidades	N	3	-

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

**2.4.3.5 LECHO DE SECADO**

**TABLA XXXVI**  
**Datos para el cálculo del lecho de secado.**

Parámetro	Abreviatura	Valor	Unidad
Caudal Diseño	$Q_D$	33,91	L/s
Sólidos Suspendidos	Ss	76	mg/L
Porcentaje de sólidos	%sólidos	12	%
Densidad del lodo	$\rho_{\text{lodo}}$	1,04	Kg/L
Tiempo de digestión de lodos	Td	40	días
Profundidad de aplicación	Ha	0,40	m
Número de Lechos	N° lechos	4	-
Ancho del lecho	b	3	m

\*FUENTE: VALENCIA A. – 2013.

# **CAPÍTULO 3**

## CAPITULO III

### 1. DISEÑO

#### 3.1 CÁLCULOS

##### 3.1.1 EJEMPLO DEL CÁLCULO DEL VOLUMEN INDIVIDUAL DE LAS MUESTRAS PUNTUALES

###### ➤ DÍA N° 1 DE MUESTREO

- Ejemplo: Volumen de muestra puntual N°1.

$$V_i = \frac{Q_i * V}{Q_p * N_o}$$

Ec. (3)

$$V_i = \frac{1,71 \frac{L}{s} * 3 L}{1,504 \frac{L}{s} * 5} * \frac{1000 mL}{1L} = 682,18 mL$$

**TABLA XXXVII**  
**Cálculo del Volumen individual.**

N° Muestra Puntual	Hora	Caudal individual (L/s)	Caudal Promedio (L/s)	Volumen individual (mL)
1	12: 00	1,71	1,504	<b>682,18</b>
2	12: 30	1,63	1,504	<b>650,26</b>
3	13: 00	1,39	1,504	<b>554,52</b>
4	13: 30	1,25	1,504	<b>498,67</b>
5	14: 00	1,54	1,504	<b>614,36</b>
<b>Volumen final de la muestra Compuesta</b>				<b>3000 mL</b>

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

##### 3.1.2 EJEMPLO DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO

A continuación se detalla los cálculos hidráulicos del Tramo comprendido entre los pozos 46 a 45 correspondientes a la red de alcantarillado combinado.

(VER ANEXO N° 8)

➤ **LONGITUD**

- **Longitud Acumulada:**

$$La = Lp + Lt$$

Ec. (4)

$$La = 44,8881 m + 2302,7947 m$$

$$La = 2347,6828 m$$

➤ **ÁREA**

- **Área Acumulada:**

$$Aa = Ap + At$$

Ec. (5)

$$Aa = 0,1978 ha + 6,5184 ha$$

$$Aa = 6,7162 ha$$

➤ **POBLACIÓN**

- **Población Propia:**

$$Pp = Ap * \rho p$$

Ec. (6)

$$Pp = 0,1978 ha * \frac{145 hab}{ha}$$

$$Pa = 29 hab$$

- **Población Acumulada:**

$$Pa = Aa * \rho p$$

Ec. (7)

$$Pp = 6,7162 ha * \frac{145 hab}{ha}$$

$$Pa = 975 hab$$

➤ **CAUDAL PLUVIAL**

- **Coefficiente de escurrimiento:**

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i * A_i}{A}$$

Ec. (20)

$$C = \frac{0,5 * 6,7162 ha}{18,7095 ha}$$

$$C = 0,17949$$

- **Tiempo de concentración inicial:**

$$t_e = \frac{0,275 (L^{1,155}) * (e^{-1,7802C})}{H^{0,385}}$$

Ec. (17)

$$t_e = \frac{0,275 (44,8881 m^{1,155}) * (e^{-1,7802 * 0,17949})}{(2656 - 2655)m^{0,385}}$$

$$t_e = 16 \text{ min}$$

- **Tiempo de recorrido:**

$$t_r = \frac{L}{60 * V}$$

Ec. (18)

$$t_r = \frac{44,8881 m}{60 * \frac{2,25 m}{s}}$$

$$t_r = 0,33250 \text{ min}$$

- **Duración:**

$$t = t_e + t_r$$

Ec. (16)

$$t = (16 \text{ min} + 0,33250 \text{ min}) * \frac{1h}{60 \text{ min}}$$

$$t = 0,28 \text{ h}$$

- **Intensidad Máxima de Precipitación:**

$$I_m = \frac{581,803}{(t + 4,1)^{-0,826013}}$$

Ec. (69)

$$I_m = \frac{581,803 \text{ mm}}{(0,28 \text{ h} + 4,1)^{-0,826013}} * \frac{1m}{1000 \text{ mm}}$$

$$I_m = 1,97 \frac{m}{h}$$

- **Caudal Pluvial:**

$$Q_p = 2,78 * C * I * A$$

Ec. (15)

$$Q_p = 2,78 * 0,17949 * 1,97 * 6,7162 * \frac{1000}{3600}$$

$$Q_p = 1,8329 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL MEDIO DIARIO

$$Q_{md} = C_r * P * D$$

Ec. (8)

$$Q_{md} = 0,8 * 975 \text{ hab} * 208 \frac{L}{\text{hab} \cdot \text{día}} * \frac{1 \text{ día}}{86400 \text{ s}}$$

$$Q_{md} = 1,878 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL MÁXIMO DIARIO

- Coeficiente de Punta:

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{x}{1000}}}$$

Ec. (10) y Ec. (11)

$$M = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{975}{1000}}}$$

$$M = 3,807$$

- Caudal Máximo Diario:

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

Ec. (9)

$$Q_{MD} = 3,807 * 1,878 \frac{L}{s}$$

$$Q_{MD} = 7,149 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL DE INFILTRACIÓN

$$Q_i = f * \frac{L}{1000}$$

Ec. (12)

$$Q_i = 0,35 \frac{L}{s \cdot m} * \frac{2347,6828 \text{ m}}{1000}$$

$$Q_i = 0,822 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL INDUSTRIAL

$$Q_{ind} = 2,222 \frac{L}{s}$$

$$Q_{ind.acumulado} = 2,603 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL POR CONEXIONES ERRADAS

$$Q_e = Q_{MD} * \% \text{ Pérdidas} \quad \text{Ec. (13)}$$

$$Q_e = 7,149 \frac{L}{s} * 0,2$$

$$Q_e = 1,430 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL DISEÑO

$$Q_D = Q_{MD} + Q_p + Q_i + Q_e + Q_{ind.} \quad \text{Ec. (14)}$$

$$Q_D = 7,149 \frac{L}{s} + 1,8329 \frac{L}{s} + 0,822 \frac{L}{s} + 1,430 \frac{L}{s} + 2,603 \frac{L}{s}$$

$$Q_D = 13,84 \frac{L}{s}$$

➤ CAUDAL MÍNIMO DISEÑO

$$Q_d = 13,84 \frac{L}{s}$$

➤ PENDIENTE

$$S = \frac{\Delta H}{L} * 100 \%$$

$$S = \frac{(2656 - 2655) m}{2347,6828 m} * 100 \%$$

$$S = 0,314 \%$$

➤ RÉGIMEN HIDRÁULICO

• Radio Hidráulico:

$$R_H = \frac{\varnothing}{4}$$

$$R_H = \frac{450 \text{ mm}}{4} * \frac{1m}{1000 \text{ mm}}$$

$$R_H = 0,113 \text{ m}$$

- **Velocidad en la tubería a tubo lleno:**

$$V = \frac{1}{n} * R^{2/3} * S^{1/2}$$

Ec. (24)

$$V = \frac{1}{0,013} * 0,113 \text{ m}^{2/3} * \left(\frac{0,314 \%}{100 \%}\right)^{1/2}$$

$$V = 1,005 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Caudal Máximo que soporta la tubería a tubo lleno:**

$$Q_A = V * \left(\frac{\pi * \phi^2}{4}\right)$$

Ec. (2) y Ec. (26)

$$Q_A = 1,005 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \left(\frac{\pi * \left(450 \text{ mm} * \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}\right)^2}{4}\right) * \frac{1000 \text{ L}}{1 \text{ m}^3}$$

$$Q_A = 159,762 \frac{\text{L}}{\text{s}}$$

- **Relación Caudal diseño/ Caudal máximo en la tubería:**

$$\frac{Q_d}{Q_A}$$

Ec. (70)

$$\frac{Q_d}{Q_A} = \frac{13,84 \frac{\text{L}}{\text{s}}}{159,762 \frac{\text{L}}{\text{s}}}$$

$$\frac{Q_d}{Q_A} = 0,09$$

- **Relación Velocidad teórica/ Velocidad en la tubería:**

$$\frac{v}{V} = 0,62$$

\*Velocidad Real:

$$v = 0,62 * V$$

Ec. (71)

$$v = 0,62 * 1,005 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$v = 0,6228 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Relación Diámetro teórico/ Diámetro de la tubería:**

$$\frac{d}{D} = 0,20$$

\*Diámetro Real:

$$d = 0,20 * D$$

Ec. (72)

$$d = 0,20 * 450 \text{ mm}$$

$$d = 91 \text{ mm}$$

- **Relación Radio Hidráulico teórico / Radio Hidráulico en la tubería:**

$$\frac{rh}{RH} = 0,49$$

\*Radio Hidráulico Real:

$$rh = 0,49 * RH$$

Ec. (73)

$$rh = 0,44 * 0,113 \text{ m}$$

$$rh = 0,055 \text{ m}$$

### ➤ VELOCIDAD CRÍTICA

$$V_c = 6 \sqrt{g \cdot r_h}$$

Ec. (25)

$$V_c = 6 * \sqrt{9,8 \frac{m}{s^2} * 0,055 \text{ m}}$$

$$V_c = 4,401 \text{ m}$$

### ➤ TENSIÓN TRACTIVA

$$\tau = \rho * g * rh * S$$

Ec. (22)

$$\tau = \frac{\left( \frac{1000 \text{ Kg}}{m^3} * \frac{9,8 \text{ m}}{s^2} * 0,055 \text{ m} * \frac{0,314\%}{100\%} \right)}{9,8 \frac{m}{s^2}}$$

$$\tau = 0,17 \frac{\text{Kg}}{m^2}$$

$$\tau = 1,7 \text{ Pa}$$

➤ **COTA SOLERA**

• **Superior:**

$$C_{s_s} = C_{t_s} - P_{e_s} - D$$
$$C_{s_s} = 2656 \text{ m} - 1,90 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$
$$C_{s_s} = 2653,65 \text{ m}$$

Ec. (27)

• **Inferior:**

$$C_{s_i} = C_{t_i} - P_{e_i} - D$$
$$C_{s_i} = 2655 \text{ m} - 1,90 \text{ m} - 0,45 \text{ m}$$
$$C_{s_i} = 2652,65 \text{ m}$$

Ec. (28)

### 3.1.3 DIMENSIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES

A continuación se detalla los cálculos de diseño de la planta de tratamiento para las aguas residuales provenientes de la red de alcantarillado combinado:

#### 3.1.3.1 CANAL DE LLEGADA

• **Coefficiente de Manning:**

$$k = \frac{Q * n}{b^{8/3} * S^{1/2}}$$

Ec. (30)

\*Caudal Diseño:

$$k = \frac{0,03391 \frac{m^3}{s} * 0,016}{(0,8 \text{ m})^{8/3} * (0,03)^{1/2}}$$
$$k = 0,0056795$$

\*Caudal Promedio:

$$k = \frac{0,017071 \frac{m^3}{s} * 0,016}{(0,8 \text{ m})^{8/3} * (0,03)^{1/2}}$$
$$k = 0,0028592$$

- **Altura de agua en el canal:**

$$h = 1,6624 * k^{0,74232} * b$$

Ec. (29)

\*Caudal Diseño:

$$h = 1,6624 * (0,0056795)^{0,74232} * 0,8 \text{ m}$$

$$h = 0,0286291 \text{ m}$$

\*Caudal Promedio:

$$h = 1,6624 * (0,0028592)^{0,74232} * 0,8 \text{ m}$$

$$h = 0,0172007 \text{ m}$$

- **Radio Hidráulico:**

$$Rh = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Ec. (31)

\*Caudal Diseño:

$$Rh = \frac{0,8 \text{ m} * 0,0286291 \text{ m}}{0,8 \text{ m} + 2(0,0286291 \text{ m})}$$

$$Rh = 0,0267169 \text{ m}$$

\*Caudal Promedio:

$$Rh = \frac{0,8 \text{ m} * 0,0172007 \text{ m}}{0,8 \text{ m} + 2(0,0172007 \text{ m})}$$

$$Rh = 0,0164915 \text{ m}$$

- **Velocidad:**

$$V = \frac{1}{n} * Rh^{2/3} * S^{1/2}$$

Ec. (24)

\*Caudal Diseño:

$$V = \frac{1}{0,016} * (0,0267169 \text{ m})^{2/3} * (0,03)^{1/2}$$

$$V = 0,967 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

\*Caudal Promedio:

$$V = \frac{1}{0,016} * (0,0164915 \text{ m})^{2/3} * (0,03)^{1/2}$$
$$V = 0,701 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.1.3.2 REJILLAS

- Área libre al paso del agua:

$$Al = \frac{Q}{V_b}$$

Ec. (32)

$$Al = \frac{0,03391 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{0,6 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$Al = 0,0565 \text{ m}^2$$

- Tirante de agua en el canal:

$$h = \frac{Al}{b}$$

Ec. (33)

$$h = \frac{0,0565 \text{ m}^2}{0,8 \text{ m}}$$

$$h = 0,070625 \text{ m}$$

- Altura total del canal:

$$H = h + H_s$$

Ec. (34)

$$H = 0,070625 \text{ m} + 0,9 \text{ m}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

- Longitud de las Barras:

$$L_b = \frac{H_s}{\text{Sin } \alpha}$$

Ec. (35)

$$L_b = \frac{0,9 \text{ m}}{\text{Sin } 50^\circ}$$

$$L_b = 1,18 \text{ m}$$

- **Número de barras:**

$$n = \left( \frac{b}{e + S} \right) - 1$$

Ec. (36)

$$n = \left( \frac{0,8 \text{ m}}{0,025 \text{ m} + 0,01 \text{ m}} \right) - 1$$

$$n = 22$$

- **Pérdida de carga en las rejillas (Hf):**

$$hf = \beta \left( \frac{S}{e} \right)^{4/3} * \frac{V^2}{2g} \text{Sen } \alpha$$

Ec. (37)

$$hf = 2,42 * \left( \frac{0,01 \text{ m}}{0,025 \text{ m}} \right)^{4/3} * \frac{(0,967 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} * \text{Sen } 50^\circ$$

$$hf = 0,0260 \text{ m}$$

### 3.1.3.3 SEDIMENTADOR CONVENCIONAL

#### ➤ ZONA DE SEDIMENTACIÓN

- **Velocidad Crítica de Sedimentación**

*\*Partículas Discretas:*

$$V_{si} = \frac{g}{18} * \left( \frac{\rho_p - \rho}{\mu} \right) * d_{pd}^2$$

Ec. (41)

$$V_{si} = \frac{981 \frac{\text{cm}}{\text{s}^2}}{18} * \left( \frac{2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0,998599 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}}{0,01053 \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{s}}} \right) * (0,003 \text{ cm})^2$$

$$V_{si} = 0,076924234 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$V_{si} = 7,6924 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$V_s = 66,46 \frac{\text{m}}{\text{d}}$$

\*Partículas Críticas:

$$V_{sc} = 0,22 * \left( \frac{\rho_p - \rho}{\rho} * g \right)^{2/3} * \left[ \frac{d_{pc}}{(v)^{1/3}} \right] \quad \text{Ec. (42)}$$

$$V_{sc} = 0,22 * \left( \frac{2,65 \frac{g}{cm^3} - 0,998599 \frac{g}{cm^3}}{0,998599 \frac{g}{cm^3}} * 981 \frac{cm}{s^2} \right)^{2/3} * \left[ \frac{0,020 \text{ cm}}{\left( 0,01054 \frac{cm^2}{s} \right)^{1/3}} \right]$$

$$V_{sc} = 2,770720739 \frac{cm}{s}$$

$$V_{sc} = 0,0277 \frac{m}{s}$$

- **Área Superficial en la zona de sedimentación:**

$$As = \frac{Q}{V_{si}} \quad \text{Ec. (46)}$$

$$As = \frac{0,016955 \frac{m^3}{s}}{7,6924 \times 10^{-4} \frac{m}{s}}$$

$$As = 22 \text{ m}^2$$

- **Longitud del tanque sedimentador:**

$$L = \frac{Q}{V_{si} * w} \quad \text{Ec. (47)}$$

$$L = \frac{0,016955 \frac{m^3}{s}}{7,6924 \times 10^{-4} \frac{m}{s} * 2,7 \text{ m}}$$

$$L = 8 \text{ m}$$

- **Longitud Total del sedimentador:**

$$L_T = L + L_{pd} \quad \text{Ec. (74)}$$

$$L_T = 8 \text{ m} + 1 \text{ m}$$

$$L_T = 9 \text{ m}$$

- **Relación Largo / Ancho:**

$$\frac{L}{w} = 3 - 6$$

$$\frac{9 \text{ m}}{2,7 \text{ m}} = 3,33$$

- **Altura máxima para partículas discretas:**

$$h = V_{si} * P_{RH}$$

Ec. (44)

$$h = 7,6924 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}} * 60 \text{ s}$$

$$h = 0,046 \text{ m}$$

- **Altura máxima para partículas críticas:**

$$H = V_{sc} * P_{RH}$$

Ec. (45)

$$H = 0,0277 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 60 \text{ s}$$

$$H = 1,7 \text{ m}$$

- **Relación Largo / Profundidad:**

$$\frac{L}{H} = 5 - 20$$

$$\frac{9 \text{ m}}{1,7 \text{ m}} = 5,29$$

- **Volumen del tanque sedimentador:**

$$Vol = w * L * H$$

Ec. (75)

$$Vol = 2,7 \text{ m} * 9 \text{ m} * 1,7 \text{ m}$$

$$Vol = 41,31 \text{ m}^3$$

- **Período de retención hidráulico real:**

$$P_{RH} = \frac{Vol}{Q}$$

Ec. (43)

$$P_{RH} = \frac{41,31 \text{ m}^3}{0,016955 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}$$

$$P_{RH} = 2436,45 \text{ s}$$

$$P_{RH} = 41 \text{ min}$$

- **Velocidad Horizontal:**

$$Vh = \frac{Q}{As}$$

Ec. (48)

$$Vh = \frac{0,016955 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{22 \text{ m}^2}$$

$$Vh = 7,7068 \times 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- **Velocidad de Arrastre:**

$$Va = 125 * [(\rho_p - \rho) * d_p]^{1/2}$$

Ec. (49)

$$Va = 125 * \left[ \left( 2,65 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} - 0,998599 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right) * 0,003 \text{ cm} \right]^{1/2}$$

$$Va = 8,798262435 \frac{\text{cm}}{\text{s}}$$

$$Va = 0,0879 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$Va > Vh$$

$$0,0879 \frac{\text{m}}{\text{s}} > 0,00077068 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

➤ ZONA DE ENTRADA

- Área total de los orificios:

$$A_o = \frac{Q}{V_o}$$

Ec. (38)

$$A_o = \frac{0,016955 \frac{m^3}{s}}{0,10 \frac{m}{s}}$$

$$A_o = 0,16955 m^2$$

- Área del orificio:

$$a_o = \frac{\pi * \varnothing^2}{4}$$

Ec. (39)

$$a_o = \frac{\pi * (0,075 m)^2}{4}$$

$$a_o = 0,004418 m^2$$

- Número de orificios:

$$n_o = \frac{A_o}{a_o}$$

Ec. (39)

$$n_o = \frac{0,16955 m^2}{0,004418 m^2}$$

$$n_o = 38$$

➤ ZONA DE SALIDA

- Vertedero de salida:

$$ha = \left( \frac{Q}{1,84 * b} \right)^{2/3}$$

Ec. (50)

$$ha = \left( \frac{0,016955 \frac{m^3}{s}}{1,84 * 2,7 m} \right)^{2/3}$$

$$ha = 0,023 m$$

### 3.1.3.4 FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA

- Velocidad de filtración:

$$Vf = \frac{Q}{As}$$

Ec. (51)

$$Vf = \frac{0,011303333 \frac{m^3}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{100 m^2}$$

$$Vf = 0,40692 \frac{m}{h}$$

- Área Superficial:

$$As = \frac{Q}{N * Vf}$$

Ec. (52)

$$As = \frac{0,011303333 \frac{m^3}{s} * 3600 \frac{s}{h}}{3 * 0,40692 \frac{m}{h}}$$

$$As = 33,33 m^2$$

- Coeficiente de mínimo costo:

$$k = \frac{2 * N}{N + 1}$$

Ec. (53)

$$k = \frac{2 * 3}{3 + 1}$$

$$k = 1,5$$

- Longitud del filtro:

$$L = (As * k)^{1/2}$$

Ec. (54)

$$L = (33,33 m^2 * 1,5)^{1/2}$$

$$L = 7 m$$

- **Ancho del filtro:**

$$b = \left( \frac{As}{k} \right)^{1/2}$$

Ec. (55)

$$b = \left( \frac{33,33 \text{ m}^2}{1,5} \right)^{1/2}$$

$$b = 5 \text{ m}$$

- **Velocidad de filtración real:**

$$Vf_R = \frac{Q}{(2 * As * b)}$$

Ec. (56)

$$Vf_R = \frac{0,011303333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{(2 * 33,33 \text{ m}^2 * 5 \text{ m})}$$

$$Vf_R = 0,12 \frac{\text{m}}{\text{h}}$$

- **Vertedero de entrada:**

$$ha = \left( \frac{Q}{1,84 * b} \right)^{2/3}$$

Ec. (50)

$$ha = \left( \frac{0,011303333 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}}{1,84 * 5 \text{ m}} \right)^{2/3}$$

$$ha = 0,020 \text{ m}$$

### 3.1.3.5 LECHO DE SECADO:

- **Carga de Sólidos que ingresa al sedimentador:**

$$C = Q * SS$$

Ec. (57)

$$C = 33,91 \frac{\text{L}}{\text{s}} * 76 \frac{\text{mg}}{\text{L}} * \frac{1 \text{ g}}{1000 \text{ mg}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{86400 \text{ s}}{1 \text{ d}}$$

$$C = 222,6666 \frac{\text{Kg}}{\text{d}}$$

- **Masa de Sólidos que conforman los lodos:**

$$Msd = (0,5 * 0,7 * 0,5 * C) + (0,5 * 0,3 * C)$$

Ec. (58)

$$Msd = \left(0,5 * 0,7 * 0,5 * 222,6666 \frac{Kg}{d}\right) + \left(0,5 * 0,3 * 222,6666 \frac{Kg}{d}\right)$$

$$Msd = 72,3666 \frac{Kg}{d}$$

- **Volumen diario de lodos digeridos:**

$$Vld = \frac{Msd}{\rho_{lodo} * \left(\frac{\% \text{ Sólidos}}{100 \%}\right)}$$

Ec. (59)

$$Vld = \frac{72,3666 \frac{Kg}{d}}{1,04 \frac{Kg}{L} * \left(\frac{12 \%}{100 \%}\right)}$$

$$Vld = 579,8606 \frac{L}{d}$$

- **Volumen de lodos a extraerse:**

$$Vel = \frac{Vld * Td}{1000}$$

Ec. (60)

$$Vel = 579,8606 \frac{L}{d} * 40 d * \frac{1 m^3}{1000 L}$$

$$Vel = 23,1944 m^3$$

- **Área del Lecho de secado:**

$$Als = \frac{Vel}{Ha}$$

Ec. (61)

$$Als = \frac{23,1944 m^3}{0,40 m}$$

$$Als = 58 m^2$$

- **Área individual de los lechos de secado:**

$$Als_i = \frac{Als}{N^\circ \text{ Lechos}}$$

Ec. (62)

$$Als_i = \frac{58 \text{ m}^2}{4}$$

$$Als_i = 15 \text{ m}^2$$

- **Longitud del lecho de secado:**

$$L = \frac{Als_i}{b}$$

Ec. (63)

$$L = \frac{15 \text{ m}^2}{3 \text{ m}}$$

$$L = 5 \text{ m}$$

## 3.2 RESULTADOS

### 3.2.1 RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DE CAUDALES

A continuación se muestra en la siguiente tabla los valores obtenidos en la medición de caudales para la Descarga N°1 de aguas residuales de la Cabecera Parroquial de San Luis.

**TABLA XXXVIII**  
**Resultados de la Medición de Caudales.**

DESCARGA #1						
HORA	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES	SABADO
	CAUDAL (L/s)					
06:30	7.9	7.8	8.2	8.2	8.1	8.5
07:00	7.7	7.5	8.1	7.9	7.5	8.1
07:30	7.6	7.2	7.8	7.6	6.8	7.3
08:00	7.4	7.1	7.5	7.2	6.4	6.7
08:30	7.4	7.1	7.2	6.8	6.1	6.0
09:00	6.5	6.4	7.1	6.5	5.6	5.8
09:30	6.0	6.1	6.4	6.1	5.5	5.3
10:00	5.6	5.4	5.8	5.5	5.4	5.3
10:30	5.3	5.2	5.4	5.2	5.3	5.2
11:00	5.5	5.3	5.9	5.5	5.6	5.3
11:30	5.8	5.7	6.0	5.8	5.9	5.6
12:00	6.0	5.8	6.1	6.0	6.1	6.0
12:30	6.1	5.9	6.2	6.5	6.3	6.2
13:00	7.5	7.2	7.4	7.9	7.2	7.8
13:30	8.0	7.9	8.1	8.4	8.3	8.5
14:00	7.9	7.8	7.9	8.0	7.9	8.1
14:30	7.6	7.5	7.8	7.4	7.7	7.9
15:00	6.6	6.7	7.3	7.2	7.5	7.4
15:30	6.0	6.4	6.9	7.1	7.2	7.3
16:00	6.0	6.3	6.4	7.0	7.0	7.0
16:30	5.7	6.2	6.1	6.8	6.8	6.9
17:00	6.6	6.6	6.9	7.5	7.6	7.4
17:30	8.1	7.4	7.8	8.2	8.3	7.8
18:00	8.8	8.2	8.5	8.3	8.5	8.5
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>	<b>6.8</b>	<b>6.7</b>	<b>7.0</b>	<b>7.0</b>	<b>6.9</b>	<b>6.9</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>	<b>5.3</b>	<b>5.2</b>	<b>5.4</b>	<b>5.2</b>	<b>5.3</b>	<b>5.2</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>	<b>8.8</b>	<b>8.2</b>	<b>8.5</b>	<b>8.4</b>	<b>8.5</b>	<b>8.5</b>

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013

*Graf. N° 1: Variación Diaria del Caudal.*

### 3.2.2 RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES

A continuación se detallan los resultados de los análisis de laboratorio realizados para cada muestra obtenida:

**TABLA XXXIX**  
**Resultados de los Ensayos de Laboratorio.**

Parámetro	Unidad	Día de Muestreo			Promedio	Límite Permisible	Cumplimiento
		Martes	Miércoles	Jueves			
Potencial de Hidrógeno (pH)	-	7,21	7,5	7,39	7,36	5-9	Cumple
Turbiedad	UNT	18,9	16,8	17,01	17,8	<10 <sup>9</sup>	No Cumple
Sólidos Totales	mg/L	980	980	745	901,66	1600	Cumple
Sólidos Sedimentables	ml/L	1,5	0,5	0,7	0,9	1,0	Cumple
Sólidos Suspendidos	mg/L	76	76	76	76	100	Cumple
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	8x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	8x10 <sup>7</sup>	Remoción > al 99,9%	No Cumple
Hierro (Fe)	mg/L	<0,1	0,5	<0,1	0,17	10	Cumple
Fosfatos (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	mg/L	2,6	1,04	1,15	-	-	-
Fósforo (P)	mg/L	0,84	0,34	0,38	0,52	10	Cumple
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	0,63	0,61	0,68	-	-	-
Nitratos (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	mg/L	3,4	6	8,2	-	-	-
Nitrógeno (N)	mg/L	4,03	6,61	8,88	6,5	10	Cumple
Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> )	mg/L	72,92	106	112	96,97	1000	Cumple
Aceites y Grasas	mg/L	10,8	48	97	51,93	30	No Cumple
DBO <sub>5</sub>	mg/L	116	112	280	169,33	100	No Cumple
DQO	mg/L	182	178	362	240,66	250	Cumple

\*FUENTE: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias - ESPOCH

### 3.2.3 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO

Se rediseñó una nueva red de alcantarillado con un sistema combinado que transportará en conjunto las aguas pluviales y residuales hacia la Descarga N°1 en donde estará ubicada la Planta de Tratamiento. Seguirá el mismo tendido de la red de alcantarillado actual aprovechando la pendiente natural del terreno y funcionando por gravedad.

La longitud total de la red de alcantarillado combinado es de aproximadamente de 4447 m y está diseñada para un caudal mínimo de 28.06 L/s y un máximo de 33,91 L/s; sin embargo la tubería completamente llena puede llegar a soportar un caudal máximo de 914 L/s a una velocidad de 5,7 m/s, valores que deben ser tomados en cuenta cuando la tubería cumpla su período de diseño.

<sup>9</sup> Los filtros lentos biológicos de arena no deben de operar con aguas con turbiedades que sobrepasen los 10 UNTN. – Capítulo I.

Se escogió una tubería plástica de PVC de doble pared con coeficiente de rugosidad  $n = 0,013$  y con las siguientes características:

* Diámetro nominal	475 mm
* Diámetro externo	475 mm
* Diámetro interno	450 mm
* Espesor de la tubería	25 mm

Se propuso que la profundidad de excavación para la instalación de la tubería sea igual a 1,90 m incluido el valor de 1,20 m que se da como relleno mínimo de seguridad para que la tubería soporte el tránsito vehicular, con una pendiente mínima de 0,2% y una máxima de 10,3%.

### 3.2.4 RESULTADOS DEL CAUDAL DISEÑO

En la siguiente tabla de valores se detallan los resultados del caudal diseño para la red de alcantarillado combinado obtenidos a partir de su dimensionamiento.

**TABLA XL**  
**Resultados de los diferentes Caudales.**

Parámetro	Símbolo	Unidad	Dato
Caudal Pluvial	$Q_p$	L/s	7,1370
Caudal Medio Diario	$Q_{md}$	L/s	4,871
Coefficiente de Mayorización	M	-	3,504
Caudal Máximo Diario	$Q_{MD}$	L/s	17,071
Caudal de Infiltración	$Q_i$	L/s	2,278
Caudal Industrial	$Q_{ind}$	L/s	4,010
Caudal por Conexiones Erradas	$Q_e$	L/s	3,414
Caudal Diseño	$Q_D$	L/s	33,91
Caudal Mínimo	$Q_d$	L/s	28,06
Caudal de Emergencia	$Q_{EMG}$	L/s	40,00

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013

### 3.2.5 RESULTADOS DEL DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES FÍSICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES

A continuación se detalla los resultados obtenidos para cada unidad de tratamiento a partir de los cálculos de diseño realizados.

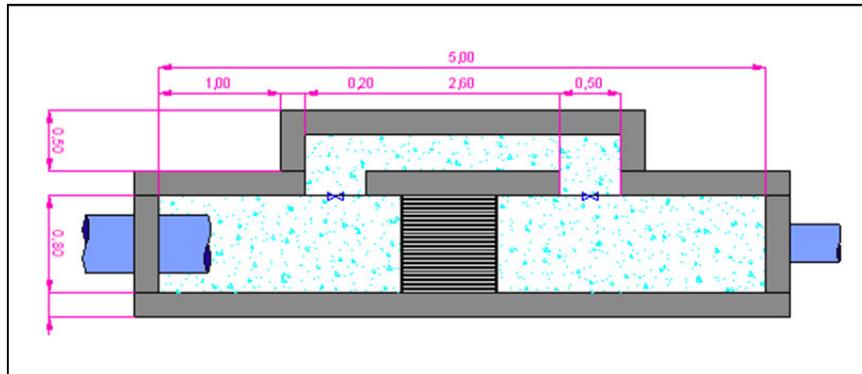
### 3.2.5.1 PRETRATAMIENTO

#### ➤ CANAL DE LLEGADA

**TABLA XLI**  
**Dimensiones del Canal de Llegada.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Valor	Unidad
Base (propuesto)	b	80	cm
Espesor (propuesto)	E	20	cm
Largo	L	5	m
Altura Total	H	1	m
Altura de Seguridad (propuesto)	Hs	90	cm
Pendiente (propuesto)	S	3	%

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

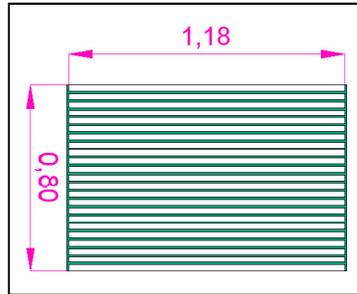
Fig. N°8: Canal de llegada.

#### ➤ REJILLAS

**TABLA XLII**  
**Dimensiones de las Rejillas.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Área libre al paso del agua	Al	m <sup>2</sup>	0,0565
Longitud de las barras	Lb	m	1,18
Número de barras	n	-	22
Pérdida de energía	hf	m	0,0260
Ancho	b	cm	80
Área total de las rejillas	A	m <sup>2</sup>	0,944

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

Fig. N°9: Rejilla.

### 3.2.5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO

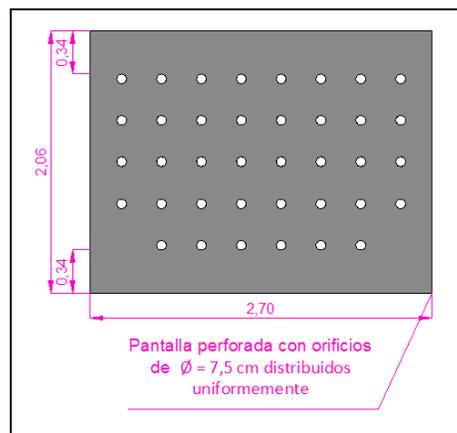
#### ➤ SEDIMENTADOR CONVENCIONAL

- Zona de Entrada:

**TABLA XLIII**  
**Dimensiones de la Pantalla Difusora.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Área total de los orificios	$A_o$	$m^2$	0,17
Área del orificio	$a_o$	$m^2$	0,005
Número de orificios	$n_o$	-	38
Ángulo de ensanchado de cada orificio	$\alpha$	-	15°
Ancho de la pantalla difusora	$b$	m	2,7
Distancia de la pantalla difusora de la pared de entrada	-	m	1
Distancia de la pantalla difusora de la pared de interior del sedimentador	-	cm	90

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

Fig. N°10: Pantalla Perforada.

- **Zona de Sedimentación:**

**TABLA XLIV**  
**Dimensiones del Tanque de Sedimentación.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Ancho	b	m	2,7
Espesor	E	cm	20
Largo del tanque	L	m	8
Largo total del sedimentador	$L_T$	m	9
Profundidad	H	m	1,7
Velocidad crítica de sedimentación para partículas discretas	V <sub>si</sub>	m/s	$7,6924 \times 10^{-4}$
Velocidad crítica de sedimentación para partículas críticas	V <sub>sc</sub>	m/s	0,0277
Velocidad de sedimentación del tanque	V <sub>s</sub>	m/d	66,46
Área Superficial	A <sub>s</sub>	m <sup>2</sup>	22
Tiempo de retención hidráulico	P <sub>RH</sub>	min	41
Volumen del tanque	Vol	m <sup>3</sup>	41,31
Velocidad Horizontal	V <sub>h</sub>	m/s	0,00077068
Velocidad de arrastre	V <sub>a</sub>	m/s	0,0879

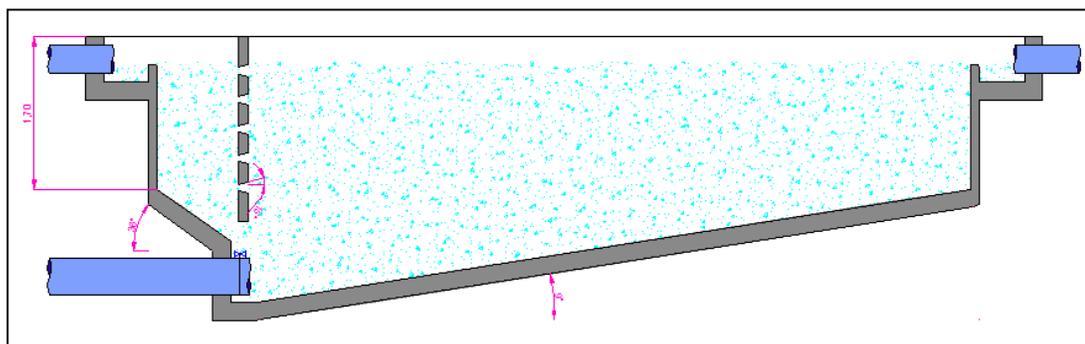
\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

- **Zona de Salida:**

**TABLA XLV**  
**Dimensiones del vertedero de salida del sedimentador.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Altura de agua sobre la cresta del vertedero	ha	m	0,023

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

*Fig. N°11: Sedimentador Convencional.*

### 3.2.5.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

#### ➤ FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA

**TABLA XLVI**  
*Dimensiones del Filtro Lento Biológico de Arena.*

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Área Superficial	As	m <sup>2</sup>	33,33
Longitud	L	m	7
Ancho	b	m	5
Espesor	E	cm	20
Profundidad	H	m	3
Capa de grava	-	cm	40
Capa de arena fina	-	cm	90
Capa de agua residual	-	m	1,50
Altura de seguridad	Hs	cm	20
Velocidad de filtración real	Vf <sub>R</sub>	m/h	0,12

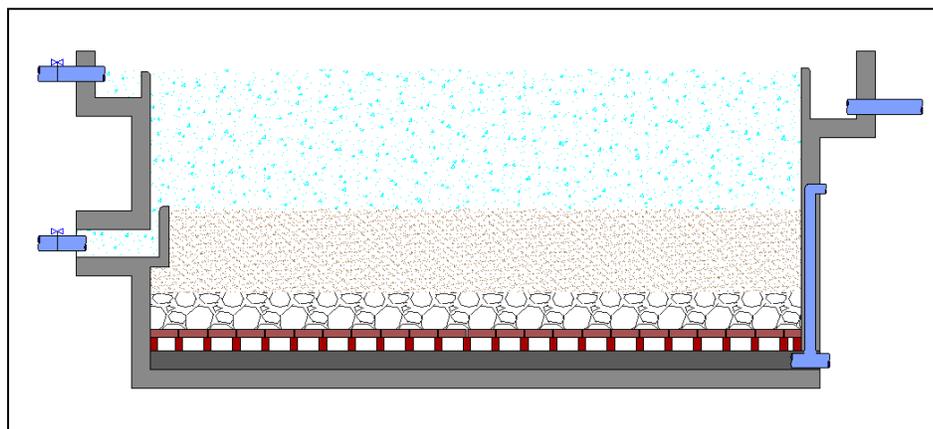
\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

- Sistema de entrada y llenado del filtro:

**TABLA XLVII**  
*Dimensiones del vertedero de entrada del filtro.*

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Longitud para la cresta del vertedero	b	m	5
Altura de agua sobre la cresta del vertedero	ha	m	0,020

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

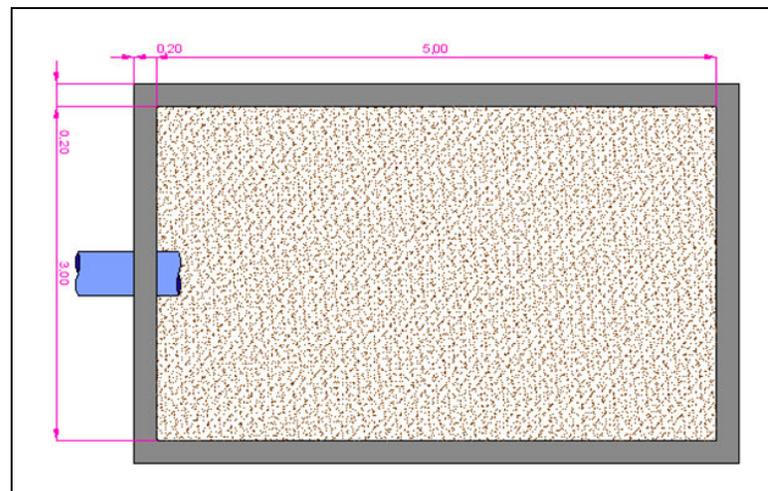
*Fig. N°12: Filtro Lento Biológico de Arena.*

➤ **LECHO DE SECADO**

**TABLA XLVIII**  
**Dimensiones del Lecho de Secado.**

Parámetro de Diseño	Abreviatura	Unidad	Valor
Carga de sólidos que ingresa al sedimentador	C	Kg/d	222,67
Masa de sólidos que conforman los lodos	Msd	Kg/d	72,4
Volumen diario de lodos digeridos	Vld	L/d	580
Volumen de lodos a extraerse	Vel	m <sup>3</sup>	23,2
Área individual del lecho	Als	m <sup>2</sup>	15
Ancho	b	m	3
Espesor	E	cm	20
Largo	L	m	5
Profundidad	H	cm	60
Profundidad de la Capa de lodo	Ha	cm	40
Capa de grava	-	cm	10

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

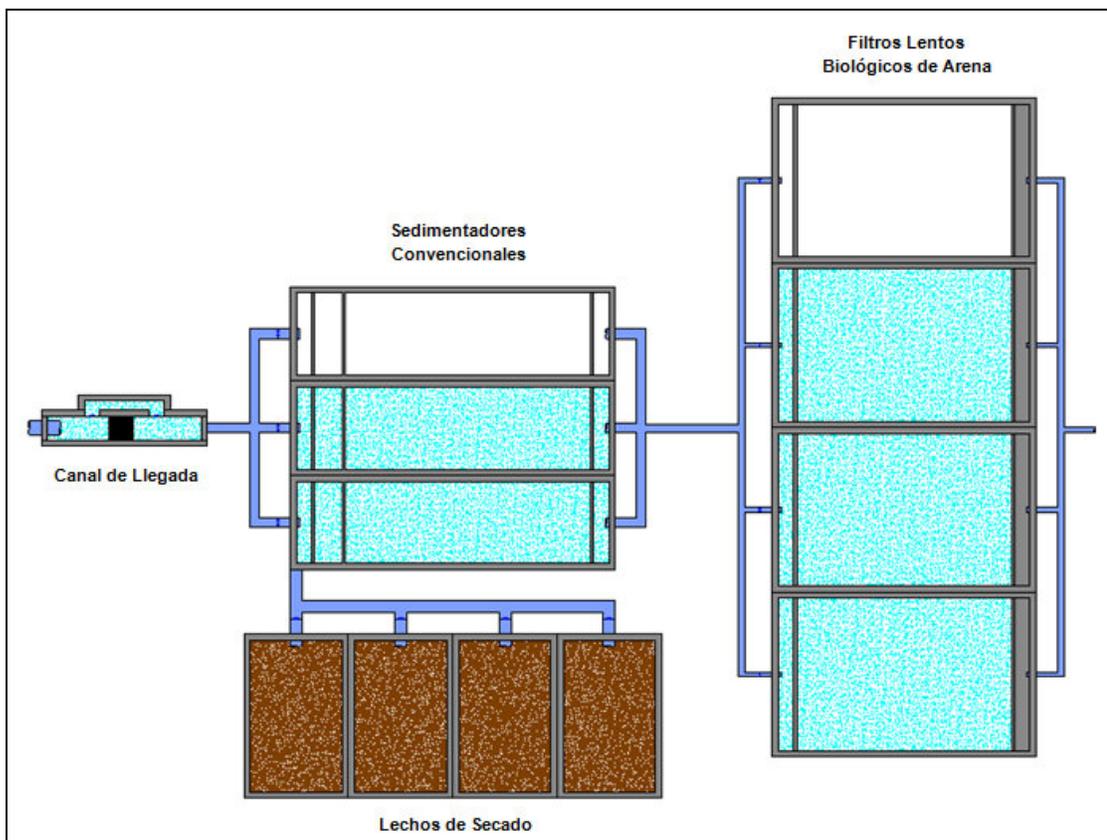
*Fig. N° 13: Lecho de Secado.*

### 3.3 PROPUESTA

Los resultados de la caracterización del Agua Residual de la Cabecera Parroquial de San Luis demuestran el incumplimiento de la Normativa Ambiental en los siguientes parámetros: Coliformes Fecales, Aceites y Grasas y DBO<sub>5</sub>.

El propósito del Diseño de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales es el de lograr que los parámetros que estén fuera de la Normativa Ambiental reduzcan su valor alto hasta un valor que se encuentre dentro de los límites permisibles establecidos por la norma, consiguiendo de esta manera reducir la carga contaminante provocada por éstos parámetros.

Es así que en base a lo escrito anteriormente se propone la siguiente Planta de Tratamiento para Aguas Residuales conformada por las siguientes unidades de tratamiento:



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

Fig. N° 14: Planta de Tratamiento de Aguas Residuales propuesta.

### 3.3.1 RENDIMIENTO DEL PROCESO DE DEPURACIÓN

Para el rendimiento de depuración de la planta de tratamiento propuesta se debe tomar en cuenta con mayor importancia los parámetros que están fuera del límite de la normativa ambiental, en este caso son: coliformes fecales, aceites y grasas, DBO y turbiedad. Sin embargo, como son solo tres parámetros, para el cálculo del rendimiento también se tomará en cuenta los parámetros que más se destacan en la etapa de tratamiento primario y secundario aunque cumplan con la normativa ambiental, es decir: sólidos sedimentables, sólidos suspendidos y DQO.

En la siguiente tabla se mencionan los valores promedio de concentración de los parámetros mencionados:

**TABLA XLIX**  
**Parámetros fuera de los límites de la Normativa Ambiental.**

Parámetro	Concentración
Turbiedad	17,8 UNT
Sólidos Sedimentables	0,9 mL/L
Sólidos Suspendidos	76 mg/L
Coliformes Fecales	$8 \times 10^7$
Aceites y Grasas	51,93 mg/L
DBO	169,33 mg/L
DQO	240,66 mg/L

\*FUENTE: Laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias - ESPOCH

A continuación se detalla el cálculo del rendimiento para un solo parámetro ya que para los demás parámetros el procedimiento es el mismo. Se aplicaron las ecuaciones 64 y 66.

#### 3.3.1.1 RENDIMIENTO DEL PRETRATAMIENTO

El proceso del cribado remueve teóricamente alrededor del 3 al 5% de sólidos suspendidos, para los demás parámetros la remoción es despreciable. (32) (4)

$$S_e = \left( 76 \frac{mg}{L} * \frac{3\%}{100\%} \right) - 76 \frac{mg}{L}$$

$$S_e = 73,72 \frac{mg}{L}$$

$$E = 0,955 * e^{-\left( \frac{265}{76 \frac{mg}{L}} + 0,0021 * \frac{0,03391 \frac{m^3}{s}}{0,944 m^2} \right)}$$

$$E = 3\%$$

**TABLA L**  
**Rendimiento del Pretratamiento.**

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Eficiencia de la Remoción	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Turbiedad	17,8 UNT	-	-	17,8 UNT
Sólidos Sedimentables	0,9 mL/L	-	-	0,9 mL/L
Sólidos Suspendidos	76 mg/L	3%	3%	73,72 mg/L
Aceites y Grasas	51,93 mg/L	-	-	51,93 mg/L
DBO	169,33 mg/L	-	-	169,33 mg/L
DQO	240,66 mg/L	-	-	240,66 mg/L

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

### 3.3.1.2 RENDIMIENTO DEL TRATAMIENTO PRIMARIO

Generalmente el tratamiento primario remueve alrededor del 30 a 40% de DBO, 30 a 40% de DQO, 50 a 65% de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, 70% de aceites y grasas, y para los microorganismos patógenos la remoción es despreciable. (4) (32)

$$S_e = \left( 73,72 \frac{mg}{L} * \frac{60\%}{100\%} \right) - 73,72 \frac{mg}{L}$$

$$S_e = 29,49 \frac{mg}{L}$$

$$E = 0,955 * e^{-\left( \frac{265}{29,49 \frac{mg}{L}} + 0,0021 * \frac{0,03391 \frac{m^3}{s}}{22 m^2} \right)}$$

$$E = 3\%$$

**TABLA LI**  
**Rendimiento del Tratamiento Primario.**

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Eficiencia de la Remoción	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Turbiedad	17,8 UNT	50%	0%	8.9 UNT
Sólidos Sedimentables	0,9 mL/L	60%	0%	0,36 mL/L
Sólidos Suspendidos	73,72 mg/L	60%	3%	29,49 mg/L
Aceites y Grasas	51,93 mg/L	70%	1%	15,58 mg/L
DBO	169,33 mg/L	35%	20%	110,06 mg/L
DQO	240,66 mg/L	35%	32%	156.43 mg/L

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

### 3.3.1.3 RENDIMIENTO DEL TRATAMIENTO SECUNDARIO

El tratamiento secundario remueve alrededor del 65 a 80% de DBO, 60 a 80% de DQO, 60 a 70% de sólidos suspendidos y sólidos sedimentables, 70% de aceites y grasas, y para los microorganismos patógenos la remoción es despreciable. (4)

$$S_e = \left( 29,49 \frac{mg}{L} * \frac{70\%}{100\%} \right) - 29,49 \frac{mg}{L}$$

$$S_e = 8,85 \frac{mg}{L}$$

$$E = 0,955 * e^{-\left( \frac{265}{29,49} \frac{mg}{L} + 0,0021 * \frac{0,03391 m^3}{33,33 m^2} \right)}$$

$$E = 0\%$$

**TABLA LII**  
**Rendimiento del Tratamiento Secundario.**

Parámetro	Concentración del afluente	Remoción teórica asumida	Eficiencia de la Remoción	Concentración que pasa a la siguiente etapa
Turbiedad	8.9 UNT	70%	0%	5.34 UNT
Sólidos Sedimentables	0,36 mL/L	70%	0%	0,11 mL/L
Sólidos Suspendidos	29,49 mg/L	70%	0%	8,85 mg/L
Aceites y Grasas	15,58 mg/L	70%	0%	4.67 mg/L
DBO	110,06 mg/L	70%	9%	33,02 mg/L
DQO	156.43 mg/L	70%	18%	46,93 mg/L

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

### 3.3.1.4 RENDIMIENTO TOTAL DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

A continuación se presenta un ejemplo de aplicación de la ecuación 65 y una tabla de valores en donde se indica la eficiencia de remoción que tiene la Planta de Tratamiento propuesta para cada parámetro que está fuera de los límites establecidos por la norma.

*\*Eficiencia total de remoción para Sólidos Suspendidos:*

$$ET = \frac{76 \frac{mg}{L} - 8,85 \frac{mg}{L}}{76 \frac{mg}{L}} * 100$$

$$ET = 88,4 \%$$

**TABLA LIII**  
**Eficiencia Total de la Planta de Tratamiento propuesta.**

Parámetro	Concentración del afluente	Concentración del efluente	Eficiencia Total de la PTAR
Turbiedad	17,8 UNT	5,34 UNT	70%
Sólidos Sedimentables	0,9 mL/L	0,11 mL/L	87,8%
Sólidos Suspendidos	76 mg/L	8,85 mg/L	88,4%
Aceites y Grasas	51,93 mg/L	4,67 mg/L	91%
DBO	169,33 mg/L	33,02 mg/L	80,5%
DQO	240,66 mg/L	46,93 mg/L	80,5%

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

### 3.3.2 VERIFICACIÓN DEL CUMPLIMIENTO CON LA NORMATIVA AMBIENTAL

A continuación se presenta en la siguiente tabla de valores una comparación de la concentración inicial obtenida a través de los análisis de laboratorio de los parámetros anteriores, la concentración final obtenida con la Planta de Tratamiento propuesta, los límites establecidos por el Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundario (TULAS), Libro VI – Anexo 1: Tabla #12, y la verificación del cumplimiento de dicha norma:

**TABLA LIV**  
**Verificación del Cumplimiento de la Normativa Ambiental.**

Parámetro	Unidad	Concentración inicial	Concentración final	Límite Permisible	Cumplimiento
Turbiedad	UNT	17,8	5,34 UNT	<10	Cumple
Sólidos Sedimentables	mL/L	0,9	0,11	1,0	Cumple
Sólidos Suspendidos	mg/L	76	8,85	100	Cumple
Aceites y Grasas	mg/L	51,93	4,67	30	Cumple
DBO	mg/L	169,33	33,02	100	Cumple
DQO	mg/L	240,66	46,93	250	Cumple

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

### **3.4 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

#### **3.4.1 MEDICIÓN DE CAUDALES**

La medición del caudal se realizó en la Descarga N°1 desde las de 6h30 hasta las 18h00 por 6 días consecutivos: lunes, martes, miércoles, jueves, viernes y sábado.

**\*Discusión:** Según los datos obtenidos en la medición se puede observar que la variación del caudal a lo largo del día es mínima dando como resultado un caudal promedio de 6,9 L/s para los seis días monitoreados. Debido a que el caudal varía solo con 1 a 2 litros de diferencia a lo largo del día no fue necesario realizar más mediciones.

En el Anexo N°6 se muestran los resultados de la medición del caudal para cada día así como las gráficas de la variación del caudal.

#### **3.4.2 CÁLCULO DE LA POBLACIÓN DISEÑO**

Se aplicó el método geométrico para la proyección demográfica del área en estudio.

**\*Discusión:** Para un período de diseño de 25 años y una tasa de crecimiento anual igual al 1,5%, la población futura de la Cabecera Parroquial de San Luis es igual a 2716 habitantes; y para un área de 18,7095 hectáreas la densidad poblacional es igual a 145,1669 hab/ha.

#### **3.4.3 DIMENSIONAMIENTO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO**

El diagnóstico breve que se realizó en el alcantarillado de la Cabecera Parroquial de San Luis demostró que existe una red de alcantarillado sanitario de 35 años de uso, y una red de alcantarillado pluvial de 28 años de uso, con una tubería de asbesto de diámetro externo de 350mm y de diámetro interno de 200mm. Ambas redes no han sido renovadas hasta la actualidad por lo que se puede asumir que son sistemas caducos, además, el incremento de la población desde 1978, las nuevas infraestructuras y la presencia de varias inundaciones en las calles de la zona en estudio cuando llueve y la acumulación de tierra en los sumideros provocan colapsos temporales en las redes por lo que se ve la necesidad de proponer el cambio de tuberías.

**\*Discusión:** Se escogió un sistema de alcantarillado combinado debido a que los volúmenes anuales drenados de aguas residuales son mayores que los volúmenes de aguas pluviales y la combinación de estos dos tipos de agua no produce problemas al momento de su tratamiento, además resulta ser una mejor alternativa económica y ambiental ya que se reduce costos al momento de su implementación y genera menos impactos ambientales en la zona de estudio.

#### **3.4.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES FÍSICAS DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES**

Basándose en resultados de los análisis de laboratorio obtenidos, el Sistema de Tratamiento para las Aguas Residuales producidas por la Cabecera Parroquial de San Luis que se propone a continuación está formado por los siguientes procesos de tratamiento:

- **PRETRATAMIENTO:** Proceso Físico y Proceso Físico / Biológico
  - Canal de Llegada
  - Cribado
  
- **TRATAMIENTO PRIMARIO:** Proceso Físico, Químico y Biológico
  - Sedimentador Convencional
  
- **TRATAMIENTO SECUNDARIO:** Proceso Físico y Proceso Biológico (Método Natural de Depuración de Aguas Residuales)
  - Filtro Lento Biológico de Arena
  - Lecho de Secado

##### **3.4.4.1 PRETRATAMIENTO**

###### **➤ CANAL DE LLEGADA**

Se diseñó un canal de llegada artificial de hormigón con coeficiente de rugosidad  $n=0,016$ , de sección rectangular.

**\*Discusión:** El canal de llegada tiene como función recibir el agua que llega directamente de la red de alcantarillado combinado. Con la finalidad de que el flujo del agua sea

constante dentro del canal se ha propuesto una pendiente del 3% para que la velocidad del caudal máximo sea de 0,967 m/s y la del caudal promedio de 0,701 m/s; estos valores se encuentran dentro del rango de 0,6 m/s a 2,5 m/s tal y como se indica en los criterios de diseño del canal de llegada mencionados en el Capítulo 1.

#### ➤ **REJILLAS**

Se diseñó una rejilla con 22 barras finas de sección rectangular y de limpieza manual.

**\*Discusión:** La rejilla tiene el mismo ancho del canal (80 cm), pero con un ángulo de inclinación igual 50° con respecto a la horizontal del canal. Está ubicada dentro del canal de llegada con el fin de que el agua residual proveniente de la red de alcantarillado se libere de los sólidos, residuos y material flotante presentes en ella antes de que entre a la planta de tratamiento.

### **3.4.4.2 TRATAMIENTO PRIMARIO**

#### ➤ **SEDIMENTADOR CONVENCIONAL**

Se diseñó tres sedimentadores convencionales de sección rectangular con clarificación tipo 1 y flujo horizontal basándose en el caudal diseño para cada unidad  $Q_D = 0,016955 \text{ m}^3/\text{s}$ . Cada uno está compuesto por cuatro zonas independientes.

**\*Discusión:** De las tres unidades diseñadas, un sedimentador convencional será destinado como reserva para cuando se tenga que dar mantenimiento a cualquiera de las dos unidades anteriores.

En la zona de entrada los orificios están distribuidos de forma uniforme en toda el área de la pantalla. Los más altos se ubicaron a 1/5 de altura a partir de la superficie del agua y los más bajos a 1/5 de altura a partir de la superficie del fondo. Además, se propuso el diseño de un vertedero de entrada similar al diseño del vertedero de salida, esto con el fin de poder regular la velocidad del afluente que ingresa al sedimentador convencional.

Para el drenaje de los lodos producidos se escogió una tubería de PVC corrugado de doble pared de 400 mm de diámetro externo y 361,2 mm de diámetro interno.

### 3.4.4.3 TRATAMIENTO SECUNDARIO

Para el tratamiento secundario se aplicó un Método Natural de Depuración. Se escogió el filtro lento biológico de arena el cual permite depurar las aguas residuales por medio de una filtración biológica que se da a través de una biopelícula formada por los mismos microorganismos presentes en el agua residual. La filtración biológica se da en condiciones anaerobias y degrada materia orgánica, nutrientes, microorganismos y otros componentes del agua residual de una manera efectiva permitiendo así reutilizar el agua tratada como agua para riego si así lo requieren.

#### ➤ FILTRO LENTO BIOLÓGICO DE ARENA

Se diseñaron cuatro filtros lentos biológicos de arena de flujo descendente y de sección rectangular basándose en el caudal diseño para cada unidad  $Q_D = 0,011303333 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**\*Discusión:** De las cuatro unidades diseñadas, un filtro lento biológico de arena será destinado como reserva para cuando se tenga que dar mantenimiento a cualquiera de las tres unidades anteriores.

Para el sistema de entrada y llenado del filtro se diseñó un vertedero de entrada con la finalidad de que impida turbulencias del flujo al momento que ingresa al filtro y así evitar perturbar la capa de arena que se encuentra dentro. El agua que ingresa al filtro se transportará en una tubería de PVC corrugado de doble pared de 160 mm de diámetro externo y 145,8 mm de diámetro interno. También se diseñó un vertedero de salida para el exceso de agua presente en el filtro con las mismas características.

El sistema de drenaje se lo realizó con ladrillos superiores e inferiores. Los ladrillos del fondo (inferiores) forman filas pequeñas a manera de canales con el fin de realizar un soporte para los ladrillos que se encuentran encima (superiores). Los ladrillos superiores se encuentran tendidos de plano y están separados de cada ladrillo por 1cm de distancia a cada lado.

En el fondo del filtro se diseñó un canal colector central cuya función es la de recolectar el agua filtrada llevándola hacia una tubería de salida. Se escogió una tubería de PVC corrugado de doble pared con las mismas características de la tubería de entrada.

También se añadió al sistema de salida una tubería extra de PVC corrugado de doble pared para la ventilación de los drenes y del agua filtrada de 110 mm de diámetro externo y 99,2 mm de diámetro interno.

Para el vaciado del filtro se diseñó un vertedero interno ubicado a una altura similar a la de la capa de arena con el fin de que cuando se vacíe el filtro la arena no se levante y se mezcle en su totalidad con el agua que se drena. El vertedero dirige el agua hacia una tubería de salida la misma que es regulada por una válvula. Se escogió una tubería de PVC corrugado de doble pared de 160 mm de diámetro externo y 145,8 mm de diámetro interno.

#### ➤ **LECHO DE SECADO**

Se diseñó 4 lechos de secado de sección rectangular y sin sistema de drenaje. Los lodos se aplicarán en los lechos en capas de 40 cm y sobre una capa de grava de 10 cm de espesor.

**\*Discusión:** Como no tiene sistema de drenaje el secado de los lodos se lo realizará por medio de la evaporación y tendrá unas aberturas pequeñas de 5cm x 10cm ubicadas uniformemente en el fondo de la parte posterior de cada lecho, con el fin de que pueda evacuar algún residuo de agua presente en el lodo.

# **CAPÍTULO 4**

## CAPÍTULO IV

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 CONCLUSIONES

- El volumen del caudal a lo largo del día varía de 1 a 2 L siendo el valor del caudal promedio de 6,9 L/s para los seis días muestreados.
- Se rediseñó una red de alcantarillado combinado de 4447 m de longitud para un caudal mínimo de 28.06 L/s y un máximo de 33,91 L/s.
- La nueva tubería será de PVC de doble pared de 475 mm de diámetro nominal y 450 mm de diámetro interno para todos los tramos.
- La profundidad de excavación de la tubería es igual a 1,90 m con una pendiente mínima de 0,2% y una máxima de 10,3%.
- Los parámetros que no cumplen con la normativa ambiental TULAS son: Coliformes Fecales  $8 \times 10^7$  UFC/100 mL, Aceites y Grasas 51,93 mg/L y DBO<sub>5</sub> 169,33 mg/L.
- El diseño de la Planta de Tratamiento para Aguas Residuales contempla dos tratamientos convencionales y un tratamiento natural.
- Según los planos realizados, el proceso de depuración de la planta de tratamiento tiene un área total de 0,07 ha aproximadamente y está compuesto por: 1 canal de llegada con rejillas como pre-tratamiento; 3 sedimentadores convencionales como tratamiento primario; 4 filtros lentos biológicos de arena y 4 lechos de secado como tratamiento secundario.
- Cada unidad de tratamiento ha sido diseñada según los criterios de diseño y ecuaciones sugeridas por las normas y guías de diseño para sistemas de tratamiento de aguas residuales con el fin de obtener y garantizar un grado aceptable de depuración.

- La eficiencia de depuración de la Planta de Tratamiento diseñada permite remover alrededor de: 70% de turbiedad, 87,8 % de sólidos sedimentables, 88,4% de sólidos suspendidos, 91% de aceites y grasas, 80,5% de DBO, y 80,5% de DQO, cumpliendo de esta manera con los límites establecidos por la normativa ambiental TULAS y preservando la calidad del agua del Río Chibunga al reducir en gran medida la carga contaminante de los parámetros anteriores.

#### **4.2 RECOMENDACIONES**

- Debido a que existen dos industrias en la zona en estudio, se recomienda que las autoridades respectivas de la Cabecera Parroquial de San Luis emitan ordenanzas en donde se establezcan que las industrias realicen un tratamiento in situ de sus aguas residuales producidas antes de descargarlas a la red de alcantarillado para así poder tener un mejor rendimiento de la Planta de Tratamiento y evitar colapsos de la misma debido a las altas cargas contaminantes producidas por las industrias.
- Impermeabilizar con geomembranas el terreno en donde se desea construir las unidades de la Planta de Tratamiento con el fin de evitar futuras contaminaciones subterráneas.
- Se recomienda que las paredes internas de los filtros lentos biológicos de arena sean corrugadas o posean una leve inclinación con respecto a la horizontal del filtro ya que con esto se logra evitar percolaciones del agua residual a tratar.
- Si se desea reutilizar el agua tratada como agua para riego realizar la caracterización física, química y microbiológica respectiva para poder determinar si el agua es apta para este tipo de uso.

# **CAPÍTULO 5**

## CAPÍTULO V

### BIBLIOGRAFÍA

- (1)**ARBOLEDA, J.**, Teoría y Práctica de la Purificación del Agua., 3 ed., Bogotá – Colombia., Editorial NOMOS., 2000., Pp. 200-201, 216-217, 248-249, 63-364, 444, 551–562.
- (2)**CLESCERI, L., GREENBERG, A., EATON, A.**, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater., 20 ed., Washington D.C. – Estados Unidos., 2005., Pp. 5, 10–16.  
[www.standardmethods.org](http://www.standardmethods.org)
- (3)**ECUADOR.**, SECRETARÍA NACIONAL DE PLANIFICACIÓN Y DESARROLLO (SENPLADES)., Plan Nacional para el Buen Vivir 2009-2013: Construyendo un Estado Plurinacional e Intercultural., 1 ed., Quito – Ecuador., 2009., Pp. 10 – 16.  
[www.senplades.gov.ec](http://www.senplades.gov.ec)
- (4)**ROMERO, J.**, Tratamiento de Aguas Residuales: Teoría y Principios de Diseño., 3 ed., Bogotá – Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 2008., Pp. 17 – 19, 57 - 61, 69, 75 - 77, 80, 130, 131, 139, 287 - 289, 633, 634, 640, 1085, 1088 – 1090, 1098.
- (5)**ROMERO, J.**, Acuíquímica., 1 ed., Bogotá – Colombia., Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería., 1996., Pp. 73, 79, 85, 106 - 107, 105, 124-125.

- (6)**AZNAR, A.**, Tecnologías ecológicas y de bajo coste en depuración., Universidad Carlos III, Madrid – España., Departamento de Ciencias e Ingeniería de Materiales e Ingeniería Química., s.f., Pp. 60, 78.  
<http://ocw.uc3m.es>
- (7)**DURADREN**, Saneamiento Ecológico – Línea Alcantarillado., Criterios de Diseño para Redes de Alcantarillado empleando tubería de PVC., s.l., s.f., Pp8, 13, 16, 27.  
<http://iio.ens.uabc.mx>
- (8)**E.E.U.U.**, FUNDACIÓN HESPERIAN – PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO., Agua para vivir: Cómo proteger el agua comunitaria., Nueva York - Estados Unidos., 2005., Pp. 3.  
[www.hesperian.org](http://www.hesperian.org)
- (9)**EPM.**, Guía para el Diseño Hidráulico de Redes de Alcantarillado., Medellín - Colombia., 2009., Pp. 9, 19, 20, 32.  
[www.epm.com.co/site](http://www.epm.com.co/site).
- (10) **FILTROS LENTOS.**, Cálculo del Filtro Lento de Arena., s.l., 2012., Pp. 18-20, 63, 64.  
<http://bioantu.files.wordpress.com>
- (11)**MÉTODOS NATURALES DE DEPURACIÓN DE AGUAS RESIDUALES URBANAS.**, Depuración de aguas residuales urbanas de pequeñas poblaciones mediante infiltración directa en el terreno., s.l., s.f., Pp. 13-23, 18-19.  
<http://aguas.igme.es>
- (12)**NOVAFORT PLASTIGAMA - Manual Técnico.**, Sistema de tuberías de PVC corrugadas doble pared y accesorios para alcantarillado., Quito – Ecuador., 2004., Pp. 4, 7.  
<http://www.plastigama.com.ec>

- (13) **NOVALOC PLASTIGAMA - Manual Técnico.**, Sistema de tuberías de PVC doble pared y accesorios para alcantarillado y aplicaciones agrícolas., Quito – Ecuador., 2004., Pp. 7, 10, 23, 27.  
<http://www.plastigama.com.ec>
- (14) **PÉREZ P. J.**, TRATAMIENTO DE AGUAS: Sedimentación., Facultad de Minas., Universidad Nacional., Quito – Ecuador., s.f., Pp. 100–103, 112–114, 121, 124, 125.  
<http://www.bdigital.unal.edu.com>
- (15) **PÉREZ C. J.**, TRATAMIENTO DE AGUAS: Sedimentación., s.l., s.f., Pp. 2, 121.  
<http://www.bvsde.paho.org>
- (16) **SAIZ J.**, Hidráulica de Canales., División de Ingeniería., Departamento de Ingeniería Civil y Minas., Universidad de Sonora., Sonora – México., 2011., Pp. 11-13.  
<ftp://soporte.uson.mx>
- (17) **SUIZA., ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).**, Guías para la Calidad del Agua Potable., 3 ed., Ginebra - Suiza., Editorial Sun Fung – China., 2004., Pp. 5.  
<http://www.who.int>
- (18) **ARCE A., CALDERÓN C., TOMASINI A.**, Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua., Fundamentos Técnicos para el Muestreo y Análisis de Aguas Residuales., México D.F - México., Instituto Mexicano de Tecnología del Agua., s.f., Pp. 1-2, 5, 8, 28.  
<http://www.bvsde.paho.org>

**(19)FOSTER, S. y otros.**, Notas Informativas del GW · MATE - Gestión Sustentable del Agua Subterránea: Conceptos y Herramientas., Recarga del Agua Subterránea con Aguas Residuales Urbanas: Evaluación y Manejo de los Riesgos y Beneficios., Washington D.C – Estados Unidos., Nota N° 12., traducido al español por Héctor Garduño., 2006., Pp. 1-5.  
[www.worldbank.org/gwmate](http://www.worldbank.org/gwmate)  
[www.gwpforum.org](http://www.gwpforum.org).

**(20)RODRÍGUEZ, A. y otros.**, Informe de vigilancia tecnológica – VT MIOD., Tratamientos avanzados de Aguas Residuales Industriales., Madrid - España., Nota N° 2., 2006., Pp. 10 – 16.  
[www.madrimasd.org](http://www.madrimasd.org).

**(21)BOLIVIA.**, INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD (IBNORCA)., Norma Boliviana NB 688: Instalaciones Sanitarias – Alcantarillado Sanitario, Pluvial y Tratamiento de Aguas Residuales., Dirección General de Saneamiento Básico (DIGESBA) del Ministerio de Vivienda y Servicios Básicos., La Paz – Bolivia., Génesis Publicidad e Impresión., 2001., Pp. 22, 27, 30, 31.

**(22)CHILE.**, INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACIÓN (INN)., Ingeniería Sanitaria – Alcantarillado de Aguas Residuales – Diseño y Cálculo de Redes., Comité Técnico: Diseño y Cálculo de Redes de Alcantarillado., Santiago de Chile – Chile., Editorial INN., 2008., Pp. 4.

**(23)COLOMBIA.**, MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO., Reglamento Técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico (RAS - 2000)., Sección II – Título E: Tratamiento de Aguas Residuales., Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico., Editorial Ministerio de Desarrollo Económico., Bogotá D.C. – Colombia., 2000., Pp. 15-16, 25, 34, 51, 54.

- (24)ECUADOR.,** EMPRESA PÚBLICA MUNICIPAL DE AGUA POTABLE Y ALCANTARILLADO., Parámetros de Diseño para Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado de la Ciudad de Riobamba., Dirección de Ingeniería: Jefatura de Estudios y Diseños., Editorial EMAPAR., Riobamba – Ecuador., s.f., Pp. 2-6, 11-16, 25, 34, 51, 54.
- (25)ECUADOR.,** INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN)., Normas para Estudio y Diseño de Agua Potable y Disposición de Aguas Residuales para Poblaciones Mayores a 1000 Habitantes., Código Ecuatoriano de la Construcción (C.E.C.), 1 Ed., Editorial INEN., Quito – Ecuador., 2003., Pp. 14, 15, 41, 97–98, 102-106, 182-197, 229, 233.
- (26)ECUADOR.,** MINISTERIO DE AMBIENTE., Texto Unificado de Legislación Ambiental., Libro VI – Anexo #1: Norma de Calidad Ambiental y descarga de efluentes: Recurso Agua., Quito – Ecuador., 2010., Pp. 330.
- (27)ECUADOR.,** MINISTERIO DE AMBIENTE., Texto Unificado de Legislación Ambiental., Libro VI de la Calidad Ambiental – Título I: Del Sistema Único de Manejo Ambiental., Quito – Ecuador., s.f., Pp. 5.
- (28)PERÚ.,** ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD – ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL – CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS / OPS)., Guías para el Diseño de Desarenadores y Sedimentadores., Editorial CEPIS., Lima – Perú., 2005., Pp. 14, 17-19, 26, 27.
- (29)PERÚ.,** ORGANIZACIÓN PANAMERICANA DE LA SALUD – ÁREA DE DESARROLLO SOSTENIBLE Y SALUD AMBIENTAL – CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS / OPS)., Guías para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización., Editorial CEPIS., Lima – Perú., 2005., Pp. 17,18, 40.

- (30)BANDA, S.**, Diseño de los Sistemas de Alcantarillado Sanitario y Pluvial, Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) para el Centro de Albergue, Formación y Capacitación Juvenil de la Fundación Don Bosco – Loja., Escuela de Ingeniería Civil., Ingeniería Civil., Universidad Técnica Particular de Loja., Loja – Ecuador., Tesis., 2012., Pp. 14 – 16, 30 – 38, 48, 53, 58, 87, 88.
- (31)BORJA, M.**, Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la ciudad de Guaranda., Escuela de Ciencias Químicas., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba – Ecuador., Tesis., 2011., Pp. 4 – 6, 11 -15, 19.
- (32)CARGUA, R.**, Diseño de Planta de Tratamiento de Agua Residual para el sector Santa Cruz – Riobamba., Escuela de Ciencias Químicas., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba - Ecuador., Tesis., 2009., Pp. 25-26, 40-43.
- (33)CARRERA, W.**, Estudio y Diseño de Alcantarillado Sanitario de la Comunidad 29 de Septiembre del Cantón Puerto Quito., Ingeniería Civil., Escuela Politécnica del Ejército., Quito - Ecuador., Tesis., 2006., Pp. 10-11, 30–33, 48, 71.
- (34)GRANDA, I.**, Diseño de un Sistema de Tratamiento de Agua en la Comunidad de la Región Amazónica de Timpoca., Escuela de Ingeniería., Ingeniería Química., Escuela Politécnica Nacional., Quito - Ecuador., Tesis., 2007., Pp. 5 -10, 40-41.
- (35)MAITA, J.**, Dimensionamiento de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales para la Cabecera Parroquial de Licán., Escuela de Ciencias Químicas., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba – Ecuador., Tesis., 2012., Pp. 18, 22, 30 – 33, 40, 45, 48, 63, 67, 82.

**(36)TENESACA, M.**, Diseño de una Planta de Tratamiento para Aguas Residuales de la ciudad de Cañar., Escuela de Ciencias Químicas., Ingeniería en Biotecnología Ambiental., Escuela Superior Politécnica de Chimborazo., Riobamba - Ecuador., Tesis., 2011., Pp. 30–33, 48, 71, 83.

## **BIBLIOGRAFÍA DE INTERNET**

### **(37)AFORO DE CAUDALES:**

- <http://www.fao.org>  
2012 /12/27
- <http://fluidos.eia.edu.com>  
2013/04/02

### **(38)ANÁLISIS DE TORMENTAS:**

- <http://definicion.detormenta>  
2013/03/06

### **(39)COTAS DE TERRENO:**

- <http://www.wordreference.com>  
2013/03/04

### **(40)TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES:**

- [www.etapa.net.ec](http://www.etapa.net.ec)., Empresa Municipal Pública de Telecomunicaciones., Agua Potable y Saneamiento del Cantón Cuenca – ETAPA.  
2012 /10/14

### **(41)RADIO HIDRÁULICO:**

- <http://ocwus.us.es>  
2013/03/23

### **(42)RESIDUOS SÓLIDOS:**

- <http://www.construmatica.com>  
2013/08/02

# **ANEXOS**

**ANEXO N°1**  
**CLASIFICACIÓN DE LAS AGUAS RESIDUALES**

TIPO DE AGUA RESIDUAL	DEFINICIÓN	COMPOSICIÓN
<b>1. Aguas Residuales Domésticas (ARD)</b>	<p>Proceden de las zonas de viviendas, edificios comerciales, instituciones, entre otros.</p> <p>Se generan por el metabolismo humano y varias actividades domésticas con fines higiénicos. Pueden ser tratadas y reutilizadas para el riego agrícola.</p> <p>Las aguas negras provienen de los inodoros. Transportan residuos humanos con una cantidad elevada de sólidos suspendidos, nitrógeno, y microorganismos (coliformes fecales).</p> <p>Las aguas grises provienen de las tinas, duchas, lavamanos, lavadoras, y otros. Aportan con cantidades grandes de DBO, sólidos suspendidos, fósforo grasas, y microorganismos (coliformes fecales).</p>	<p>Sólidos de origen orgánico: proteínas (65%), carbohidratos (25%) y lípidos (10%)</p> <p>Sólidos de origen inorgánico: residuos de minerales pesados, sales y metales.</p> <p>Su peso en agua es cerca de 99,9 % y apenas el 0,1 % son sólidos suspendidos, coloidales y disueltos, siendo esta pequeña fracción la que presenta mayores problemas para el tratamiento y disposición final del agua residual.</p>
<b>2. Aguas Residuales Industriales</b>	<p>Se generan durante los procesos de producción, transformación o manipulación de productos o servicios que han sido desarrollados en las industrias o empresas.</p> <p>Incluyen los líquidos residuales, aguas de proceso y aguas de refrigeración.</p> <p>No se eliminan con un tratamiento convencional debido a su concentración elevada y su naturaleza química, por lo que deben ser reguladas con tratamientos especiales.</p>	<p>Compuestos orgánicos e inorgánicos que contienen sustancias contaminantes: compuestos órgano-halogenados, hidrocarburos, cianuros, biocidas, productos fitosanitarios, metales pesados, y otros.</p> <p>Son residuos orgánicos tóxicos, persistentes y bioacumulables que pueden llegar a alterar el medio ambiente.</p>
<b>3. Aguas Residuales Municipales</b>	<p>Proviene de los centros urbanos, principalmente de la vivienda, y se mezclan con aguas residuales industriales y/o aguas de escorrentía pluvial.</p> <p>Se recogen en un sistema colector y son enviadas a una EDAR (Estación Depuradora de Aguas Residuales).</p> <p>Poseen una fracción insoluble líquida de aspecto lácteo, emulsionada y disuelta, que contiene partículas insolubles en el agua.</p>	<p>Su composición es heterogénea tanto química como físicamente:</p> <p>Compuestos orgánicos (carbohidratos, proteínas y lípidos)</p> <p>Compuestos inorgánicos (sales, residuos de materiales, tierra, papel)</p> <p>Microorganismos (virus, algas, protozoos, bacterias, hongos e insectos).</p>

\*FUENTE: Borja M., Tesis: Diseño de PTAR para la ciudad de Guaranda; Informe de Vigilancia Tecnológica - Tratamientos Avanzados de Aguas Residuales Industriales.

## ANEXO N°2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

PARAMETRO	DEFINICION	IMPACTO AMBIENTAL
<b>1. TEMPERATURA</b>	<p>Es una magnitud física que expresa el nivel de calor de los cuerpos o del ambiente.</p> <p>Se la considerada como el factor de medida para poder determinar la energía térmica como contaminante.</p> <p>Dentro del agua residual éste parámetro suele ser más elevado debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas e industrias.</p>	<p>El exceso de temperatura reduce la concentración de saturación de oxígeno en el agua por lo que afecta y altera la vida acuática.</p> <p>Acelera la descomposición de la materia orgánica aumentando el consumo de oxígeno para los procesos de oxidación y disminuyendo la solubilidad del oxígeno y de otros gases.</p> <p>Modifica la concentración de saturación de oxígeno disuelto, la velocidad de las reacciones químicas y la actividad bacterial.</p>
<b>2. OLOR</b>	<p>El agua residual reciente posee un olor desagradable. Generalmente es producido por el ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>S) proveniente de la descomposición anaerobia de los sulfatos o sulfuros. Constituye unos de los principales impactos ambientales y su control en las plantas de tratamiento debe ser muy importante.</p>	<p>La presencia de un olor ofensivo provoca dificultades respiratorias, náuseas, vómito, pérdida del apetito, menor consumo de agua, perturbaciones mentales, y otros, afectando en gran medida el nivel social de la población.</p>
<b>3. COLOR</b>	<p>Es causado por la presencia de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución.</p> <p>Las aguas residuales frescas poseen un color grisáceo y a medida que el agua aumenta su tiempo de transporte en las redes de alcantarillado su color cambia de gris oscuro a negro debido a la formación de sulfuros metálicos.</p>	<p>La presencia de color en un agua residual puede indicar el origen la de polución,</p> <p>En el caso de industrias, indica el buen estado o el deterioro de los procesos de tratamiento.</p> <p>La presencia de color en un cuerpo de agua hace que sea estéticamente inaceptable para su uso público.</p>
<b>4. TURBIEDAD</b>	<p>Constituye una medida de las propiedades de transmisión de la luz del agua.</p> <p>Permite determinar la calidad del agua vertida o del agua natural en relación con la materia coloidal y residual en suspensión.</p>	<p>Ya que las aguas residuales son generalmente turbias, en aguas residuales tratadas la turbiedad se considera un factor importante para el control de calidad.</p>
<b>5. SÓLIDOS</b>	<p>Son todas aquellas partículas que se encuentran en suspensión, coloidales y disueltos.</p>	<p>Afecta directamente a la cantidad de lodo que se produce en un sistema de tratamiento o disposición.</p> <p>Los sólidos de las aguas residuales se oxidan consumiendo el oxígeno disuelto en el agua, éstos a su vez se sedimentan al fondo de los cuerpos receptores en donde modifican el hábitat natural de la biota acuática.</p>
<b>6. MATERIA FLOTANTE</b>	<p>Se refiere a la materia en suspensión presente en el agua residual. Incluye compuestos orgánicos volátiles y materia inorgánica.</p>	<p>Al ser vertida en un medio acuático sin un tratamiento adecuado, puede dar lugar al desarrollo de depósitos de fangos y de condiciones anaerobias.</p>

\*FUENTE: Jairo Romero Rojas – Tratamiento de Aguas Residuales; Borja M., Tesis: Diseño de PTAR para la ciudad de Guaranda.

**ANEXO N°3**  
**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES**

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
<b>1. POTENCIAL HIDRÓGENO (pH)</b>	<p>Es el grado de acidez o alcalinidad de una disolución.</p> <p>Cuando el pH se encuentra entre 0 y 7 la disolución es ácida, y cuando está entre 7 y 14 la disolución es básica.</p> <p>Se lo considera como el factor de medida para poder determinar los iones de hidrógeno como contaminantes.</p>	<p>El aumento de pH en un cuerpo de agua sugiere un riesgo potencial para los organismos acuáticos.</p>
<b>2. NITRÓGENO (N)</b>	<p>Es un nutriente esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas.</p> <p>Es un parámetro necesario para evaluar la tratabilidad de las aguas residuales por procesos biológicos.</p>	<p>Se lo puede encontrar en diferentes formas: nitrógeno amoniacal, nitrógeno de nitritos, nitrógeno de nitratos, o nitrógeno orgánico.</p> <p>La presencia de nitritos (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) y nitratos (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) indican la producción de procesos activos biológicos en el agua.</p>
<b>3. FÓSFORO (P)</b>	<p>Es un elemento esencial para el crecimiento de microorganismos y plantas.</p> <p>Está presente en diferentes formas: ortofosfatos, polifosfatos, y fosfatos orgánicos, siendo éste último un nutriente indispensable de los microorganismos en el tratamiento biológico de las aguas residuales.</p>	<p>1g de fósforo presente en el agua superficial puede permitir la formación de más de 100g de biomasa o materia orgánica, lo cual necesita una DBO de 150g de oxígeno para su oxidación aeróbica completa; si no existiera estas condiciones generaría problemas de eutrofización.</p>
<b>4. FORMAS DEL AZUFRE (S)</b>	<p>El ión sulfato es una de las diferentes formas químicas del azufre y uno de los aniones más comunes en las aguas naturales.</p> <p>Se encuentra en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles de mg/L.</p> <p>Se requieren para la síntesis de proteínas y se liberan en su descomposición.</p>	<p>El alto contenido de sulfatos tiende a formar incrustaciones.</p> <p>En aguas residuales la cantidad de sulfatos es un factor importante para la determinación de problemas que generan olor y corrosión en las alcantarillas.</p>
<b>5. ACEITES Y GRASAS</b>	<p>Son sustancias insolubles en el agua y solubles en solventes orgánicos como por ejemplo el hexano.</p> <p>Están formados por carbono, hidrógeno y oxígeno. Pueden ser de origen vegetal, animal o mineral y flotan en el agua en forma de películas o natas.</p> <p>De origen vegetal y animal son biodegradables y pueden ser tratadas con facilidad con plantas de tratamiento biológico.</p> <p>De origen mineral pueden no ser biodegradables y requieren de un pretratamiento para ser removidos antes de la aplicación de un tratamiento biológico.</p>	<p>Recubren las superficies con las que entran en contacto causando problemas estéticos, iridiscencia, e interferencias con la actividad biológica.</p> <p>Su transporte a lo largo del alcantarillado es muy complicado generándose altas cargas de polución difíciles de atacar biológicamente.</p> <p>Su cuantificación permite determinar la necesidad y tipo de pretratamiento, la eficiencia y los procesos de remoción, y el grado de polución ocasionado por estos compuestos.</p>
<b>6. METALES PESADOS</b>	<p>Son un grupo de elementos que poseen una densidad relativa del metal mayor de 4 o 5.</p> <p>Incluyen: plata, bario, cadmio, cobre, zinc, cromo, cobalto, níquel, plomo, hierro, mercurio, titanio, vanadio, manganeso, y otros.</p>	<p>Generalmente son tóxicos en altas concentraciones.</p>
<b>7. DETERGENTES (Agentes Tensoactivos o Agentes Superficiales activos)</b>	<p>Son compuestos constituidos por moléculas orgánicas polares, grandes y solubles en aguas y aceites.</p> <p>Tienen la propiedad de disminuir la tensión superficial de los líquidos en que se hallan disueltos.</p> <p>Se fabrican a partir de la mezcla del agente tensoactivo con sales sódicas como sulfatos, fosfatos, carbonatos, silicatos o boratos, llegando a ser de tres tipos de grupo polar hidrófilo: aniónicos, catiónicos y no iónicos.</p>	<p>Altera la tensión superficial del agua disminuyéndola a tal punto en que se forman espumas.</p> <p>La espuma se vuelve estable gracias a la interface aire – agua y la presencia de proteínas, partículas sólidas finas y sales minerales disueltas en el agua.</p> <p>En aguas residuales, la producción de espuma produce una gran cantidad de fósforo llegando a causar problemas de eutrofización.</p>

(Continúa)

(Continuación)

### ANEXO N°3 CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DE LAS AGUAS RESIDUALES

PARÁMETRO	DEFINICIÓN	IMPACTO AMBIENTAL
<b>8. MATERIA ORGÁNICA (DQO y DBO)</b>	<p>Formada por sólidos provenientes de varios residuos de animales, plantas y de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos.</p> <p>Entre los principales grupos de sustancias orgánicas que se encuentran presentes en el agua residual están: Proteínas (40 – 60%), Hidratos de Carbono (25 – 50%) y Aceites y Grasas (10%).</p> <p>Los sólidos suspendidos presentes en el agua residual pueden contener un 75% de materia orgánica, y los sólidos disueltos un 40%.</p>	<p>El agua residual con un alto contenido de materia orgánica, al ser descargada al ambiente sin un previo tratamiento, puede provocar una desestabilización biológica que disminuye las fuentes naturales de oxígeno y causa el desarrollo de condiciones sépticas.</p> <p>Grandes concentraciones de materia orgánica presentes en las aguas residuales, son medidas en términos de DQO y DBO.</p>
	<p><b>*Demanda Química de Oxígeno (DQO):</b></p> <p>Es un parámetro químico de polución que mide el material orgánico contenido en una muestra líquida mediante oxidación química.</p> <p>Se determina como la cantidad de oxígeno consumido por la porción de materia orgánica existente en la muestra y oxidable por un agente químico oxidante fuerte.</p> <p>Representa el contenido orgánico total de la muestra oxidable por dicromato en solución ácida. Esta oxidación se efectúa mediante la ebullición de la muestra con una mezcla de ácido sulfúrico y un exceso de dicromato de potasio. Durante el período de ebullición el material orgánico oxidable reduce una cantidad equivalente de dicromato. El dicromato restante se determina mediante titulación con sulfato ferroso amoniacal. La cantidad de dicromato reducida es una medida de la materia orgánica oxidada.</p>	
	<p><b>*Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO):</b></p> <p>Es la medida de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos en la oxidación bioquímica de las sustancias orgánicas biodegradables en un tiempo y temperatura específicos, generalmente en 5 días, a 20°C y en condiciones anaerobias.</p> <p>Depende de la disponibilidad de materia utilizada como alimento biológico y de la cantidad de oxígeno utilizado por los microorganismos durante la oxidación, las condiciones ambientales y los microorganismos.</p> <p>Se debe proporcionar los nutrientes necesarios para el desarrollo bacteriano como el nitrógeno y el fósforo, y eliminar cualquier tipo de sustancia tóxica en la muestra.</p> <p>En las aguas residuales domésticas el valor de la DBO<sub>5</sub> representa en promedio un 65 a 70% del total de la materia orgánica oxidable.</p>	

\*FUENTE: Jairo Romero Rojas – Tratamiento de Aguas Residuales; Acuaquímica.

## ANEXO N°4 SISTEMAS ACUÁTICOS

MÉTODO	FUNDAMENTO	CLASIFICACIÓN
<b>Lagunajes</b>	Consiste en el almacenamiento del agua residual a tratar durante períodos de tiempo suficientemente largos y variables, de tal forma en que se produzca la oxidación de la materia orgánica del agua residual mediante la actividad microbiana presente en el medio acuático. Se aplican para poblaciones superiores a los 200 habitantes.	-Lagunas anaerobias -Lagunas facultativas -Lagunas aerobias o de maduración
<b>Humedales</b>	Son terrenos inundados de profundidad menor a 0,6m que constan de pantas emergentes las mismas que desarrollan superficies adecuadas para la formación de películas bacterianas. En este sistema el agua residual fluye constantemente manteniendo un estado de saturación en el suelo a lo largo de todo el año.	-Humedales naturales -Humedales artificiales
<b>Cultivos Acuáticos</b>	Conocidos también como sistemas de plantas acuáticas flotantes, son una variante de los humedales artificiales en donde se introduce varios cultivos de plantas flotantes con la finalidad de eliminar determinados componentes del agua residual a través de sus raíces. Su profundidad varía entre 0,5 a 1,8 m y suelen utilizarse generalmente como un sistema de tratamiento terciario.	Ninguna

\*FUENTE: Métodos Naturales de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.

## ANEXO N°5 TRATAMIENTOS MEDIANTE APLICACIÓN DIRECTA EN EL TERRENO

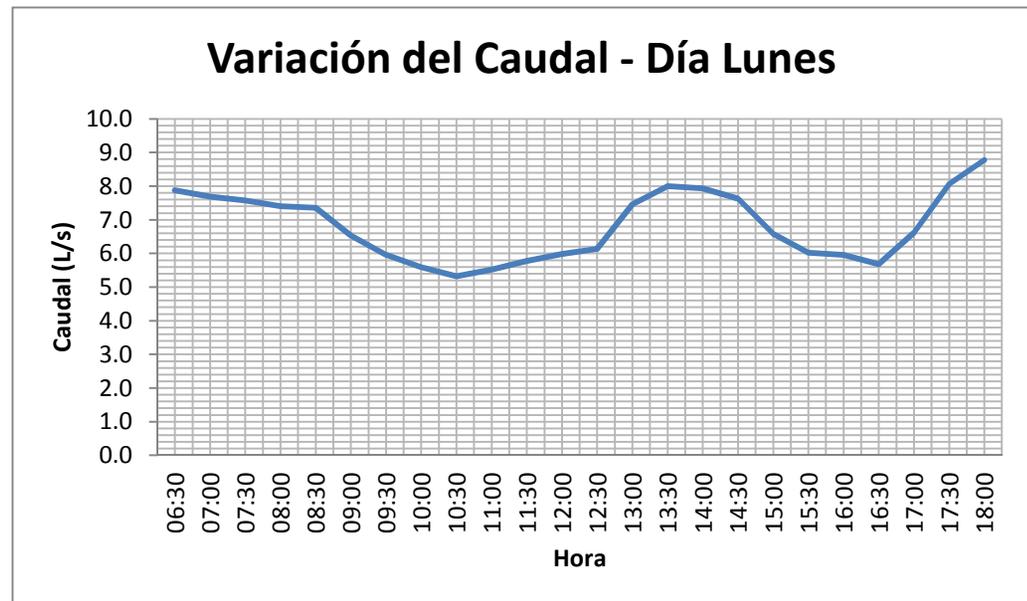
MÉTODO	FUNDAMENTO
<b>Filtro Verde</b>	Consiste en la aplicación del agua residual a tratar en una superficie de terreno en donde ha sido instalada previamente un cultivo extenso. Requiere de gran espacio disponible y generalmente se aplica para poblaciones inferiores a 25000 habitantes.
<b>Infiltración rápida</b>	Se la define como la aplicación controlada del agua residual sobre balsas superficiales que han sido construidas en suelos que poseen una permeabilidad media – alta, con capacidad de infiltración que oscila entre 10 a 60 cm/día. El agua residual se aplica al terreno en tasas elevadas, con periodos de alternación de inundación – secado y de forma cíclica para permitir la regeneración aerobia de la zona de infiltración y mantener la capacidad máxima de tratamiento. Se aplica para poblaciones menores a 5000 habitantes.
<b>Escorrentía superficial</b>	Consiste en forzar la escorrentía del agua residual mediante riego por circulación superficial en láminas, sobre un suelo previamente acondicionado, alternado períodos de riego – secado. La distribución del agua residual se puede llevar a cabo por medio de aspersores de baja carga, rociadores de baja presión, o tuberías provistas de orificios. Este método se aplica para poblaciones pequeñas menores a 500 habitantes.
<b>Lechos de Turba</b>	Consiste en un sistema formado por lechos de turba a través de los cuales circula el agua residual. La depuración se realiza por medio de los procesos de absorción y adsorción de la turba, y de la actividad microbiana que se desarrolla en su superficie. Este método requiere de superficies que van desde los 0.6 y 1 m <sup>2</sup> / hab., no debiendo superar la superficie total de 200 m <sup>2</sup> de cada lecho. Aplica para poblaciones menores a 2000 habitantes.
<b>Lechos de arena</b>	También conocidos como filtros de arena, son lechos de material granular uniforme, adecuadamente drenados en el fondo y que se aplican generalmente como un sistema de afino de aguas que han sido tratadas previamente con otros sistemas de tratamiento, como por ejemplo una fosa séptica. Aplica para poblaciones menores a 10000 habitantes.

\*FUENTE: Métodos Naturales de Depuración de Aguas Residuales Urbanas.

HORA	LUNES	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.085	7.9
07:00	0.083	7.7
07:30	0.082	7.6
08:00	0.080	7.4
08:30	0.079	7.4
09:00	0.070	6.5
09:30	0.064	6.0
10:00	0.060	5.6
10:30	0.057	5.3
11:00	0.060	5.5
11:30	0.062	5.8
12:00	0.065	6.0
12:30	0.066	6.1
13:00	0.080	7.5
13:30	0.086	8.0
14:00	0.086	7.9
14:30	0.082	7.6
15:00	0.071	6.6
15:30	0.065	6.0
16:00	0.064	6.0
16:30	0.061	5.7
17:00	0.071	6.6
17:30	0.087	8.1
18:00	0.095	8.8
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>6.8</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.3</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.8</b>

**ANEXO N°6  
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN DEL CAUDAL PARA CADA DÍA**

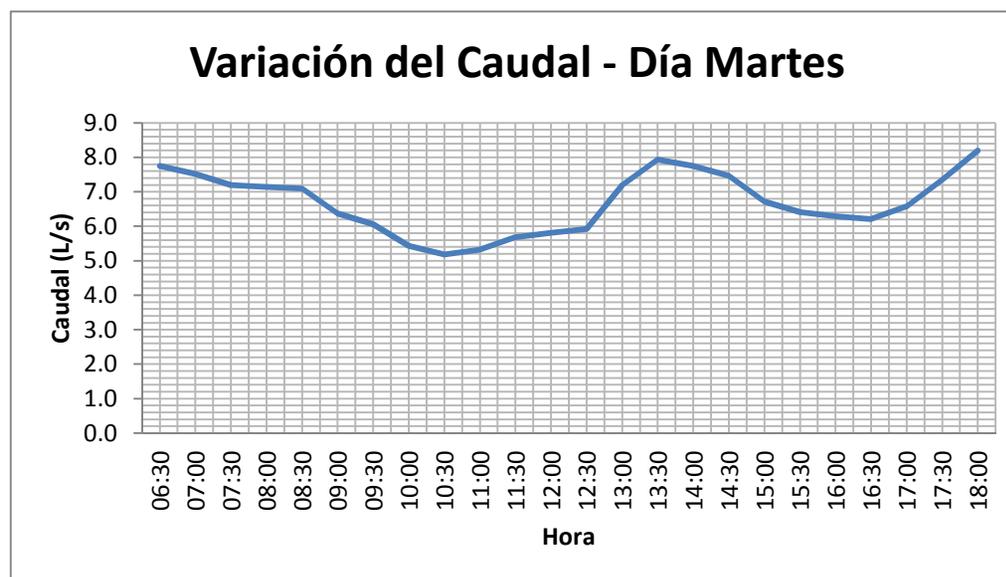
**Gráfico N° 2: Variación del Caudal del día lunes.**



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

HORA	MARTES	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.084	7.8
07:00	0.081	7.5
07:30	0.078	7.2
08:00	0.077	7.1
08:30	0.076	7.1
09:00	0.069	6.4
09:30	0.065	6.1
10:00	0.059	5.4
10:30	0.056	5.2
11:00	0.057	5.3
11:30	0.061	5.7
12:00	0.063	5.8
12:30	0.064	5.9
13:00	0.078	7.2
13:30	0.086	7.9
14:00	0.084	7.8
14:30	0.080	7.5
15:00	0.072	6.7
15:30	0.069	6.4
16:00	0.068	6.3
16:30	0.067	6.2
17:00	0.071	6.6
17:30	0.079	7.4
18:00	0.088	8.2
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>6.7</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.2</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.2</b>

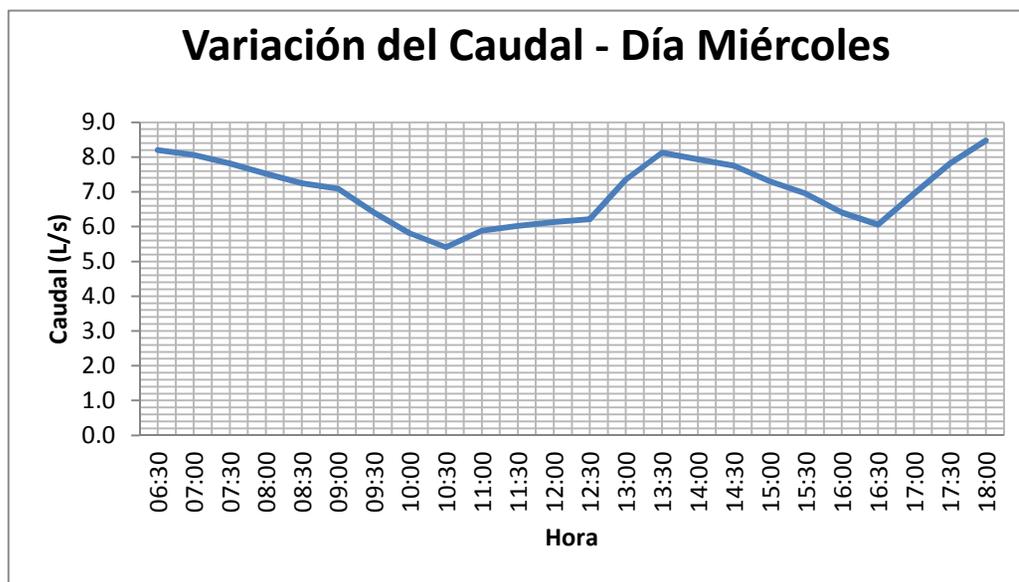
Gráfico N° 3: Variación del Caudal del día martes.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

HORA	MIÉRCOLES	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.088	8.2
07:00	0.087	8.1
07:30	0.084	7.8
08:00	0.081	7.5
08:30	0.078	7.2
09:00	0.076	7.1
09:30	0.069	6.4
10:00	0.063	5.8
10:30	0.058	5.4
11:00	0.063	5.9
11:30	0.065	6.0
12:00	0.066	6.1
12:30	0.067	6.2
13:00	0.079	7.4
13:30	0.088	8.1
14:00	0.086	7.9
14:30	0.084	7.8
15:00	0.079	7.3
15:30	0.075	6.9
16:00	0.069	6.4
16:30	0.065	6.1
17:00	0.075	6.9
17:30	0.084	7.8
18:00	0.091	8.5
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>7.0</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.4</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.5</b>

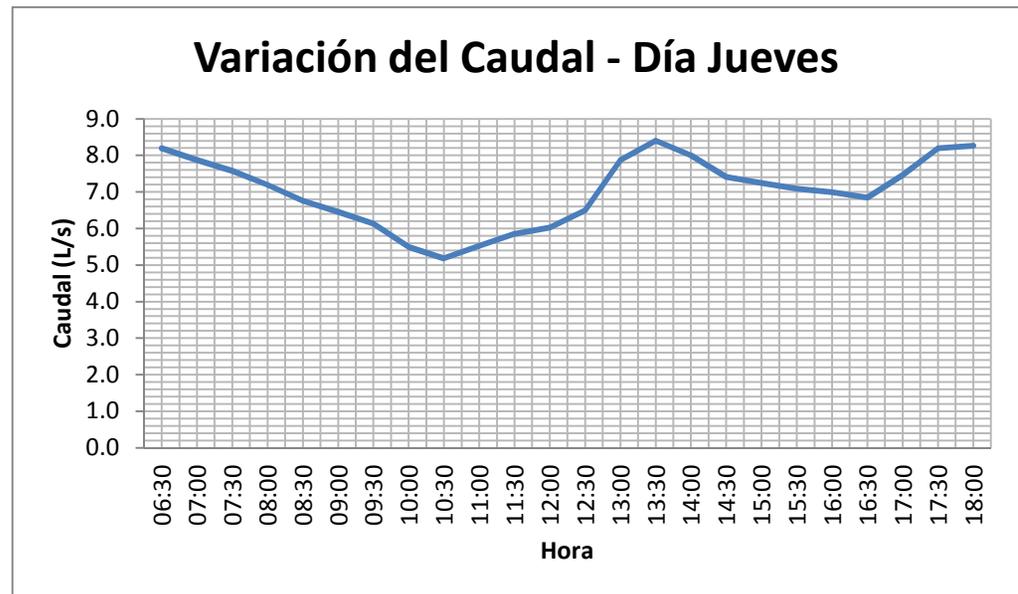
Gráfico N° 4: Variación del Caudal del día miércoles.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

HORA	JUEVES	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.088	8.2
07:00	0.085	7.9
07:30	0.082	7.6
08:00	0.078	7.2
08:30	0.073	6.8
09:00	0.070	6.5
09:30	0.066	6.1
10:00	0.059	5.5
10:30	0.056	5.2
11:00	0.060	5.5
11:30	0.063	5.8
12:00	0.065	6.0
12:30	0.070	6.5
13:00	0.085	7.9
13:30	0.091	8.4
14:00	0.086	8.0
14:30	0.080	7.4
15:00	0.078	7.2
15:30	0.076	7.1
16:00	0.075	7.0
16:30	0.074	6.8
17:00	0.080	7.5
17:30	0.088	8.2
18:00	0.089	8.3
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>7.0</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.2</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.4</b>

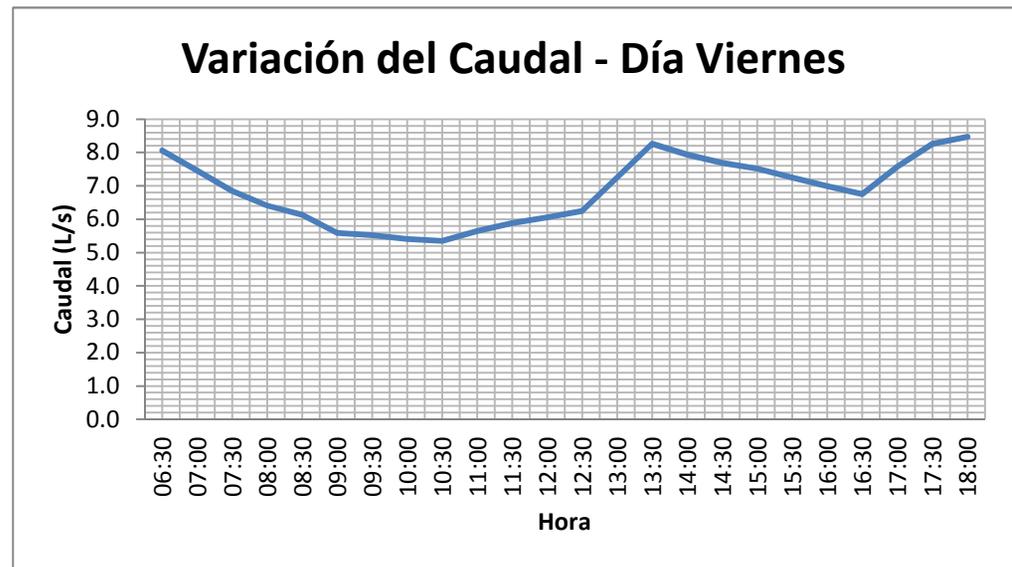
Gráfico N° 5: Variación del Caudal del día jueves.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

HORA	VIERNES	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.087	8.1
07:00	0.080	7.5
07:30	0.074	6.8
08:00	0.069	6.4
08:30	0.066	6.1
09:00	0.060	5.6
09:30	0.060	5.5
10:00	0.058	5.4
10:30	0.058	5.3
11:00	0.061	5.6
11:30	0.063	5.9
12:00	0.065	6.1
12:30	0.067	6.3
13:00	0.078	7.2
13:30	0.089	8.3
14:00	0.086	7.9
14:30	0.083	7.7
15:00	0.081	7.5
15:30	0.078	7.2
16:00	0.075	7.0
16:30	0.073	6.8
17:00	0.082	7.6
17:30	0.089	8.3
18:00	0.091	8.5
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>6.9</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.3</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.5</b>

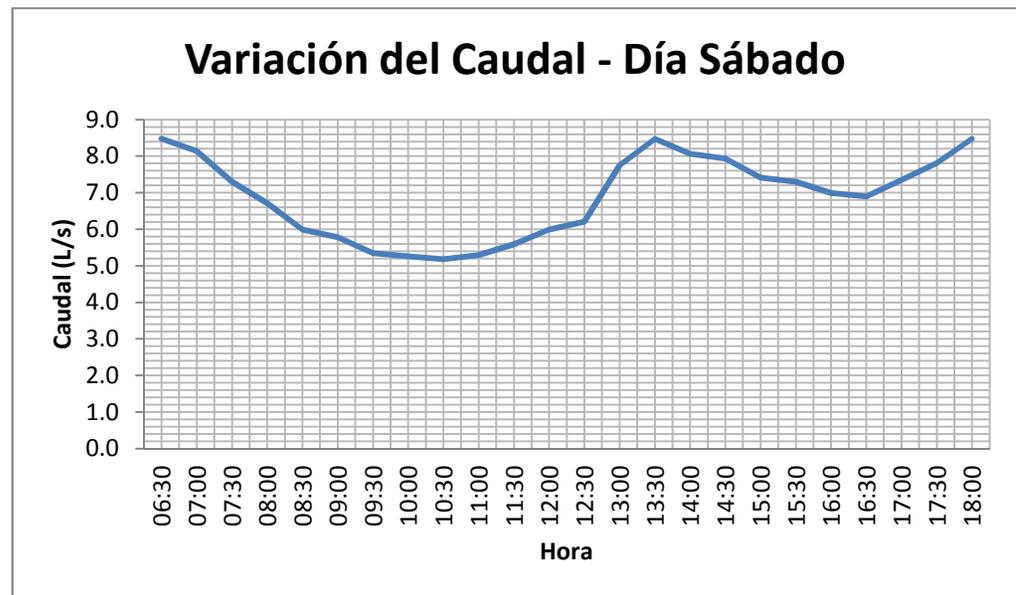
Gráfico N° 6: Variación del Caudal del día viernes.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

HORA	SABADO	
	TIRANTE (m)	CAUDAL (L/s)
06:30	0.091	8.5
07:00	0.088	8.1
07:30	0.079	7.3
08:00	0.072	6.7
08:30	0.065	6.0
09:00	0.062	5.8
09:30	0.058	5.3
10:00	0.057	5.3
10:30	0.056	5.2
11:00	0.057	5.3
11:30	0.060	5.6
12:00	0.065	6.0
12:30	0.067	6.2
13:00	0.084	7.8
13:30	0.091	8.5
14:00	0.087	8.1
14:30	0.086	7.9
15:00	0.080	7.4
15:30	0.079	7.3
16:00	0.075	7.0
16:30	0.074	6.9
17:00	0.079	7.4
17:30	0.084	7.8
18:00	0.091	8.5
<b>CAUDAL PROMEDIO</b>		<b>6.9</b>
<b>CAUDAL MÍNIMO</b>		<b>5.2</b>
<b>CAUDAL MÁXIMO</b>		<b>8.5</b>

Gráfico N° 7: Variación del Caudal del día sábado.



\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

**ANEXO N°7  
FOTOS**

***\*Evidencias del colapso de la actual red de alcantarillado.***



*Fotografía del Alcantarillado actual de la zona.*



*Fotografía de un sumidero de la zona.*



*Fotografía de la zona en un día de lluvia.*



*Fotografía de la zona al otro día de la lluvia.*

***\*Descarga de Aguas Residuales.***



*Fotografía de la Descarga N°1.*



*Fotografía del Río Chibunga.*

**\*Metodología.**



*Medición de Longitudes.*



*Medición del tirante.*



*Medición de caudales.*



*Toma de muestras puntuales.*



*Etiquetado de las muestras puntuales.*



*Toma de muestra para análisis microbiológico.*

**ANEXO N°8**  
**TABLA DE CÁLCULO DEL SISTEMA DE ALCANTARILLADO COMBINADO**

TRAMO		LONGITUDES (m)			ÁREA (ha)			Población		Coeficiente Punta	Ci	Coeficiente Escurrimiento
Sup.	Inf.	Propio	Tributario	Acum.	Propia	Tributario	Acum.	Propia	Acum.			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
46	45	44.8881	2302.7947	2347.6828	0.1978	6.5184	6.7162	29	975	3.807	0.500	0.17949
45	44	36.3275	2347.6828	2384.0103	0.1649	6.7162	6.8812	24	999	3.800	0.500	0.18390
44	27	68.6221	0.0000	68.6221	0.2347	0.0000	0.2347	34	34	4.346	0.500	0.00627
44	43	32.8244	2384.0103	2416.8347	0.1344	6.8812	7.0156	20	1018	3.795	0.500	0.18749
43	42	28.6265	2416.8347	2445.4612	0.1663	7.0156	7.1819	24	1043	3.788	0.500	0.19193

Tiempo de Concentración inicial	Tiempo de Recorrido	Duración (h)	Intensidad de Precipitación (m/h)	CAUDALES (L/s)								
				Pluvial	Medio	Máximo	Inf	Industrial		M. Emp.	Acum.	Mín. Diseño
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
16	0.33250	0.28	1.97	1.8329	1.878	7.149	0.822	2.222	2.603	1.430	13.84	13.84
17	0.26909	0.29	1.97	1.9287	1.924	7.311	0.834	0.000	2.603	1.462	14.14	14.14
15	0.50831	0.26	1.96	0.0022	0.066	0.285	0.024	0.000	2.603	0.057	2.97	2.96
9	0.24314	0.15	1.92	1.9510	1.961	7.443	0.846	0.000	2.603	1.489	14.33	14.33
9	0.21205	0.16	1.93	2.0504	2.008	7.606	0.856	0.000	2.603	1.521	14.64	14.64

PEND.	DIÁMETRO (mm)	RÉGIMEN HIDRÁULICO									
		Rh (m)	Q (L/s)	V (m/s)	q/Q	v/V	d/D	rh/RH	v(m/s)	d(mm)	rh(m)
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
0.314	450.00	0.113	159.762	1.005	0.09	0.62	0.20	0.49	0.6228	91	0.055
0.314	450.00	0.113	159.762	1.005	0.09	0.62	0.20	0.49	0.6228	91	0.055
1.457	450.00	0.113	344.172	2.164	0.01	0.33	0.07	0.19	0.7055	32	0.021
0.315	450.00	0.113	160.016	1.006	0.09	0.62	0.20	0.49	0.6238	91	0.055
0.315	450.00	0.113	160.016	1.006	0.09	0.62	0.20	0.49	0.6238	91	0.055

V crítica. (m/s)	F tract. (kg/m^2)	F tract. (Pa)	Cota terreno (m)		Profundidad de excav. (m)			Cota Solera	
			Superior	Inferior	Superior	Inferior	Medio	Superior	Inferior
39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
4.401	0.17	1.69	2656	2655	1.90	1.90	1.90	2653.65	2652.65
4.401	0.17	1.69	2655	2657	1.90	1.90	1.90	2652.65	2654.65
2.717	0.30	2.99	2657	2656	1.90	1.90	1.90	2654.65	2653.65
4.401	0.17	1.70	2657	2655	1.90	1.90	1.90	2654.65	2652.65
4.401	0.17	1.70	2655	2654	1.90	1.90	1.90	2652.65	2651.65

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

**ANEXO N°9**  
**RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS DE**  
**LAS MUESTRAS DE AGUA RESIDUAL**

**ANEXO N°10**  
**MAPA TOPOGRÁFICO DE LA RED DE ALCANTARILLADO DE LA CABECERA**  
**PARROQUIAL DE SAN LUIS**

**ANEXO N°11**  
**PLANOS DE LAS UNIDADES DE TRATAMIENTO DE LA PTAR**

**ANEXO N°12  
ESTUDIO AMBIENTAL**

# **ESTUDIO AMBIENTAL**

## **1. CONCEPTO**

Los Estudios Ambientales permiten garantizar una adecuada predicción, identificación e interpretación de los impactos ambientales de un proyecto o una actividad propuesta, con el fin de lograr la optimización en el uso de recursos para conseguir beneficios en lo máximo posible y procurar que los daños al medio ambiente sean mínimos.

La implementación de las redes de alcantarillado combinado y la construcción de la planta de tratamiento para aguas residuales generan una serie de cambios en el entorno conocidos como impactos ambientales que pueden llegar a afectar los ciclos de vida normal de la flora y fauna del cuerpo receptor.

## **2. VALORACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES -MATRIZ DE LEOPOLD**

El Estudio Ambiental propuesto se basa en el modelo de Leopold, el cual consiste en una matriz interactiva causa – efecto que permite la identificación y valoración del impacto ambiental a través de resultados cuali - cuantitativos. Esta matriz está conformada por columnas que indican las acciones humanas que pueden llegar a alterar el sistema a realizarse, y por filas en donde se mencionan los parámetros ambientales que pueden ser afectados debido a la ejecución del proyecto. La matriz presenta una lista de 100 acciones y 88 parámetros ambientales, siendo posible su modificación o simplificación de acuerdo al proyecto que se desea realizar.

Para la utilización de la matriz interactiva causa – efecto primero se deben identificar las acciones más significativas. Las acciones del hombre se ubican en columnas y las características del medio a ser alteradas se ubican en filas. Dentro de cada celda se indican dos valores separados por una diagonal: uno indica la magnitud de alteración del factor ambiental correspondiente a cada acción y el grado de impacto, y el otro indica la importancia que se le da al mismo. Los valores de magnitud e importancia se encuentran en una escala del 1 al 10, siendo el 1 de menor y el 10 de mayor magnitud e importancia. A este valor asignado se le añade un signo positivo o negativo que indica si el impacto provocado es benéfico o adverso.

La magnitud e importancia que se asigne a los impactos identificados son valores establecidos por Leopold mencionados a continuación:

**TABLA #2.1**  
**Valoración de la Magnitud para la Matriz Causa – Efecto de Leopold.**

MAGNITUD		
Calificación	Intensidad	Afectación
1	Baja	Baja
2	Baja	Media
3	Baja	Alta
4	Media	Baja
5	Media	Media
6	Media	Alta
7	Alta	Baja
8	Alta	Media
9	Alta	Alta
10	Muy Alta	Alta

\*FUENTE: MAITA J., Tesis: Dimensionamiento de una PTAR para la Cabecera Parroquial de Licán.

**TABLA #2.2**  
**Valoración de la Importancia para la Matriz Causa – Efecto de Leopold.**

IMPORTANCIA		
Calificación	Duración	Influencia
1	Temporal	Puntual
2	Media	Puntual
3	Permanente	Puntual
4	Temporal	Local
5	Media	Local
6	Permanente	Local
7	Temporal	Regional
8	Media	Regional
9	Permanente	Regional
10	Permanente	Nacional

\*FUENTE: MAITA J., Tesis: Dimensionamiento de una PTAR para la Cabecera Parroquial de Licán.

Los resultados obtenidos serán evaluados de acuerdo a rangos establecidos por Leopold, mencionados a continuación:

**TABLA #2.3**  
**Evaluación de Impactos según la Metodología de Leopold.**

RANGO	IMPACTO	
-70,1 a -100	Negativo	Muy alto
-50,1 a -70	Negativo	Alto
-25,1 a -50	Negativo	Medio
-1 a -25	Negativo	Bajo
1 a 25	Positivo	Bajo
25,1 a 50	Positivo	Medio
50,1 a 80	Positivo	Alto
80,1 a 100	Positivo	Muy Alto

\*FUENTE: TENESACA M., Tesis: Dimensionamiento de una PTAR para la ciudad de Cañar.

El nivel de significancia de los valores obtenidos en la evaluación de impactos del proyecto se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$Ca = \sqrt{\frac{\text{Agregación de impactos}}{\text{Número de interacciones}}}$$

Donde:

Ca = Calificación Ambiental: se determina de acuerdo a la siguiente tabla de valores mencionada a continuación:

**TABLA #2.4**  
**Rangos para la Calificación Ambiental.**

RANGO	SIGNIFICADO
0 a 2,5	Bajo
2,6 a 5,5	Moderado
5,6 a 7,5	Severo
7,6 a 10	Crítico

\*FUENTE: TENESACA M., Tesis: Dimensionamiento de una PTAR para la ciudad de Cañar.

### **3. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO**

La Cabecera Parroquial de San Luis es una comunidad ubicada en la Provincia de Chimborazo, Cantón Riobamba, Parroquia San Luis.

Posee dos tipos de alcantarillado: un alcantarillado sanitario instalado en el año de 1978, y un alcantarillado pluvial instalado en el año de 1985. Ambos sistemas instalados por el Municipio de Riobamba de ese tiempo, no han sido renovados hasta la actualidad. Además, las aguas residuales provenientes de ambas redes de alcantarillado son descargadas directamente al Río Chibunga sin un tratamiento previo.

La población futura de esta comunidad estará conformada por una población máxima de 2716 habitantes, por tal motivo se ha visto necesaria la reconstrucción de una red de alcantarillado pluvial y sanitario, y la construcción de una planta de tratamiento para aguas residuales.

La nueva red de alcantarillado será un sistema combinado; es decir que transportará en conjunto las aguas pluviales y las aguas residuales provenientes de la comunidad. Mientras que los procesos de tratamiento de la planta de tratamiento de aguas residuales,

han sido seleccionados acorde a las características del agua residual producida por la comunidad con el fin de obtener y garantizar un grado aceptable de depuración.

El proceso de depuración de la planta de tratamiento tiene un área total de 700 m<sup>2</sup> aproximadamente, y está compuesto por: 1 canal de llegada con rejillas como pre-tratamiento; 2 sedimentadores convencionales más una unidad de reserva como tratamiento primario; 3 filtros lentos biológicos de arena más una unidad de reserva y 4 lechos de secado como tratamiento secundario.

#### **4. IDENTIFICACIÓN DE ACCIONES Y FACTORES AMBIENTALES**

##### **4.1 ACCIONES**

###### **➤ ETAPA DE CONSTRUCCIÓN DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO**

- a. Limpieza y desbroce:** Es necesario retirar cualquier obstáculo que impida la construcción de la obra. Afecta principalmente a la vegetación.
  
- b. Replanteo y nivelación:** Se colocan estacas y mojones de hormigón. Afecta al suelo en una mínima parte.
  
- c. Excavación del suelo natural:** Se elimina por completo la vegetación presente y todo tipo de material que interfiera con la adecuada construcción de la obra. Implica la utilización de maquinaria pesada por lo que también provoca daños al suelo por las modificaciones producidas en el mismo y contamina el aire con el ruido de la maquinaria.
  
- d. Relleno compactado con material de mejoramiento:** El relleno de las excavaciones se lo realiza con material de mejoramiento extraído de canteras, por lo que es necesaria la utilización de maquinaria pesada generando gran cantidad de ruido mientras se compacta el suelo hasta la altura de diseño requerida.
  
- e. Desalojo del material:** Los restos de materiales producidos en la excavación deben de ser desalojados en escombreras autorizadas por medio de volquetas y retroexcavadoras. El uso de este tipo de maquinaria compacta el suelo y genera gran cantidad de partículas de polvo y emisiones de ruido.

- f. **Transporte de materiales de construcción:** Implica el transporte de material e ingreso de volquetas hacia el lugar en donde se realiza la construcción. El movimiento de vehículos de un lugar a otro, afectan principalmente a la calidad del aire generando contaminación.
  
- g. **Ruido y vibraciones de la maquinaria pesada:** Ocasionados por la presencia y circulación de la maquinaria pesada, afecta principalmente a la fauna presente en la zona.
  
- h. **Construcción de obras de concreto:** Afecta a la flora y paisaje de la zona debido a que las estructuras de la obra permanecerán en ese lugar durante toda su vida útil.
  
- i. **Generación de Residuos:** Los residuos sólidos de la construcción suponen uno de los impactos ambientales más significativos debido a su gran volumen y heterogeneidad. Estas características incrementan la colmatación de los vertederos, eleva el número de transportes de material por carretera y dificulta las opciones de valorización de los residuos. Éstos se los puede clasificar de la siguiente forma:

**\*Residuos Sólidos Comunes:** entre ellos están los residuos inertes y los no peligrosos.

- ✓ Los residuos sólidos inertes son aquellos que no presentan riesgo de polución en agua y suelo, por ejemplo los materiales pétreos.
  
- ✓ Los residuos sólidos no peligrosos pueden ser tratados o almacenados en las mismas condiciones que los residuos domésticos.

**\*Residuos Sólidos Peligrosos:** son formados por materiales con características que pueden llegar a ser perjudiciales para la salud o el ambiente.

(VER ANEXO I)

## ➤ **ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO**

- a. **Cambio de Paisaje y modificación del hábitat natural:** Las estructuras de la planta de tratamiento, conjuntamente con un cerramiento para evitar el ingreso de personal no autorizado, quedan al descubierto y modifican el paisaje de la zona en gran medida.

- b. Fallas operacionales:** El inadecuado mantenimiento de la red de alcantarillado combinado puede provocar taponamiento o fugas de agua en las tuberías, haciendo que la cantidad del efluente disminuya considerablemente en el punto de descarga y por ende afectando al buen funcionamiento de la planta de tratamiento. Pueden generarse gases tóxicos, malos olores y contaminación del efluente que es descargado al cuerpo receptor ya que el agua no puede cumplir con las características ambientales de depuración.
- c. Comprensión e importancia del mantenimiento del sistema:** Los usuarios de la zona deben comprender que el adecuado mantenimiento de todo el sistema es necesario para garantizar el buen funcionamiento del mismo, además con esto se evita posibles problemas de salud para la población y se asegura que la calidad del efluente cumpla con los límites establecidos por la normativa ambiental.
- d. Limpieza de canales y rejillas:** Estas dos estructuras generalmente se llenan de residuos sólidos provenientes del agua a tratar por lo que es necesario realizar una limpieza manual en los mismos, con el fin de evitar variaciones en la velocidad y caudal del agua residual que entra a la planta de tratamiento, además una adecuada limpieza evita que los canales lleguen a colapsar debido a la acumulación de basura.
- e. Mantenimiento de los sedimentadores convencionales:** Se realiza la limpieza manual de los sedimentadores siempre y cuando sea necesario, es decir, cuando la cantidad de arena presente en ellos ocupe  $\frac{2}{3}$  de la capacidad del mismo. La arena removida debe ser transportada a un lugar en donde reciba una adecuada disposición final.
- f. Mantenimiento de los filtros lentos biológicos de arena:** Se realiza la limpieza del filtro cuando el nivel de agua residual presente llega al máximo y empieza a rebosar, para ello se debe de retirar una capa superficial de 2cm de espesor. Además se debe realizar el lavado completo del filtro cada cinco años.
- g. Extracción, secado y transporte de lodos:** El contenido de materia orgánica presente en los lodos extraídos de los sedimentadores y filtros, generan gases de descomposición en una mínima cantidad provocando a su vez malos olores.

Por otro lado, los lodos secos deben ser removidos de su lugar de tratamiento hacia un depósito u otro lugar en donde se les pueda dar una adecuada disposición final.

- h. Vertido del agua tratada al cuerpo receptor:** Se reincorpora al ambiente el efluente obtenido sin alterar el medio del cuerpo receptor.
- i. Desarrollo de la zona:** La construcción y mantenimiento de la obra genera fuentes de empleo provocando un impacto positivo para la economía de la zona.

#### 4.2 FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS

Los factores ambientales podrían verse afectados durante la ejecución del proyecto debido a cada acción que se realiza, es por ello que los factores ambientales que sobresalen se establecen de acuerdo con las acciones citadas anteriormente y a las condiciones ambientales de la zona. A continuación se menciona una tabla con los factores ambientales que prevalecen:

**TABLA #4.2.1**  
**Factores Ambientales.**

<b>CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS</b>	<b>SUELO</b>	a. Calidad del Suelo	Textura
		b. Contaminación del Suelo	Uso del Suelo (Profundidad máx. 3m)
	<b>AIRE</b>	a. Calidad del Aire	Gases (Olores)
			Material Particulado (Polvo)
		b. Contaminación del Aire	Ruido
	<b>AGUA</b>	a. Calidad del Agua	Uso del Agua
b. Contaminación del Agua		Recarga Cuerpo Receptor	
<b>FACTORES BIÓTICOS</b>	<b>FLORA</b>	a. Vegetación Primaria	Árboles
		b. Vegetación Secundaria	Arbustos – Hierbas
	<b>FAUNA</b>	a. Migración de especies	Aves
			Animales Terrestres
<b>FACTORES CULTURALES</b>	<b>SOCIO - ECONÓMICOS</b>	a. Usos del Terreno	Paisaje
			Agricultura
			Ganadería
	b. Humanos		Empleo
			Servicios Básicos
			Bienestar de la Población
			Incomodidad en la Población
	Salud y Seguridad Laboral		

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

## 5. MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES

A continuación se presenta la matriz interactiva causa – efecto basado en el modelo de Leopold, en donde se resume las acciones realizadas y los factores ambientales afectados en la ejecución de este proyecto.

En la matriz realizada se puede determinar que existen 52 afectaciones positivas y 120 afectaciones negativas siendo las últimas de mayor peso entre los impactos ambientales generados en la ejecución del proyecto. La agregación de impactos muestra un valor igual a -67, y según la Tabla #2.3 el impacto generado se encuentra en un rango de -50,1 a -70 siendo éste un impacto negativo alto.

Por otro lado el nivel de significancia se determinó aplicando la ecuación #67 de la manera que sigue:

$$Ca = \sqrt{\frac{\textit{Agregación de impactos}}{\textit{Número de interacciones}}}$$

$$Ca = \sqrt{\frac{67}{172}}$$

$$Ca = 0,625$$

Según la Tabla #2.4 el resultado muestra que la calificación ambiental de la matriz interactiva causa – efecto está en un rango de 0 a 2,5 con un nivel de significancia bajo, lo que significa que no se requiere de medidas correctoras al momento de realizar el proyecto ya que con el paso del tiempo se corregirá solo el impacto generado por el mismo.

MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN Y VALORACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES (LEOPOLD) - CABECERA PARROQUIAL DE SAN LUIS																											
FACTORES AMBIENTALES		ACTIVIDADES												RESULTADOS													
		ETAPA DE CONSTRUCCIÓN												ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO													
		Limpeza y desbroce	Replanteo y nivelación	Excavación del suelo natural	Relleno compactado con material de mejoramiento	Desalido del material	Transporte de materiales de construcción	Ruido y vibraciones de la maquinaria pesada	Construcción de obras de concreto	Generación de Residuos Sólidos Comunes	Generación de Residuos Sólidos Peligrosos	Cambio de Paisaje y modificación del hábitat natural	Fallas operacionales	Comprensión e importancia del mantenimiento del sistema	Limpeza de canales y rejillas	Mantenimiento de los sedimentadores convencionales	Mantenimiento de los filtros lentos biológicos de arena	Extracción, secado y transporte de lodos	Vertido del agua tratada al cuerpo receptor	Desarrollo de la zona	AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	NÚMERO DE INTERACCIONES			
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	SUELO	a. Calidad del Suelo	Textura	-3	-2	-2	-4	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	9	-57	9		
		b. Contaminación del Suelo	Uso del Suelo (Profundidad máx. 3m)	-2	-3	-5	-5	-4	-4	-4	-5	-3	-3	-4	-4	-7	-1	-1	-1	-1	-1	-1	2	10	-55	12	
	AIRE	a. Calidad del Aire	Gases (Olores)	-3	-4	-3	-3	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-5	-2	-1	-1	-1	-1	-1	0	12	-115	12	
		Material Particulado (Polvo)	-6	-5	-7	-2	-5	-4	-4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	8	-120	8	
	b. Contaminación del Aire	Ruido	-3	-3	-7	-5	-4	-4	-4	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	9	-142	9		
		Proliferación de Vectores	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	0	7	-27	7	
	AGUA	a. Calidad del Agua	Uso del Agua	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	2	1	76	3	
		b. Contaminación del Agua	Recarga Cuerpo Receptor	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	2	1	49	3	
	FACTORES BIÓTICOS	FLORA	a. Vegetación Primaria	Árboles	-6	-3	-3	-6	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	2	3	-21	5	
			b. Vegetación Secundaria	Arbustos - Hierbas	-2	-1	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	3	-26	4
		FAUNA	a. Migración de especies	Aves	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	-6	1	4	-69	5	
	Animales Terrestres	-5	-5	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	0	8	-113	8		
Animales Acuáticos	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	-3	3	3	51	6			
FACTORES CULTURALES SOCIO-ECONÓMICOS	a. Usos del Terreno	Paisaje	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	2	10	-72	12		
		Agricultura	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	7	4	2	1	16	3
		Ganadería	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	-4	7	4	2	1	16	3
	b. Humanos	Empleo	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	15	0	392	15		
		Servicios Básicos	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	6	0	135	6		
		Bienestar de la Población	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	11	0	200	11		
		Incomodidad en la Población	-5	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	0	17	-124	17	
Salud y Seguridad Laboral	-2	-2	-3	-3	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	1	13	-61	14			
<b>COMPROBACION</b>																											
AFECTACIONES POSITIVAS																					52						
AFECTACIONES NEGATIVAS																						120					
AGREGACIÓN DE IMPACTOS																							-67				
NÚMERO DE INTERACCIONES																								172			

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

En la siguiente tabla de valores se resume la incidencia del proyecto sobre cada factor ambiental:

Los resultados resumidos en la tabla de valores muestran que el factor ambiental que más se ve afectado negativamente es el aire con un valor de agregación de impactos igual a -142 en ruido, -120 en material particulado (polvo) y -115 en gases (olores).

El aire se ve alterado en su calidad por la generación de gases, material particulado y la contaminación por ruido producido por la maquinaria pesada utilizada en la etapa de construcción de la obra.

Por otro lado, el factor ambiental que más afectaciones positivas tiene es el socio – económico con un valor de agregación de impactos igual a 392 en empleo, 200 en bienestar de la población y 135 en servicios básicos.

La generación de empleo y el mejoramiento de los servicios básicos ayudan en gran medida al bienestar de la población de la Cabecera Parroquial de San Luis.

Los demás factores son afectados positiva y negativamente en menor grado.

**TABLA #5.1**  
**Valores de afectaciones y agregación de impactos por cada factor ambiental.**

FACTOR AMBIENTAL			AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	SUELO	a. Calidad del Suelo	Textura	0	9	-57
		b. Contaminación del Suelo	Uso del Suelo (Profundidad máx. 3m)	2	10	-55
	AIRE	a. Calidad del Aire	Gases (Olores)	0	12	-115
			Material Particulado (Polvo)	0	8	-120
		b. Contaminación del Aire	Ruido	0	9	-142
	AGUA	a. Calidad del Agua	Uso del Agua	2	1	76
			b. Contaminación del Agua	Recarga Cuerpo Receptor	2	1
	FACTORES BIÓTICOS	FLORA	a. Vegetación Primaria	Árboles	2	3
b. Vegetación Secundaria			Arbustos - Hierbas	1	3	-26
FAUNA		a. Migración de especies	Aves	1	4	-69
			Animales Terrestres	0	8	-113
			Animales Acuáticos	3	3	51
FACTORES CULTURALES	SOCIO - ECONÓMICOS	a. Usos del Terreno	Paisaje	2	10	-72
			Agricultura	2	1	16
			Ganadería	2	1	16
	b. Humanos	Empleo	15	0	392	
		Servicios Básicos	6	0	135	
		Bienestar de la Población	11	0	200	
		Incomodidad en la Población	0	17	-124	
Salud y Seguridad Laboral	1	13	-61			

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

A continuación se detalla en la siguiente tabla de valores los efectos en el ambiente producidos por cada acción humana:

**TABLA #5.2**  
**Valores de afectaciones y agregación de impactos por cada acción humana.**

ACCIONES		AFECTACIONES POSITIVAS	AFECTACIONES NEGATIVAS	AGREGACIÓN DE IMPACTOS
<b>ETAPA DE CONSTRUCCIÓN</b>	Limpieza y desbroce	1	12	-170
	Replanteo y nivelación	1	6	-34
	Excavación del suelo natural	1	11	-112
	Relleno compactado con material de mejoramiento	2	11	-99
	Desalojo del material	2	8	-9
	Transporte de materiales de construcción	1	8	-56
	Ruido y vibraciones de la maquinaria pesada	0	5	-74
	Construcción de obras de concreto	3	11	-54
	Generación de Residuos Sólidos Comunes	1	7	-28
	Generación de Residuos Sólidos Peligrosos	1	12	-92
<b>ETAPA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO</b>	Cambio de Paisaje y modificación del hábitat natural	9	2	29
	Fallas operacionales	1	6	-101
	Comprensión e importancia del mantenimiento del sistema	1	0	9
	Limpieza de canales y rejillas	3	6	38
	Mantenimiento de los sedimentadores convencionales	3	5	46
	Mantenimiento de los filtros lentos biológicos de arena	3	5	46
	Extracción, secado y transporte de lodos	3	3	48
	Vertido del agua tratada al cuerpo receptor	4	2	154
	Desarrollo de la zona	12	0	392

\*FUENTE: VALENCIA A., 2013.

Los resultados resumidos en la tabla de valores muestran que las acciones humanas que mayor efecto negativo producen en el ambiente son la limpieza y desbroce con un valor de agregación de impactos igual a -170, la excavación del suelo natural con un valor igual a -112, y las fallas operacionales con un valor igual a -101. Sin duda estas acciones son las más agresivas para el ambiente.

Por otro lado las acciones humanas que mayor efecto positivo producen son el desarrollo de la zona con un valor de agregación de impactos igual a 392, y el vertido del agua al cuerpo receptor con un valor igual a 154.

La realización del este proyecto permite en gran medida al desarrollo de la Cabecera Parroquial de San Luis, ya que las descargas de agua que se dan en el Río Chibunga son más limpias, permitiendo así reducir una parte de la carga contaminante presente en el río.

Los demás factores son afectados positiva y negativamente en menor grado.

**ANEXO I**  
**RESIDUOS SÓLIDOS GENERADOS EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN**

Residuos Inertes - Pétreos	Residuos No Peligrosos	Residuos Peligrosos
		
<p><b>*Escombro Limpio:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-ladrillos</li> <li>-tejas</li> <li>-azulejos</li> <li>-hormigón endurecido</li> <li>-mortero endurecido</li> </ul>	<p><b>*Metal:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-armaduras de acero y restos de estructuras metálicas</li> <li>-perfiles para montar el cartón – yeso</li> <li>-paneles de encofrado en mal estado</li> </ul> <p><b>*Madera:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-restos de corte</li> <li>-restos de encofrado</li> <li>-palets</li> </ul> <p><b>*Papel y cartón:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-sacos de cemento, yeso, arena y cal</li> <li>-cajas de cartón</li> </ul> <p><b>*Plástico:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-lonas y cintas de protección no reutilizables</li> <li>-conductos y canalizaciones</li> <li>-marcos de ventanas</li> <li>-desmantelamiento de persianas</li> </ul> <p><b>*Otros:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-cartón – yeso</li> <li>-vidrio</li> </ul>	<p><b>*Envases y restos de:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-aceites, lubricantes, líquidos de freno, combustibles</li> <li>-desencofrantes</li> <li>-anticongelantes y líquidos para el curado de hormigón</li> <li>-adhesivos</li> <li>-aerosoles y agentes espumantes</li> <li>-betunes con alquitrán de hulla</li> <li>-decapantes, imprimaciones, disolventes y detergentes</li> <li>-madera tratada con productos tóxicos</li> <li>-pinturas y barnices</li> <li>-silicona y otros productos de sellado</li> <li>-tubos fluorescentes</li> <li>-pilas y baterías que contienen plomo, níquel, cadmio o mercurio</li> <li>-productos que contienen PCB materiales de aislamiento que pueden contener sustancias peligrosas</li> <li>-trapos, brochas y otros útiles de obra contaminados con productos peligrosos</li> <li>-restos del desmantelamiento de bajantes, cubiertas y tabiques pluviales que contienen fibras de amianto</li> <li>-restos de desmantelamiento de materiales de aislamiento, pavimentos, falsos techos, etc., que contienen fibras de amianto</li> </ul>

\*FUENTE: Generación de Residuos Sólidos - <http://www.construmatica.com>