



**Dimensionamiento de una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo en  
Salache – Latacunga**

Vásconez Basantes, Franklin Patricio

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

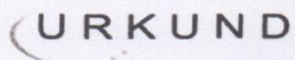
Centro de Posgrados

Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Sistemas de Gestión  
Ambiental

Msc. Pino Vallejo, Marco Vinicio

13 de octubre del 2020



## Urkund Analysis Result

Analysed Document: TESIS FRANKLIN VASCONEZ V1.pdf (D58366018)  
Submitted: 06/11/2019 13:42:00  
Submitted By: mpharo@espe.edu.ec  
Significance: 4 %

### Sources included in the report:

TESIS PAMELA LOGROÑO.docx (D14715280)  
Tesis Santiago Sanchez.pdf (D14924115)  
Diseño de una Planta de Potabilización para la comunidad de Tuntatacto.pdf (D14874820)  
tesis Agosto.docx (D15042394)  
Tesis Jacqueline Tenesaca Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable ...docx (D12987684)  
96T00243.pdf (D11506312)  
TESIS PARA DEFENSA.docx (D13991538)  
tesis Dennys Vallejo.pdf (D14989151)  
Tesis corregida William.docx (D14773292)  
<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>

### Instances where selected sources appear:

24

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "Pino Vallejo".

Pino Vallejo, Marco Vinicio

**DIRECTOR**



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA  
CENTRO DE POSGRADOS**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que el trabajo de titulación, **“Dimensionamiento de una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo en Salache – Latacunga”** fue realizado por el señor **Vásconez Basantes, Franklin Patricio** el mismo que ha sido revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 13 de octubre del 2020

Firma:

Pino Vallejo, Marco Vinicio

Director

C.C.: 0603151754





**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

**CENTRO DE POSGRADOS**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Yo **Vásconez Basantes, Franklin Patricio**, con cédula de ciudadanía n° 0603570151, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Dimensionamiento de una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo en Salache – Latacunga** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Sangolquí, 13 de octubre del 2020**

Firma

Vásconez Basantes, Franklin Patricio

C.C.: 0603570151



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y  
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA  
CENTRO DE POSGRADOS**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Yo **Vásconez Basantes, Franklin Patricio** autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Dimensionamiento de una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo en Salache – Latacunga** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

**Sangolquí, 13 de octubre del 2020**

Firma

Vásconez Basantes, Franklin Patricio

C.C.: 0603570151

### **Dedicatoria**

Dedico el presente trabajo de Titulación a Dios y a mi familia que son mi pilar fundamental para llevar a cabo mis metas personales. A mi madre Pastorita y mi abuelita Rosita por su apoyo incondicional. A mis tíos y primos por sus consejos y ayuda. Y amigos personales que me han permitido crecer profesionalmente y moralmente.

¡PARA TU GLORIA PADRE DEL CIELO!

## **Agradecimiento**

Agradezco a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE por darme la oportunidad de crecer profesionalmente. A cada uno de los docentes que compartieron sus experiencias y conocimientos durante el proceso de desarrollo de la maestría. Al Ing. Marco Pino Vallejo, destacado docente de la Universidad Nacional de Chimborazo, por dirigir el presente trabajo de titulación. Al Ing. Víctor Toscano e Ing. Karina Guanoluisa por compartir sus conocimientos y permitir el desarrollo del presente trabajo. Y al Ing. Byron Monge, al Ing. Miguel Villacis y a la Ing. Evelyn Ramos por su valiosa ayuda y colaboración.

**Índice de contenido**

Hoja de resultados de la herramienta Urkund.....	2
Certificado del director .....	3
Responsabilidad de autoría .....	4
Autorización de publicación.....	5
Dedicatoria .....	6
Agradecimiento.....	7
Índice de contenido.....	8
Índice de tablas .....	13
Índice de figuras .....	14
Resumen .....	15
Abstract .....	16
Capítulo I .....	17
Aspectos generales .....	17
Introducción .....	17
Antecedentes.....	18
Planteamiento del problema .....	19
Área de influencia .....	20
Justificación e importancia .....	21
Hipótesis .....	22
Objetivo General.....	22
Objetivos específicos .....	22
Capítulo II .....	23
Marco teórico .....	23



	9
Agua Potable .....	23
Agua Potable en Ecuador .....	24
Índices de la Calidad del Agua.....	26
Calidad del Agua para Consumo en Ecuador .....	28
Agua Subterránea para el Consumo .....	30
El Agua y la Salud.....	31
Riesgo en la Salud por presencia de Sulfatos en el Agua .....	32
Riesgo en la Salud por presencia de Dureza en el Agua.....	33
Riesgo en la Salud por presencia de Alcalinidad en el Agua .....	33
Dimensionamiento para Potabilización del Agua. ....	34
Población Futura .....	35
Consumo Diario de Agua por Persona .....	36
Caudal de Captación.....	37
Caudal de Tratamiento .....	38
Captación de Agua.....	38
Aducción de Agua .....	40
Regulación de Entrada de Agua al Tratamiento .....	42
Filtración lenta.....	43
Sistema de drenaje del filtro lento.....	47
Desinfección de agua tratada .....	50
Almacenamiento de agua potabilizada .....	52
Capítulo III .....	54
Experimentación.....	54
Diagnóstico .....	54
Determinación experimental del caudal de las vertientes.....	56

	10
Experimentación del Tratamiento por Filtración .....	58
Construcción del Filtro Experimental .....	59
Tratamiento de Agua con Arena, Zeolita y Resina Catiónica .....	60
Análisis de Laboratorio de las Muestras Tratadas con Arena, Zeolita y Resina Catiónica .....	61
Análisis de Resultados.....	63
Resultados del Tratamiento .....	65
Capítulo IV .....	67
Diseño .....	67
Cálculo de la Población Futura .....	67
Determinación del Consumo Diario de Agua por Persona .....	68
Cálculo del Consumo Diario de la Comunidad .....	68
Cálculo del Caudal de Captación .....	69
Cálculo del Caudal de Tratamiento .....	69
Dimensionamiento del Tanque de Regulación .....	70
Cálculo del Volumen del Tanque de Regulación .....	70
Cálculo de las Dimensiones del Tanque de Regulación .....	72
Dimensionamiento del Filtro Lento.....	73
Cálculo del Área Superficial de Filtración .....	73
Cálculo del Número de Módulos de Filtración.....	74
Cálculo de la Longitud de la Pared Común por Unidad .....	74
Cálculo del Ancho de la Pared de las Unidades .....	75
Cálculo del Caudal Total de Lavado .....	76
Cálculo del Diámetro de la Tubería a la Entrada del Filtro Lento .....	76
Cálculo del Diámetro de la Tubería a la Salida del Filtro Lento.....	77

	11
Cálculo de la Altura del Filtro Lento .....	78
Dimensionamiento del Sistema de Drenaje del Filtro Lento .....	78
Determinación del Número de Colectores Principales y Secundarios.....	78
Cálculo del Caudal por Colector Lateral .....	79
Cálculo del Área del Lecho Filtrante .....	79
Cálculo del Área del Orificio .....	80
Cálculo del Número de Orificios por Colector Lateral .....	80
Cálculo del diámetro del colector lateral .....	81
Cálculo del diámetro del colector principal.....	81
Dimensionamiento del Sistema de Desinfección.....	82
Cálculo del Peso del Cloro .....	82
Cálculo del Volumen del Clorador .....	82
Cálculo del Volumen del Tanque de Contacto entre el Agua y el Cloro .....	83
Cálculo de la Altura del Tanque de Contacto entre el Agua y el Cloro .....	83
Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento de Agua Potabilizada .....	84
Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento.....	84
Cálculo de la Altura del Tanque de Almacenamiento.....	85
Dimensionamiento de la Planta de Agua Potable.....	85
Dimensiones del Tanque de Regulación .....	85
Dimensiones del Filtro Lento .....	86
Dimensiones del Sistema de Desinfección .....	86
Dimensiones del Tanque de Almacenamiento Final .....	87
Capítulo V .....	88
Propuesta .....	88
Fases de la Potabilización del agua.....	88

	12
Modelo del Tanque de Regulación.....	89
Modelo del Filtro Lento de Zeolita .....	90
Modelo del Tanque de Desinfección y el Hipoclorador.....	91
Modelo del Tanque de almacenamiento .....	93
Costo de construcción de la planta potabilizadora .....	94
Costos de operación de la planta potabilizadora .....	94
Capítulo VI .....	96
Conclusiones y recomendaciones.....	96
Conclusiones. ....	96
Recomendaciones. ....	97
Bibliografía .....	98
Anexos .....	101

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Ventajas y limitaciones de los índices de calidad del agua</i> .....	27
<b>Tabla 2</b> <i>Índices de calidad del agua para consumo en Ecuador</i> .....	28
<b>Tabla 3</b> <i>Tasas de crecimiento poblacional</i> .....	35
<b>Tabla 4</b> <i>Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua</i> .....	36
<b>Tabla 5</b> <i>Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio</i> .....	37
<b>Tabla 6</b> <i>Ventajas y desventajas del PVC</i> .....	41
<b>Tabla 7</b> <i>Criterios de diseño para filtración lenta</i> .....	47
<b>Tabla 8</b> <i>Criterios de diseño para velocidades en las tuberías de filtro lento</i> .....	47
<b>Tabla 9</b> <i>Criterios de diseño para el sistema de drenaje para filtración lenta</i> .....	49
<b>Tabla 10</b> <i>Dosis de cloro para tratamiento</i> .....	51
<b>Tabla 11</b> <i>Datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín 1</i> .....	56
<b>Tabla 12</b> <i>Datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín 2</i> .....	57
<b>Tabla 13</b> <i>datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín Leandro</i> .	58
<b>Tabla 14</b> <i>Análisis de laboratorio con tratamiento de arena</i> .....	62
<b>Tabla 15</b> <i>Análisis de laboratorio con tratamiento de zeolita</i> .....	62
<b>Tabla 16</b> <i>Análisis de laboratorio con tratamiento de resina catiónica</i> .....	62
<b>Tabla 17</b> <i>Dimensiones del tanque de regulación</i> .....	86
<b>Tabla 18</b> <i>Dmensiones del filtro lento</i> .....	86
<b>Tabla 19</b> <i>Dmensiones del sistema de desinfección</i> .....	87
<b>Tabla 20</b> <i>Dmensiones del sistema de desinfección</i> .....	87
<b>Tabla 21</b> <i>Costo de la zeolita</i> .....	94
<b>Tabla 22</b> <i>Costo del hipocloruro de sodio</i> .....	94
<b>Tabla 23</b> <i>Costo del operador</i> .....	94
<b>Tabla 24</b> <i>Costo de operación de la planta potabilizadora</i> .....	95



## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Área de influencia</i> .....	20
<b>Figura 2</b> <i>Caja de manantial</i> .....	40
<b>Figura 3</b> <i>Vertientes de san agustín y san agustín leandro</i> .....	54
<b>Figura 4</b> <i>Recolección de muestras para análisis</i> .....	55
<b>Figura 5</b> <i>Estado de las cajas de manantial</i> .....	56
<b>Figura 6</b> <i>Filtro experimental</i> .....	59
<b>Figura 7</b> <i>Tratamiento in situ con arena</i> .....	60
<b>Figura 8</b> <i>Tratamiento in situ con zeolita</i> .....	61
<b>Figura 9</b> <i>Tratamiento in situ con resina catiónica</i> .....	61
<b>Figura 10</b> <i>Análisis por muestra del parámetro sulfato en el tratamiento con arena</i> .....	64
<b>Figura 11</b> <i>Análisis por muestra del parámetro sulfato en el tratamiento con zeolita</i> .....	64
<b>Figura 12</b> <i>Tratamiento con zeolita durante 4 semanas</i> .....	65
<b>Figura 13</b> <i>Fases para la potabilización del agua de consumo de salache</i> .....	88
<b>Figura 14</b> <i>Vista superior del tanque de regulación</i> .....	89
<b>Figura 15</b> <i>Vista lateral del tanque de regulación</i> .....	90
<b>Figura 16</b> <i>Vista lateral del filtro lento de zeolita</i> .....	90
<b>Figura 17</b> <i>Vista superior del filtro lento de zeolita</i> .....	91
<b>Figura 18</b> <i>Vista lateral del tanque de desinfección y el hipoclorador</i> .....	92
<b>Figura 19</b> <i>Vista superior del tanque de desinfección y el hipoclorador</i> .....	92
<b>Figura 20</b> <i>Vista superior del tanque de almacenamiento</i> .....	93
<b>Figura 21</b> <i>Vista lateral del tanque de almacenamiento</i> .....	93

## Resumen

Salache es una población perteneciente a la parroquia Eloy Alfaro del cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi, que se abastece de agua para consumo de las vertientes de San Agustín 1, San Agustín 2 y Agustín Leandro. Mediante un análisis de laboratorio se determinó que el agua contenía concentraciones de alcalinidad, dureza y sulfatos que sobrepasaban los límites establecidos en la Norma INEN 1108. Para reducir esta carga química se experimentó mediante un proceso de filtración con arena, zeolita y resina catiónica, mediante la utilización de un filtro experimental que representa una sección del filtro a escala real. A partir de los resultados experimentales se determinó que la zeolita y resina catiónica son buenos materiales para tratar los tres parámetros antes mencionados. Sin embargo, la resina catiónica conlleva un elevado costo para el tratamiento por lo que se seleccionó como material filtrante a la zeolita por su costo mínimo. Posteriormente, se realizó los cálculos de consumo per cápita de agua para determinar el caudal de tratamiento y dimensionar la planta potabilizadora en las fases de regulación, filtración, desinfección y almacenamiento. Finalmente, a partir de los cálculos obtenidos del dimensionamiento de la planta, se estableció las fases del tratamiento, los planos de ingeniería de la planta y el costo de construcción y operación.

### Palabras Clave

- **PLANTA POTABILIZADORA**
- **FILTRACIÓN CON ZEOLITA**
- **TRATAMIENTO DE ALCALINIDAD, DUREZA Y SULFATOS**

### **Abstract**

Salache is a population belonging to the Eloy Alfaro parish of the Latacunga canton of the Cotopaxi province, which supplies water for consumption of the San Agustín 1, San Agustín 2 and Agustín Leandro slopes. Through a laboratory analysis, it was determined that the water contained concentrations of alkalinity, hardness and sulfates that exceeded the limits established in INEN 1108. To reduce this chemical load, it was experimented by a filtration process with sand, zeolite and cationic resin, by the use of an experimental filter that represents a section of the full-scale filter. From the experimental results it was determined that the zeolite and cationic resin are good materials to treat the three parameters mentioned above. However, the cationic resin carries a high cost for the treatment, so zeolite was selected as a filter material for its minimum cost. Subsequently, the per capita water consumption calculations were performed to determine the treatment flow and size the water treatment plant in the regulation, filtration, disinfection and storage phases. Finally, based on the calculations obtained from the sizing of the plant, the treatment phases, the engineering plans of the plant and the cost of construction and operation were established

### **Keywords**

- **WATER TREATMENT PLANT**
- **FILTRATION WITH ZEOLITE**
- **TREATMENT OF ALKALINITY, HARDNESS AND SULFATES**

## Capítulo I

### Aspectos generales

#### Introducción.

En la parroquia Eloy Alfaro perteneciente al cantón Latacunga de la provincia de Cotopaxi se encuentra Salache con una población de aproximadamente 3250 personas. El agua para consumo la obtienen de los pozos Agustín 1, Agustín 2 y Agustín Leandro, estos acuíferos se ubican en el sector denominado San Agustín. El agua una vez captada es almacenada en tanque reservorios y distribuida sin un previo tratamiento. Realizados los respectivos análisis fisicoquímicos se ha determinado que el agua contiene altos niveles de sulfatos, alcalinidad y dureza.

Las elevadas concentraciones de sulfatos, alcalinidad y dureza, han generado en los habitantes de Salache problemas de salud gastrointestinales y en la piel. De manera general según cifras proporcionadas por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censo se conoció que en el 2017 se atendió 40 casos de enfermedades del esófago, estómago y duodeno, y 127 casos de enfermedades de la piel y tejido subcutáneo en la provincia de Cotopaxi (INEC, 2017)

Por lo expuesto se busca mejorar la calidad del agua de consumo para los habitantes de Salache mediante un modelo de tratamiento por filtración lenta y desinfección con cloro, validado mediante la utilización de un filtro que representa una sección del diseño, para potabilizar el agua y mejorar la calidad de vida de los habitantes. Esto permitirá a la Junta Administradora de Agua de Salache contar con un proyecto para el mejoramiento de la calidad del agua de consumo y viabilizar recursos para su construcción, operación y mantenimiento.

## **Antecedentes**

El Gobierno Nacional del Ecuador tiene como meta lograr el acceso universal y equitativo al agua potable para el año 2030, planteamiento que se encuentra dentro del Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021.

A partir del 13% de uso doméstico de agua, en cifras estadísticas según la medición de indicadores de Agua, Saneamiento e Higiene (ASH) que realizó el Instituto Nacional de Estadística y Censos se conoce que en el Ecuador un 70.10 % de los ecuatorianos utiliza como suministro para beber agua, una fuente como tubería, pozo o manantial protegido, o agua embotellada, en la vivienda o cerca de ella, de manera suficiente y libre de contaminación fecal (INEC, 2017). Por lo citado se puede sacar a la conclusión que el restante 29,90% de la población consume agua de otras fuentes y lo que es peor contaminado por materia fecal o presencia de otros contaminantes. Lo cual produce graves problemas gastrointestinales en la salud humana como: náuseas, vómitos, diarrea, calambres estomacales, dolores de cabeza, fiebre, etc.

En la comunidad de Salache perteneciente al cantón de Latacunga, las pruebas de laboratorio realizadas por la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco, de los pozos de San Agustín donde se extrae el agua para el consumo, presentaron concentraciones de sulfatos, dureza y alcalinidad (ANEXO A) que están fuera del límite permisible de los valores referenciales para agua potable de la norma NTE INEN 1108 (INEN, 2020).

La provincia de Cotopaxi al año 2017 según el registro de camas y egresos hospitalarios proporcionado por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos presentó 40 casos de enfermedades del esófago, estómago y duodeno, y 127 casos de enfermedades de la piel y tejido subcutáneo. Algunos de los cuales se pudieron haber producido por la dureza e ingesta de agua contaminada con sulfatos. Que, según lo



expuesto por el Departamento Ambiental de Nuevo México, el agua de consumo con niveles altos de sulfato puede convertirse en laxantes muy fuertes, causantes de diarrea para quienes lo ingieran. Y elevados niveles de dureza podrían aumentar la prevalencia de dermatitis atópica que es una enfermedad inflamatoria de la piel.

### **Planteamiento del problema**

Los habitantes de Salache obtienen el agua para consumo de los pozos de San Agustín 1 (0°58'47.96"S, 78°39'2.26"O), San Agustín 2 (0°58'45.62"S, 78°38'58.36"O) y San Agustín Leandro (0°59'10.56"S, 78°38'3.78"O), cuya concesión de agua es el número 840-DHP. El agua es bombeada hacia un tanque de almacenamiento que recibe un caudal de 8,01 L/s para ser distribuida a los hogares.

La Junta Administradora del Agua Potable de Salache en su preocupación por la calidad del agua que suministran a sus 3250 habitantes, solicitó un análisis de laboratorio en mayo de 2019 de los pozos de San Agustín de donde se abastecen de agua para el consumo, dando como resultado concentraciones altas de sulfatos, alcalinidad y dureza del agua (ANEXO A). Según la norma NTE INEN 1108 para agua de consumo doméstico los sulfatos deben encontrarse en concentraciones no mayores a 200 mg/l, y los resultados indican valores de 450 mg/l. Del mismo modo para alcalinidad y dureza no se admite valores mayores a 500 mg CaCO<sub>3</sub>/l, y el agua analizada contiene 520 mg CaCO<sub>3</sub>/l para Alcalinidad y 583 mg CaCO<sub>3</sub>/l para Dureza.

Los sulfatos, la alcalinidad y dureza producen problemas gastrointestinales y de la piel en los individuos que lo consumen. De manera particular se conoce según el Registro Estadístico de Camas y Egresos Hospitalarios 2017, que realizó el Instituto Nacional de Estadística y Censos, que se registran anualmente en la provincia de Cotopaxi casos de enfermedades gastrointestinales (esófago, estómago y duodeno) y

casos de enfermedades de la piel (INEC, 2017). Mismos que para el caso de Salache son casos comunes que se presentan entre sus habitantes por la mala calidad del agua que consumen.

Por lo expuesto, es necesario el estudio experimental para plantear el dimensionamiento de una planta potabilizadora para mejorar la calidad del agua de consumo de los habitantes de Salache.

### **Área de influencia**

La presente investigación se localiza en Salache, Parroquia Eloy Alfaro, Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi – Ecuador. Tiene una población aproximada de 3250 personas. Se encuentra a una altitud de 2778 msnm, Latitud: 0983333 y Longitud: 786167; aproximadamente a 2,5 km de la población de Tiobamba, cantón Latacunga. En la Figura 1 se ilustra el área de influencia.

### **Figura 1**

*Área de influencia*



*Nota.* Recuperado de Google Earth. La figura representa al área de influencia de la presente investigación

## **Justificación e importancia**

De acuerdo al objetivo 6 de los Objetivos de Desarrollo Sostenible se debe garantizar la disponibilidad de agua, su gestión sostenible y el saneamiento para todos. Cuya meta para 2030 será lograr el acceso universal y equitativo al agua potable, a un precio asequible para todos (ONU, 2015). Para lo cual “el Gobierno del Ecuador, a través del Plan Nacional de Desarrollo 2017 – 2021 y la Estrategia Nacional para la Igualdad y Erradicación de la Pobreza, ha situado al sector del agua potable y saneamiento en un espacio importante dentro de la agenda de desarrollo del país, consiguiendo que las diferentes estructuras del Estado alineen sus esfuerzos para incrementar significativamente el acceso a estos servicios básicos” (SENAGUA, 2016).

La realidad del país nos da a entender que para poder cumplir dicha meta al 2030 se debe resolver el problema del 29,9% de la población que consume agua de fuentes contaminadas o que no cumplen con la normativa básica de calidad de agua para consumo (INEC, 2017). Indiscutiblemente, parte de esta problemática ha generado que varias poblaciones ecuatorianas tengan problemas en la salud de sus habitantes, constituyendo gastos importantes de dinero por parte del Gobierno Central en materia de salud. Los casos se dan de manera particular en los sectores rurales de las provincias del Ecuador, en donde, casi generalmente el agua de consumo es entubada y se distribuye sin previo tratamiento.

Salache es un sector rural que posee agua de consumo de mala calidad, por tal razón es necesario el diseño de una planta potabilizadora. Por lo cual, la Junta Administradora del Agua de Salache, como organismo administrador, requiere de un proyecto que permita mejorar la calidad del agua de consumo y de esta manera viabilizar los recursos necesarios para la aplicación del proyecto.

La salud y el buen vivir de los habitantes de Salache justifican plenamente un proyecto de estas características y más aún con el compromiso de la academia por buscar soluciones a problemas de la sociedad.

### **Hipótesis**

La implementación de una planta de tratamiento para potabilizar el agua, mejorará la calidad de agua de consumo de la comunidad de Salache.

### **Objetivo General**

Dimensionar una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo de Salache -Latacunga.

### **Objetivos específicos**

- Determinar la calidad del agua de abastecimiento de la comunidad de Salache, mediante análisis de laboratorio, para identificar los parámetros que se encuentren fuera de los límites permisibles estipulados en la norma ecuatoriana NTE INEN 1108.
- Experimentar con lechos filtrantes la remoción de los parámetros que se encuentran fuera de norma, mediante la utilización de un filtro experimental, para determinar el proceso de tratamiento en la planta potabilizadora.
- Proyectar las fases y el dimensionamiento de la planta de tratamiento de agua potable para la comunidad de Salache, considerando los parámetros físicos y químicos del agua de captación, para cumplir con los límites permisibles en la norma ecuatoriana para agua de consumo humano.
- Determinar el costo de la planta potabilizadora, considerando parámetros de construcción y operación, para que sea sostenible en el tiempo.

## Capítulo II

### Marco teórico

#### Agua Potable

Se define como el agua que es apta para el consumo humano, la misma tiene concentraciones mínimas de parámetros físicos, químicos y biológicos establecidos mediante una norma que los regula. No toda el agua que se encuentra en el planeta Tierra es apta para el consumo humano, por lo tanto, se puede mejorar su calidad mediante la aplicación de procesos físicos y químicos, como por ejemplo, la filtración, la coagulación, la sedimentación, entre otros.

Según Jouravlev (2004), "De acuerdo con las publicaciones de la Organización Panamericana de la Salud, aproximadamente 85% de la población de la región de América Latina y el Caribe cuenta con los servicios de agua potable, ya sea a través de conexiones domiciliarias o a través de acceso a una fuente pública."

OMS (2015) expresa que: "Los niveles actuales de cobertura significan que casi 77 millones de personas (15%) no tienen acceso a los servicios de agua potable, de las cuales 26 millones (7%) corresponden a las zonas urbanas y 51 millones (39%) a las áreas rurales."

El acceso a agua de calidad tiene una marcada tendencia hacia el área urbana que el área rural, los niveles económicos de estas sociedades hacen que grandes empresas privadas inclinen su mirada a inversiones en el área urbana. Del otro lado las grandes empresas públicas de agua potable del mismo modo inclinan la mirada al área urbana puesto que la inversión de instalación de acometidas de agua, alcantarillado, etc., resultan más económicos por la concentración de los hogares en un mismo sitio, que, en contraste, en las poblaciones rurales generalmente cada casa se encuentra a varios metros de separación de unas a otras. Por tal motivo, al no haber inversión en



temas de abastecimiento de agua potable, las poblaciones rurales generalmente poseen pozos propios, abastecimiento de fuentes de manantiales, ríos, lagos, lagunas, etc., o en algunos casos se abastecen del agua de lluvia; sin la garantía que el agua de consumo se encuentre cumpliendo con las normas básicas de calidad del agua. Acompañado de la constante contaminación de las fuentes hídricas a nivel mundial, que provoca que las fuentes de abastecimiento anteriormente mencionados se conviertan en focos de contaminación provocando en la población problemas de salud.

Los organismos multilaterales, estatales, municipales, parroquiales, están en constante trabajo para garantizar la calidad del agua a través de procesos de potabilización. Un ejemplo es la Junta Administradora de agua de Salache, que busca mejorar la calidad del agua que consumen a través de proyectos de vinculación que auspician los centros universitarios o en otros casos organismos no gubernamentales.

### **Agua Potable en Ecuador**

El modelo de gestión para la prestación de servicios de agua potable en el Ecuador para el 2017 se encuentra repartido en el 61,5% por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, 32,1% por las empresas públicas mancomunadas regionales y el 6,4% por operadores privados. En el sector urbano se conoce que para el 2017 los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales prestaron sus servicios al sector urbano en su totalidad, mientras que en el sector rural la participación de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales fue 69,2% y el restante 30,8% estuvo a cargo de las juntas de agua. Los Juntas de agua cumplen un rol muy importante en el suministro y en la calidad del agua, sin embargo en la mayoría de casos no poseen agua potable, muchas de las veces solo agua entubada con o sin un proceso de cloración. Un ejemplo que podemos citar es de la Junta de Agua de

Salache, cuya comunidad se ha hecho cargo del abastecimiento y el cuidado de las vertientes de agua, para garantizar la mejor calidad posible del agua que consumen. No obstante, como ocurre en la mayoría de casos, al mencionar juntas de agua, no poseen líquido de buena calidad, existiendo en el agua de consumo parámetros fuera de norma que pueden atentar contra la salud de sus habitantes. En el caso de la administración del agua por parte de los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales no se garantiza al ciento por ciento el cumplimiento de la norma INEN 1108 que establece los parámetros de calidad del agua para consumo humano, es así que se conoce, que para el 2017 el 76,50% cumple con la norma citada. Lo cual deja en preocupación la salud de los habitantes a quienes representan, quienes confían en su totalidad de la calidad del agua que consumen (INEC, 2017).

Los organismos responsables de la calidad del agua en el Ecuador como son: la secretaria del agua, el ministerio del ambiente y el ministerio de salud pública, deben coordinar sus acciones para llevar un control global a nivel de país, describir leyes sancionatorias claras para quienes incumplen con la garantía de un servicio de calidad y buscar financiamiento a nivel internacional para la poder llevar a cabo proyectos de saneamiento del agua. La desarticulación antes mencionada ha dado lugar que por varios años no se pueda cubrir totalmente con agua de calidad al país entero, si bien es cierto el tema económico es un factor importante, los gobiernos centrales siempre están prestos a financiar temas de agua potable ya que muchos de ellos se han comprometido en el cumplimiento de las metas trazadas al 2030 por la Organización de Naciones Unidas en temas de desarrollo sustentable.

## **Índices de la Calidad del Agua**

Según Torres (2009), Se definen los índices de la calidad del agua como una expresión simple de una combinación más o menos compleja de un número de parámetros que sirven como expresión de la calidad del agua; el índice puede ser representado por un número, un rango, una descripción verbal, un símbolo o incluso un color.

La determinación del valor de la calidad del agua es una evaluación de la calidad de los parámetros físicos, químicos y biológicos en comparación con la calidad de una fuente totalmente natural. Para la fácil interpretación de los datos de evaluación existen índices de calidad e índices de contaminación. Es así que, los índices de calidad del agua son cantidades o números que se expresan mediante mediciones comparados con parámetros de calidad y los índices de contaminación expresan mediciones de parámetros que provocan contaminación en el ambiente.

Los índices de calidad del agua presentan ventajas y limitaciones como una herramienta en la evaluación de la calidad del agua. Los cuales son expuestos en la Tabla 1.

**Tabla 1**

*Ventajas y limitaciones de los índices de calidad del agua*

<b>VENTAJAS</b>	<b>LIMITACIONES</b>
Permiten mostrar la variación espacial y temporal de la calidad del agua.	No proporcionan información completa sobre la calidad del agua.
Método simple, conciso y válido para expresar la importancia de los datos generados regularmente en el laboratorio.	No pueden evaluar todos los riesgos presentes en el agua.
Útiles en la evaluación de la calidad del agua para usos generales.	Pueden ser subjetivos y sesgados en su formulación.
Permiten a los usuarios una fácil interpretación de los datos.	No son de aplicación universal debido a las diferentes condiciones ambientales que presentan las cuencas de una región a otra

*Nota.* Recuperado de Índices de Calidad de Agua en Fuentes Superficiales. Copyright

2009 Torres, Patricia.

De manera particular para el caso del Ecuador, los índices de calidad del agua potable están establecidos bajo la Norma NTE INEN 1108. En la Tabla 2, se indican los parámetros establecidos para agua de consumo humano con sus respectivos límites máximos permitidos

**Tabla 2***Índices de calidad del agua para consumo en Ecuador*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Límite Máximo Permitido</b>
Color	und Co/Pt	15
Turbidez	UNT	5
Temperatura	°C	15
Conductividad	μ Siems/cm	<1250
Ph	Unid	6,5 - 8,0
Hierro	mg/L	0,3
Fosfatos	mg/L	<0,30
Sulfatos	mg/L	200
Sólidos en suspensión	mg/L	220
Nitratos	mg/L	50
Nitritos	mg/L	3
Amonios	mg/L	< 0,50
Alcalinidad	mg/L	300
Dureza	mg/L	500
Fluoruros	mg/L	1,5
Coliformes Totales	UFC/100mL	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100mL	Ausencia

*Nota.* Recuperado de Agua Potable Requisitos. Copyrigh 2020 INEN.

### **Calidad del Agua para Consumo en Ecuador**

De acuerdo a las cifras proporcionadas por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos mediante un indicador de porcentaje que implique que la población utilice agua de consumo proveniente de tubería, agua de pozo o vertiente protegida o agua embotellada, cercano a la población, en cantidad suficiente y ausencia de la bacteria E. coli; se conoce que en el Ecuador al 2017 el 70,10% lo tiene y el restante 29,90% no posee agua segura y de calidad. Adicionalmente, se conoce que el área rural es la que más se ve afectada por el consumo de agua contaminada y de mala

calidad, es así que 31,8% de la población lo consume. Sin embargo, tampoco se logra cubrir al ciento por ciento agua de calidad en la población urbana, que según se afirma por el Instituto Ecuatoriano de Estadísticas y Censos el 15,40% posee agua contaminada (INEC, 2017).

En Ecuador el abastecimiento de agua segura y de calidad está repartido en gran porcentaje a los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales, acompañados de empresas públicas mancomunadas regionales u operadores privados. A pesar de aquello los intereses de proporcionar agua segura y de calidad están más vinculados al área urbana que la rural, sustentado con las cifras anteriormente citadas, esto responde a la mayor rentabilidad económica en el área urbana o falta de interés por parte de los administradores de turno.

Es importante señalar que el abastecimiento natural de agua de calidad cada vez se ve más afectado por la contaminación causada por las actividades del hombre. Un ejemplo claro de lo citado, es la invasión y contaminación de la agricultura en los páramos andinos del Ecuador, que provoca que se reduzca y se contamine el páramo, afectando de manera directa al abastecimiento y calidad de agua para las poblaciones cercanas. Es por tal motivo que más Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales acompañados por las mismas comunidades cercanas inclinan su mirada a la protección de los páramos, ya que grandes ciudades así como las mismas comunidades se benefician de estos servicios ambientales. Otro ejemplo, es la contaminación de pozos o vertientes naturales de agua que fruto de la actividad industrial o agrícola terminan contaminando estas fuentes principales de agua de calidad, muchas juntas administradoras del agua en el Ecuador han decidido cercar sus vertientes con el objetivo de evitar la contaminación de las mismas, tal es el caso de la

Junta Administradora del Agua de Salache que tiene cercado la mayor parte de sus vertientes naturales de agua.

### **Agua Subterránea para el Consumo**

Los sectores rurales de la región andina en su gran mayoría utilizan como fuente de abastecimiento el agua subterránea, esto debido a la calidad de agua que puede poseer a comparación de fuentes superficiales. Generalmente estas fuentes no están cercanas a actividades industriales o agrícolas que puedan contaminar sus aguas, lo que explica la buena calidad de las mismas. Un ejemplo, es la comunidad de Salache que consume el agua de las vertientes del sector denominado como San Agustín.

Sin embargo, el constante crecimiento de las actividades agrícolas, ganaderas e industriales hace que cada vez sigan ocupando más terreno, contaminando aguas superficiales y subterráneas. Una evidencia de lo citado, son las vertientes de San Agustín, en las que muy cerca de las mismas existe actividad agrícola y ganadera. Lo que hace presumir que ha mediado plazo, las aguas subterráneas de ese sector terminen contaminándose.

La preocupación por parte los organismos estatales y juntas administradoras del agua es evidente dentro del contexto de la protección del agua. Por un lado el gobierno central destina fondos para la protección de páramos y de fuentes naturales de agua; y las juntas administradoras de agua hacen todos los esfuerzos por cercar o proteger de algún modo sus fuentes de abastecimiento. Sin embargo, es necesario el establecimiento de leyes que asignen áreas especiales de protección del agua, con varios metros a la redonda y su respectiva sanción a quienes lo incumplan.

## **El Agua y la Salud**

Según McJunkin (1983), El agua es, por supuesto, una necesidad primordial para la vida. Sin embargo, también puede ser portadora de sufrimientos y muerte. Por otro lado, la disponibilidad inmediata de agua hace posible crear un medio ambiente higiénico que evita o limita la propagación de muchas enfermedades del hombre y de los animales.

En efecto los países en vías de desarrollo, como, por ejemplo, varios países de África, Asia y América Latina no cuentan con un adecuado tratamiento al agua de consumo, siendo este un propagador de varias enfermedades como, por ejemplo: la tifoidea, la amebiasis, diarrea, entre otras.

Las estrategias tomadas en el saneamiento de agua, no solo deben estar ligadas a mejorar la calidad bajo parámetros regidos por una norma nacional o internacional, sino deben estar ligadas a otras actividades como la educación y promoción de la salud, tanto en las poblaciones como en los hogares. Ejemplos de lo citado puede ser: el correcto almacenamiento de agua de consumo en los hogares para evitar la contaminación y proliferación de mosquitos, el uso de agua potable para la preparación de alimentos, hervir agua para el consumo diario y la disposición sanitaria correcta de excretas del hogar. Una pieza clave en el desarrollo de las comunidades latinoamericanas es la educación en la prevención de enfermedades, si bien es cierto los países en mención no tiene el recurso suficiente para cubrir en su totalidad con el saneamiento y tratamiento de agua de consumo con plantas potabilizadoras, el simple hecho de educar a la comunidad con hervir el agua de consumo evita la propagación de enfermedades de carácter infeccioso.

Sin embargo, puede existir en el agua cargas químicas contaminantes, como por ejemplo Sulfatos, que no desaparecerán con métodos simples como hervir agua, y que



pueden causar problemas graves en la salud, si no se produce el tratamiento adecuado; por lo que es de vital importancia que los gobiernos centrales procuren esfuerzos por generar proyectos que mejoren la calidad del agua mediante plantas potabilizadoras.

El agua que está consumiendo la población de Salache lamentablemente se une a las tantas poblaciones que está bebiendo agua de mala calidad, producida por la sobrecarga química de parámetros establecidos por la normativa INEN 1108 como: la alcalinidad, dureza y sulfatos, cuyos problemas en la salud se presentan en los ítems 2.6.1., 2.6.2., y 2.6.3.

### ***Riesgo en la Salud por presencia de Sulfatos en el Agua***

Según Environment Department New Mexico (2007), “El agua de consumo con niveles de sulfato que sobrepasan los 600 mg/l pueden convertirse en laxantes muy fuertes, causantes de diarrea para quienes lo ingieren. La consecuencia principal de la ingesta de agua en grandes cantidades y alta concentración de sulfatos es la deshidratación. A pesar de aquello también se ha experimentado que ciertas personas pueden resistir concentraciones de sulfatos en corto tiempo como por ejemplo un día.”

Riveron (1999) expresa que: “La diarrea se la puede considerar como una forma de secreción, que resulta ser un mecanismo de defensa del organismo cuando el epitelio intestinal se halla irritado, dañado o invadido por agentes químicos o elementos extraños, como, por ejemplo, la presencia de sulfatos en el agua de consumo.”

El riesgo por la ingesta de niveles altos de sulfatos tiene consecuencias directas sobre el sistema digestivo provocando diarrea en los individuos que lo consumen, pero también puede estar asociado a contaminación biológica, provocado generalmente por la contaminación de heces fecales de animales en las fuentes hídricas.

### ***Riesgo en la Salud por presencia de Dureza en el Agua***

Según McJunkin (1983), "La presencia de dureza en el agua tiene relación con respecto a la mortalidad que se da por enfermedades cardiovasculares."

Pero también se convierte en un factor de riesgo de la enfermedad del eczema atópico o dermatitis atópica. Arnedo (2007) expresa que: "A mayor dureza del agua, ocurriría una mayor prevalencia de eczema atópico. Por otra parte, estudios clínicos han indicado el efecto irritativo del agua dura "calcárea" sobre la piel de los niños con eczema atópico. El eczema atópico se ha definido como una enfermedad inflamatoria de la piel, caracterizada por erupciones pruriginosas de curso crónico y recidivante, que aparecen en distintas zonas corporales según la edad del paciente."

Acompañado a lo citado, las erupciones en la piel no solo se deben a la dureza en el agua sino también uno de los factores puede ser la radiación solar puesto que no hace uso de protectores solares.

### ***Riesgo en la Salud por presencia de Alcalinidad en el Agua***

Según Sigler (2017) "Altos niveles de alcalinidad en el agua no representan un riesgo en la salud, sin embargo, puede producir atascos en los calentadores de agua o en las tuberías, provocando en estas disminuciones de su vida útil y dificultades en dispositivos del hogar y accesorios."

Sin embargo, se conoce que la alcalinidad del agua favorece a la solubilidad de Arsénico. Las aguas subterráneas que son muy alcalinas generalmente contienen altas concentraciones de Arsénico. Es así que, si llegara el caso que cerca de la población se extraiga minerales con el elemento mencionado, muy probablemente este se infiltre al suelo, contaminando aguas subterráneas y provocando en las poblaciones cercanas enfermedades como Hidroarsenicismo Crónico Regional Endémico que es producida

por la ingesta prolongada de sales de Arsénico disueltas en el agua. A parte de provocar también enfermedades cardiovasculares, diabetes y neurotoxicidad (Curto, 2006).

Si se diera el caso de la aprobación de un proyecto de extracción mineral cerca de las fuentes de abastecimiento de agua de Salache se debe tener especial cuidado y control constante para evitar la enfermedad de Hidroarsenicismo Crónico. O de manera más efectiva, presentar al ente regulador el riesgo letal a la salud de los habitantes, para se anule el desarrollo de un proyecto mineral, puesto que la salud de la población debe ser siempre tema prioritario para los gobiernos centrales.

### **Dimensionamiento para Potabilización del Agua.**

Para el dimensionamiento de la planta potabilizadora del agua de consumo de Salache, se calculó como primer punto la población futura que deriva al cálculo del consumo diario de agua por persona. Una vez establecido el consumo de agua por persona, se determinó el caudal de captación y de tratamiento para poder dar paso al proceso de captación, aducción y tratamiento. Para el tratamiento, al inicio se calculó las dimensiones de un tanque de regulación, esto con el objetivo de regular el flujo de agua a la entrada del tratamiento; consecuentemente se realizó los cálculos de dimensionamiento del filtro de zeolita, para continuar con el dimensionamiento del tanque de desinfección y finalizar con el cálculo de las dimensiones del tanque de almacenamiento del agua tratada. El detalle del proceso y las ecuaciones utilizadas se presentan en los siguientes sub numerales.

### ***Población Futura***

Para el cálculo de la población futura se utilizan los datos de los censos poblacionales proporcionados por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos o de ser el caso los datos de los registros sanitarios. En caso de no poseer los datos suficientes para el cálculo de la población futura se utilizará una progresión geométrica (INEN, 1997), con los índices de crecimiento indicados en la Tabla 3:

**Tabla 3**

*Tasas de crecimiento poblacional*

<b>REGIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>R</b>
Sierra	1,01
Costa, oriente y Galápagos	1,5

*Nota.* Recuperado de Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable. Copyrigh 1997 INEN.

Para el caso de la población de Salache no se cuenta con los datos suficientes para el cálculo de la población futura, debido a que no existen datos de anteriores años proporcionados por un censo poblacional, por lo cual se aplica la siguiente ecuación de progresión geométrica:

$$a_n = a_1 * r^{n-1}$$

Dónde:

$a_n$  = Valor del término a calcular

$a_1$  = Valor del primer termino

$r$  = Razón

$n$  = Número de progresiones

### **Consumo Diario de Agua por Persona**

Para determinar el consumo diario por persona es importante determinar el nivel del servicio para sistemas de agua potable, a partir de la Tabla 4 que se muestra a continuación:

**Tabla 4**

*Niveles de servicio para sistemas de abastecimiento de agua*

<b>NIVEL</b>	<b>SISTEMA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
0	AP	Sistemas individuales.
	DE	Diseñar de acuerdo a las disponibilidades técnicas, usos previstos del agua, preferencias y capacidad económicas del usuario.
Ia	AP	Grifos públicos.
	DE	Letrinas sin arrastre de agua
Ib	AP	Grifos públicos más unidades de agua para lavado de ropa y baño.
	DE	Letrinas con o sin arrastre de agua.
IIa	AP	Conexiones domiciliarias, con un grifo por casa
	DE	Letrinas con o sin arrastre de agua
IIb	AP	Conexiones domiciliarias, con más de un grifo por casa.
	DRL	Sistema al alcantarillo sanitario.

Simbología utilizada:

AP: agua potable

DE: disposiciones de excretas

DRL: disposición de residuos líquidos.

*Nota.* Recuperado de Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento

de agua potable. Copyright 1997 INEN

Una vez establecido el nivel del servicio, se considerarán las dotaciones de agua según el clima de la comunidad, como se indica en la Tabla 5:

**Tabla 5**

*Dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio*

<b>NIVEL DE SERVICIO (Símbolo)</b>	<b>CLIMA FRÍO (L/HAB*DÍA)</b>	<b>CLIMA CÁLIDO (L/HAB*DÍA)</b>
la	25	30
lb	50	65
lia	60	85
lib	75	100

*Nota.* Recuperado de Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable. Copyright 1997 INEN

Con los datos obtenidos de las Tablas 4 y 5 y el número de habitantes, se aplica la siguiente ecuación para el cálculo del consumo diario de agua por persona (Donoso, 2013)

$$C_D = N_H * C_{DH} \quad (\text{Ec.2})$$

Dónde:

$C_D$  = Consumo diario de agua en la comunidad  $\left(\frac{l}{\text{día}}\right)$

$N_H$  = Número de habitantes de la comunidad

$C_{DH}$  = Consumo de agua por cada habitante diariamente  $\left(\frac{l}{\text{hab*día}}\right)$

### **Caudal de Captación**

Para el cálculo del caudal de captación se utiliza la siguiente ecuación (Donoso, 2013)

$$Q_{\text{captación}} = 1,05 * C_D \quad (\text{Ec.3})$$

Dónde:

$Q_{\text{captación}}$  = Caudal de captación  $\left(\frac{l}{s}\right)$

$C_D$  = Consumo diario de agua en la comunidad  $\left(\frac{l}{s}\right)$

### **Caudal de Tratamiento**

Para el cálculo del caudal de tratamiento se aplica la siguiente ecuación (Donoso, 2013):

$$Q_{Tratamiento} = 1,10 * C_D \quad (\text{Ec.4})$$

Dónde:

$$Q_{Tratamiento} = \text{Caudal de tratamiento} \left( \frac{l}{s} \right)$$

$$C_D = \text{Consumo diario de agua en la comunidad} \left( \frac{l}{s} \right)$$

### **Captación de Agua**

El abastecimiento de agua de consumo para comunidades, pueblos y ciudades se lo puede obtener de fuentes de agua superficiales o agua subterránea. También se lo obtiene de manantiales, lagos y embalses. Sin embargo, algunas poblaciones obtienen el agua fruto de la lluvia en los casos que fuentes abundantes de agua escasean. La implementación de un sistema abastecimiento de agua de consumo depende de la calidad del agua, la cantidad o volumen de agua y las fuentes que se tiene a disposición para su utilización (Valdez E. C., 1994).

Existen obras de captación para aguas superficiales y para agua subterránea. Para el caso de Salache, que es la población a beneficiarse de la obra, el tipo de captación es de agua subterránea, que fluye a través de un manantial. El agua de manantial aflora de manera general desde un acuífero natural que está constituido de arena y grava, y emerge a la superficie debido a la presencia de material impermeable como arcilla y rocas, que bloquea su infiltración. Generalmente se lo encuentra en laderas de montañas (Valdez E. C., 1994).

Las aguas subterráneas se convierten en significativas fuentes de agua de consumo para poblaciones. Sus aguas no requieren de un sofisticado y complejo

tratamiento y las cantidades a suministrar son las suficientes. Las obras de captación que en este apartado existen son: pozos, galerías filtrantes y cajas de manantiales (Valdez E. C., 1994).

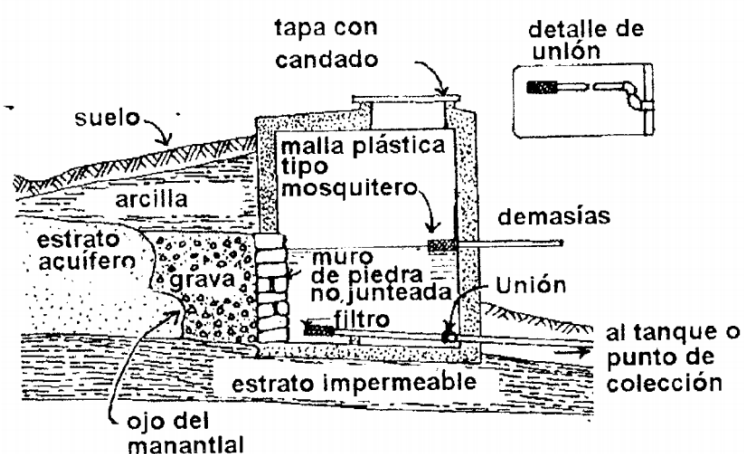
Salache con el objetivo de proteger su manantial, ha optado como obra de captación cajas de manantiales, que son tanques donde se almacena temporalmente el agua y se evacua media una tubería a los tanques reservorios para su distribución. En la construcción de los mismos se debe tener especial cuidado de no escavar a profundidad el estrato impermeable ya que puede provocar la desaparición del manantial o que emerja en otro lugar. Antes de construir la pared o muro de la caja de manantial es preciso aplicar rocas gruesas o de gran tamaño sin juntar contra el ojo del manantial, con el objetivo de construir los cimientos del muro posterior a la caja y evitar que al evacuar el agua salga el material del acuífero hacia afuera. Es recomendable ubicar rocas de gran tamaño, ya que en el caso de existir lluvias, el agua de manantial fluiría más rápidamente, por lo que las rocas servirían de apoyo. Inclusive se puede utilizar pequeñas rocas y arena para llenar el espacio existente entre los mismos. Para la salida del agua de manantial se debe ubicar una tubería a 10 cm (por lo mínimo) del fondo de la caja del manantial, en el extremo del mismo instalar un filtro que evite que piedras, ranas y demás objetos impidan el paso del agua. Adicionalmente se debe instalar una tubería denominada “de demasías” cuyo objetivo es eliminar el afloramiento máximo del manantial en épocas lluviosas, la misma debe instalarse bajo el nivel de salida del agua manantial y con un filtro en el extremo interior de la caja con el fin de impedir el paso de mosquitos y ranas que puedan obstruir la tubería. La losa de la caja debe ser construida 30 cm (por lo mínimo) sobre el nivel del terreno con el objetivo de evitar que el agua generada por la lluvia ingrese en la caja. También se debe construir



una tapa con reborde de al menos 10cm, completamente asegurada con candado y bisagras (Valdez E. C., 1994).

## Figura 2

### *Caja de manantial*



*Nota.* Esta figura muestra como está estructurada la caja de manantial. Tomado de Abastecimiento de Agua Potable (p.77-79), por Valdez, E., 1994, D.R.

### **Aducción de Agua**

Se conoce por aducción al transporte de agua desde el origen hasta un tanque de regulación o el tratamiento que se le haga al mismo. Para el caso de Salache actualmente el origen se da en una fuente de manantial y por medio de una línea de conducción llega hasta un tanque de regulación.

La aducción de agua está formada por conductos o tuberías, obras de ingeniería y accesorios que permiten la conducción del agua. El agua se puede transportar por conductos cerrados o abiertos mediante el uso de bombas o la gravedad como fuentes de energía para el movimiento a través de los conductos. Los conductos cerrados son los mayormente utilizados en la actualidad, conocidos como tuberías, que componen los

tubos y sistemas de accesorios para su unión. Estos se los puede encontrar en diversos materiales como: base de fibras de asbesto y cemento, acero, concreto reforzado y plástico (polietileno y PVC). Salache como sistema de aducción utiliza tuberías PVC. El PVC cuyas siglas refieren a cloruro de polivinilo, es un polímero de cloruro de vinilo de alta resistencia, se lo puede utilizar en el transporte de agua, alcoholes, ácidos y álcalis concentrados (Valdez E. , 1994). Presenta varias ventajas y desventajas que se presentan a continuación en la Tabla 6.

**Tabla 6**

*Ventajas y desventajas del PVC*

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Resistencia a la corrosión y al ataque químico de ácidos, álcalis y soluciones salinas.	Alto costo en diámetros de 200 mm y mayores.
Instalación rápida, fácil y económica.	Las propiedades mecánicas de las tuberías de PVC se afectan si quedan expuestas a los rayos solares por un periodo de tiempo prolongado.
Debido a su grado de absorción permite la prueba hidrostática después de su llenado.	Los tubos de extremos lisos requieren mano de obra altamente especializada para su unión por el proceso de cementado. Debido a esto, en todos los proyectos de conducciones se especifica el uso de tuberías con campana y anillo de hule. La campana debe ser integral al tubo.
Su resistencia mecánica es superior a la de las tuberías de fibro-cemento	
Menor pérdida por fricción en comparación con las tuberías de fibro-cemento, concreto y acero.	
Por su ligereza, el almacenamiento y transporte de la tubería facilita notablemente.	
Respecto a su costo de suministro en los diámetros de 50, 60, 75 y 100m es más barata que las tuberías de fibro-cemento.	

*Nota.* Recuperado de Abastecimiento de agua potable. Copyrigh 1994 Valdez, E.

### **Regulación de Entrada de Agua al Tratamiento**

La regulación del flujo de agua a la entrada del proceso de tratamiento está conformada por un tanque de regulación que permite enviar un flujo de agua constante desde la fuente de abastecimiento (aducción) hasta el tratamiento.

- Volumen del tanque de regulación

El diseño del tanque de regulación se basa en la sumatoria de los volúmenes de salida de los conductos de aducción en función de cada segundo, más la sobre carga que acumula producto de la diferencia de volumen total que recibe el tanque y el gasto de volumen que es la entrada al tratamiento. Las fórmulas que representan lo anteriormente citado son:

$$V_{Tanque} = V_{TE} + V_{SA} \quad (\text{Ec. 5})$$

Dónde:

$V_{Tanque}$  = Volumen del tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{SA}$  = Volumen de sobre carga acumulada ( $\text{m}^3$ )

- Volumen total de entrada al tanque de regulación

El volumen total de entrada al tanque de regulación es calculado mediante la sumatoria de los volúmenes que las vertientes de San Agustín Leandro, San Agustín 1 y San Agustín 2 poseen en función de cada segundo.

$$V_{TE} = V_{SA} + V_{S1} + V_{S2} \quad (\text{Ec. 6})$$

Dónde:

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{SA}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín Leandro ( $\text{m}^3$ )

$V_{S1}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 1 ( $\text{m}^3$ )

$V_{S2}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 2 (m<sup>3</sup>)

- Volumen de sobre carga acumulada

El volumen de sobre carga acumulada es calculado mediante la diferencia entre el volumen total de entrada al tanque de regulación y el volumen de agua que entra al tratamiento por cada segundo:

$$V_{SA} = V_{TE} - V_{ET} \quad (\text{Ec. 7})$$

Dónde:

$V_{SA}$  = Volumen de sobre carga acumulada (m<sup>3</sup>)

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación (m<sup>3</sup>)

$V_{ET}$  = Volumen de entrada al tratamiento (m<sup>3</sup>)

### **Filtración lenta**

Es el proceso mediante el cual el agua a tratar que contiene altos niveles de contaminación, se filtra lentamente a través de capas de lechos filtrantes (arena, antracita o zeolita), donde los elementos o compuestos contaminantes son eliminados o removidos. Según Quiroga (1999) "Durante su operación una delgada capa es formada sobre la superficie del lecho filtrante, el mismo que posee microorganismos activos que se alimentan de bacterias y compuestos orgánicos, removiendo de esta manera la carga contaminante del agua."

- Área superficial de filtración

Para el diseño de un filtro lento es necesario determinar el área superficial de filtración mediante la siguiente fórmula (Galvis, 1999):

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

Dónde:

$A$  = Área superficial de filtración ( $m^2$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$v_f$  = Velocidad de filtración ( $m/h$ )

- Número de módulos de filtración

El número de módulos de filtración que representa las unidades rectangulares de filtración es calculado mediante la siguiente fórmula (Galvis, 1999):

$$n = (0,5)\sqrt[3]{A} \quad (\text{Ec. 9})$$

Dónde:

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A$  = Área superficial de filtración ( $m^2$ )

- Dimensiones de las unidades rectangulares de filtración

Para el cálculo de las dimensiones de las unidades rectangulares de filtración se hace uso de las siguientes fórmulas que representan la longitud y el ancho de las unidades (Galvis, 1999):

$$a = \left( \frac{2A}{n+1} \right)^{0,5}$$

Dónde:

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$A$  = Área superficial de filtración ( $m^2$ )

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$$b = \frac{(n+1)a}{2n}$$

Dónde:

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

- Caudal total de lavado

Finalizado el diseño de las unidades de filtración se determina el caudal total de lavado mediante la siguiente fórmula (Galvis, 1999):

$$Q = v * a * b$$

Dónde:

$Q$  = Caudal total de lavado (m<sup>3</sup>/h)

$v$  = Velocidad de lavado (m/h)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

- Diámetro de la tubería a la entrada y salida del filtro lento

El diámetro de la tubería tanto a la entrada como a la salida del filtro lento se calcula de la siguiente manera:

$$D_{TE} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Dónde:

$D_{TE}$  = Diámetro de la tubería a la entrada del filtro lento

$Q$  = Caudal de lavado (m<sup>3</sup>/h)

$v_e$  = Velocidad a la entrada de la tubería (m/h)

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

Dónde:

$D_{TS}$  = Diámetro de la tubería a la salida del filtro lento

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

$v_s$  = Velocidad a la salida de la tubería (m/h)

- Altura del filtro lento

La altura del filtro lento está determinada por la altura del lecho de soporte incluido el drenaje, la altura del lecho filtrante, la altura de agua sobrenadante y la altura del borde libre, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$H_F = H_S + H_{LF} + H_{AS} + H_{BL}$$

Dónde:

(

$H_F$  = Altura del filtro lento (m)

$H_S$  = Altura del lecho de soporte incluido el drenaje (m)

$H_{LF}$  = Altura del lecho filtrante (m)

$H_{AS}$  = Altura de agua sobrenadante (m)

$H_{BL}$  = Altura del borde libre (m)

Para el reemplazo en las fórmulas mencionadas se toma en cuenta los criterios de diseño de las Tablas 7 y 8

**Tabla 7***Criterios de diseño para filtración lenta*

<b>CRITERIOS DE DISEÑO</b>	<b>RECOMENDACIÓN</b>
Período de operación (h/d)	24
Período de diseño (años)	8 – 12
Velocidad de filtración (m/h)	0,1 – 0,3
Altura del lecho filtrante (m)	0,8
Altura del lecho de soporte, incluye drenaje (m)	0,25
Altura de agua sobrenadante (m)	0,8
Borde libre (m)	0,1
Arca superficial máxima por módulo (m <sup>2</sup> )	<100

*Nota.* Recuperado de Filtración en múltiples etapas. Copyright 1999 Galvis, G.

**Tabla 8***Criterios de diseño para velocidades en las tuberías de filtro lento*

<b>PARÁMETRO</b>	<b>VELOCIDAD</b>
Afluente	0,15 – 3 m/s
Efluente	0,4 – 9 m/s

*Nota.* Recuperado de Purificación del Agua. Copyright 2006 Romero, J.

**Sistema de drenaje del filtro lento**

El sistema de drenaje del filtro lento consiste en un sistema de canaletas principales y secundarias con orificios que permiten una recolección óptima del agua tratada.

- Caudal por colector lateral

Para su diseño es importante calcular el caudal por lateral que recibirá el colector mediante la siguiente fórmula (Galvis, 1999):

$$Q_L = \frac{Q}{N_{CL}}$$

Dónde:

$Q_L$  = Caudal por colector lateral (l/s)



$Q$  = Caudal total de lavado (l/s)

$N_{CL}$  = Número de colectores laterales

- Número de orificios por colector lateral

El número de orificios que los colectores deben poseer se calcula mediante la siguiente fórmula (Galvis, 1999):

$$n = \frac{R_o * A_L}{A_o}$$

Dónde:

$n$  = Número de orificios

$R_o$  = Relación de colector

$A_L$  = Área del lecho filtrante (m<sup>2</sup>)

$A_o$  = Área del orificio (m<sup>2</sup>)

- Área del lecho filtrante y el área del orificio

El Área del lecho filtrante y el área del orificio se pueden calcular mediante las siguientes ecuaciones (Galvis, 1999):

$$A_L = a * b$$

Dónde:

$A_L$  = Área del lecho filtrante (m<sup>2</sup>)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

$$A_o = \pi \frac{d_o^2}{4}$$

Dónde:

$A_o$  = Área del orificio (m<sup>2</sup>)

$d_o$  = Diámetro de los orificios (m)

- Diámetro del colector principal y lateral

El diámetro del colector lateral y principal se puede calcular mediante las siguientes fórmulas (Galvis, 1999):

$$d_L = (2n)^{\frac{1}{2}} d_o$$

Dónde:

$d_L$  = Diámetro del colector lateral (mm)

$n$  = Número de orificios

$d_o$  = Diámetro de los orificios (mm)

$$d_p = \sqrt{2n} d_L$$

Dónde:

$d_p$  = Diámetro del colector principal (mm)

$n$  = Número de orificios

$d_L$  = Diámetro del colector lateral (mm)

Para el reemplazo en las fórmulas mencionadas se toma en cuenta los criterios de diseño de la Tabla 9

**Tabla 9**

*Criterios de diseño para el sistema de drenaje para filtración lenta*

CRITERIOS DE DISEÑO	RECOMENDACIÓN
$R_o$	0.00015 - 0.0005
Diámetro orificios (mm)	6 – 19
Espaciamiento entre orificios (m)	0.1 -0.3
Espaciamiento entre laterales (m)	0.5- 1.0

*Nota.* Recuperado de Filtración en múltiples etapas. Copyright 1999 Galvis, G.

### **Desinfección de agua tratada**

La desinfección es el proceso mediante el cual se eliminan organismos patógenos en el agua, que pueden producir enfermedades a los individuos que lo ingieren. Entre las enfermedades que puede producir están disentería, tifoidea, amebiosis, gastroenteritis, etc. En las etapas de tratamiento del agua generalmente es el último de proceso, de esta manera se asegura dotar de agua libre organismos patógenos para la población.

En el análisis de agua generalmente se determinan coliformes totales y fecales que representan a gran grupo de microorganismos, casi comúnmente producidos por las heces fecales de humanos y animales que terminan contaminando aguas de ríos, manantiales, lagos, lagunas, etc. Es importante al identificar este tipo de contaminantes biológicos tratarlos mediante un proceso de desinfección.

Según López (2000), “los tipos de procesos de desinfección pueden ser:

- Desinfección por rayos ultravioleta
- Desinfección por medio de ozono
- Desinfección por medio de cloro”

#### - PESO DEL CLORO

Para el diseño del proceso de desinfección se debe calcular el peso del cloro que se necesita para el tratamiento mediante la siguiente ecuación (López , 2000):

$$P_{Cl} = \frac{D * T * Q}{1000}$$

Dónde:

$P_{Cl}$  = Peso del cloro que se necesita para el tratamiento (Kg/día)

$D$  = Dosis del cloro necesario para el tratamiento (mg/l)

$T$  = Tiempo de almacenamiento de la solución de cloro (s)

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

Para el reemplazo en la fórmula mencionada se toma en cuenta las siguientes dosis de cloro presentadas en la Tabla 10:

**Tabla 10**

*Dosis de cloro para tratamiento*

TIPO DE AGUA	VALOR
Aguas claras	0,3 mg/L
Aguas turbias	1,2 mg/L

*Nota.* Recuperado de Diseño de un sistema de tratamiento de agua para la comunidad

Nitiluisa. Copyright 2015 Logroño, P.

- VOLUMEN DEL CLORADOR

El volumen del clorador se calcula mediante la fórmula que se presenta a continuación (López , 2000):

$$V_{Cl} = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Dónde:

$V_{Cl}$  = Volumen del clorador ( $m^3$ )

$P_{Cl}$  = Peso del cloro que se necesita para el tratamiento (Kg/día)

$C$  = Concentración de la solución (%)

- VOLUMEN DEL TANQUE DE CONTACTO ENTRE EL AGUA Y EL CLORO

Es importante también el diseño de un tanque en el que el agua tenga contacto con el cloro, para lo cual se utiliza la siguiente fórmula (López , 2000):

$$V_{TC} = Q * t * F_s$$

Dónde:

$V_{TC}$  = Volumen del tanque de contacto entre el agua y el cloro ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$t$  = Tiempo de retención (s)

$F_s$  = Factor de seguridad

- ALTURA DEL TANQUE DE CONTACTO ENTRE EL AGUA Y EL CLORO

La altura del tanque de contacto entre el agua y el cloro se la puede calcular mediante la siguiente ecuación (López , 2000):

$$H_{TC} = \frac{V_{TC}}{A_{TC}}$$

Dónde:

$H_{TC}$  = Altura del tanque de contacto entre el agua y el cloro (m)

$V_{TC}$  = Volumen del tanque de contacto entre el agua y el cloro ( $m^3$ )

$A_{TC}$  = Área del tanque de contacto entre el agua y el cloro ( $m^2$ )

***Almacenamiento de agua potabilizada***

Los tanques de almacenamiento son estructuras que permiten contar con un abastecimiento de agua, disponible cuando es necesario. Esto significa que se pueda suministrar agua cuando se realice mantenimiento de la planta potabilizadora o cuando exista una disminución del caudal de tratamiento.

- VOLUMEN DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

Para el diseño del tanque de almacenamiento es necesario determinar el volumen de almacenamiento en función del tiempo en el que se prevea un posible corte del flujo normal de abastecimiento, calculado de siguiente forma:

$$V_A = Q * T$$

Dónde:

$V_A$  = Volumen del tanque de almacenamiento ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal de salida del tanque de desinfección ( $m^3/h$ )

$T$  = Tiempo en el que se prevea un posible corte del flujo normal de abastecimiento (h)

- ALTURA DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO

La altura del tanque de almacenamiento se puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$H_A = \frac{V_A}{A_A}$$

Dónde:

$H_A$  = Altura del tanque de almacenamiento (m)

$V_A$  = Volumen del tanque de almacenamiento ( $m^3$ )

$A_A$  = Área del tanque de almacenamiento ( $m^2$ )

## Capítulo III

### Experimentación

#### Diagnóstico

Salache cuenta con un abastecimiento de agua de las vertientes San Agustín 1 ( $0^{\circ}58'47.96''S$ ,  $78^{\circ}39'2.26''O$ ), San Agustín 2 ( $0^{\circ}58'45.62''S$ ,  $78^{\circ}38'58.36''O$ ) y San Agustín Leandro ( $0^{\circ}59'10.56''S$ ,  $78^{\circ}38'3.78''O$ ) (figura 3). El agua de consumo no cuenta con ningún tipo de tratamiento, solo se receipta en cajas de manantial, los cuales fluyen directamente a tanques de almacenamiento para su posterior distribución.

#### Figura 3

*Vertientes de San Agustín y San Agustín Leandro*



*Nota.* Recuperado de Google Earth .Esta figura muestra las vertientes de San Agustín y San Leandro.

Se efectuó la caracterización física, química y bacteriológica del agua de consumo por parte de los técnicos de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado del Regional Yanahurco (figura 4), con quienes la Junta Administradora

de Agua Potable de Salache mantiene un convenio para el análisis de sus aguas, encontrándose después del informe (Anexo A) que los parámetros fuera de norma son: la alcalinidad con un valor de 520 mg CaCO<sub>3</sub>/ml, la dureza con un valor de 583 mg CaCO<sub>3</sub>/ml y Sulfatos con un valor de 450 mg/l. Estas concentraciones exceden los límites máximos permisibles de la norma NTE INEN 1108, cuyos valores para la alcalinidad y dureza no deben sobrepasar los 500 mg CaCO<sub>3</sub>/ml y para sulfatos los 200 mg/l.

#### **Figura 4**

*Recolección de muestras para análisis*



*Nota.* Esta figura muestra la recolección de muestras para el análisis de laboratorio.

Adicionalmente, se realizó un diagnóstico in situ sobre el estado de las cajas de manantial para determinar si en este punto se produce algún tipo de contaminación del agua. Descartándose esta posibilidad debido a que las instalaciones se encuentran en buenas condiciones y con las seguridades que permiten mantener la calidad del mismo.



## Figura 5

### *Estado de las cajas de manantial*



*Nota.* Esta figura muestra el estado físico de las cajas de manantial.

### **Determinación experimental del caudal de las vertientes**

Para determinar experimentalmente el caudal de las vertientes de San Agustín 1 y 2 y San Agustín Leandro, se utilizó recipientes de 1 y 10 litros, y un cronómetro para determinar el caudal. Encontrándose los siguientes valores (Tablas 11, 12 y 13)

#### **Tabla 11**

*Datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín 1*

<b>Volumen (l)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Promedio Tiempo (s)</b>
1	0,51	
1	0,46	
1	0,65	
1	0,71	
1	0,65	
1	0,69	0,615s
1	0,61	
1	0,59	
1	0,69	
1	0,59	

*Nota.* Esta tabla muestra los datos del proceso experimental para la determinación del caudal de San Agustín 1.

Por lo tanto, el caudal de San Agustín 1 es:

$$Q_{S1} = \frac{1 \text{ l}}{0,615 \text{ s}}$$

$$Q_{S1} = 1,62 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

**Tabla 12**

Datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín 2

Volumen (l)	Tiempo (s)	Promedio Tiempo (s)
1	0,82	
1	0,55	
1	0,55	
1	0,48	
1	0,53	
1	0,63	0,62
1	0,64	
1	0,48	
1	0,86	
1	0,89	

*Nota.* Esta tabla muestra los datos del proceso experimental para la determinación del caudal de San Agustín 2.

Por lo tanto, el caudal de San Agustín 2 es:

$$Q_{S2} = \frac{1 \text{ l}}{0,62 \text{ s}}$$

$$Q_{S2} = 1,61 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

**Tabla 13**

*Datos de volumen y tiempo para cálculo de caudal de San Agustín Leandro*

<b>Volumen (l)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Promedio Tiempo (s)</b>
10	1,67	
10	1,29	
10	1,29	
10	1,31	
10	1,32	
10	1,20	0,62
10	1,25	
10	1,11	
10	1,05	
10	1,12	

*Nota.* Esta tabla muestra los datos del proceso experimental para la determinación del caudal de San Agustín Leandro.

Por lo tanto, el caudal de San Agustín Leandro es:

$$Q_{s2} = \frac{10 \text{ l}}{1,26 \text{ s}}$$

$$Q_{s2} = 7,93 \frac{\text{l}}{\text{s}}$$

### **Experimentación del Tratamiento por Filtración**

La filtración se convierte en un tipo de tratamiento que no conlleva una alta inversión durante su operación y mantenimiento. Es un proceso simple en el que se filtran los contaminantes a través de los poros que la arena y zeolita poseen.

Para la experimentación se construyó un filtro pequeño, que representa una sección transversal del filtro a escala real. A través del cual se realizó el tratamiento del agua con la utilización de lechos filtrantes como arena y zeolita. Y posteriormente el análisis de laboratorio de los parámetros fuera del límite permisible.

A continuación, se detallan las etapas de la experimentación

### ***Construcción del Filtro Experimental***

Los materiales que se utilizaron para la construcción del filtro experimental son:

- Una tubería PVC de 200mm de diámetro
- Un tapón de tubería con orificios filtrantes
- Un recipiente cilíndrico para la recolección de agua (recipiente de pintura)
- Pegamento para PVC.

Para su construcción se cortó la tubería PVC con un largo de 1,95m, que representa la altura del filtro a escala real. Posteriormente, en la base de la tubería se ubicó el tapón de tubería con orificios filtrantes. Finalmente, la tubería se colocó encima del recipiente cilíndrico para la recolección de agua, sujetándose ambas con la ayuda de una solución de pegamento PVC de secado inmediato.

El resultado de la construcción se muestra en la Figura 6:

### **Figura 6**

*Filtro experimental*



*Nota.* Esta figura muestra el filtro experimental diseñado para el proceso de filtración.

### ***Tratamiento de Agua con Arena, Zeolita y Resina Catiónica***

Para el tratamiento del agua de manantial se utilizó como materiales filtrantes arena, zeolita y resina catiónica. La experimentación se realizó utilizando individualmente cada material filtrante mediante el siguiente proceso

1. En la base del equipo experimental se colocó grava con una altura de 0,25m.
2. A continuación se ubicó el lecho filtrante (arena, zeolita o resina catiónica) con una altura de 0,80 m.
3. Manteniendo una altura de 0,80 m se fue colando agua con una ayuda de un recipiente.
4. Finalmente, a medida que se iba produciendo el proceso de filtración se realizó la recolección de muestras cada 15 minutos obteniéndose en total 5 muestras por cada lecho filtrante.

Evidencia de lo producido se lo puede observar en las figuras 7, 8 y 9.

#### **Figura 7**

*Tratamiento in situ con arena*



*Nota.* Esta figura muestra el proceso de tratamiento con arena in situ.

**Figura 8**

*Tratamiento in situ con zeolita*



*Nota.* Esta figura muestra el proceso de tratamiento con zeolita in situ.

**Figura 9**

*Tratamiento in situ con resina catiónica*



*Nota.* Esta figura muestra el proceso de tratamiento con resina catiónica in situ.

***Análisis de Laboratorio de las Muestras Tratadas con Arena, Zeolita y Resina Catiónica***

Una vez realizado el tratamiento in situ, de manera inmediata se entregó al laboratorio de la Junta Administradora de Agua Potable y Alcantarillado Regional Yanahurco, cuyo laboratorio monitorea la calidad del agua de consumo de Salache;

para el análisis físico químico, obteniéndose los datos de las Tablas 14, 15 y 16 de los parámetros de alcalinidad, dureza y sulfatos, donde M significa muestra, PROM es promedio y LMP es el límite máximo permisible.

**Tabla 14**

*Análisis de laboratorio con tratamiento de arena*

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	270	330	330	340	340	322	<500
Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /L	290	240	220	222	225	239,4	500
Sulfatos	mg/L	230	280	290	310	315	285	200

*Nota.* Esta tabla muestra el resultado de los análisis del tratamiento con arena.

De la Tabla 14 (Anexo B), se puede analizar que los parámetros de alcalinidad y dureza se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible (LMP) y lo sulfatos superan el mismo.

**Tabla 15**

*Análisis de laboratorio con tratamiento de zeolita*

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	250	250	280	280	280	268	<500
Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /L	240	257	274	257	257	257	500
Sulfatos	mg/L	290	310	350	328	320	319,6	200

*Nota.* Esta tabla muestra el resultado de los análisis del tratamiento con arena.

En la Tabla 15 (Anexo C), los parámetros de alcalinidad y dureza se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible (LMP) y lo sulfatos superan el mismo.

**Tabla 16**

*Análisis de laboratorio con tratamiento de resina catiónica*

PARÁMETRO	UNIDAD	M1	M2	M3	M4	M5	PROM	LMP
Alcalinidad	mgCaCO <sub>3</sub> /L	150	150	148	200	198	169,2	<500
Dureza	mgCaCO <sub>3</sub> /L	125	125	120	180	180	146	500
Sulfatos	mg/L	101	98	98	120	120	107,4	200

*Nota.* Esta tabla muestra el resultado de los análisis del tratamiento con arena.

De la Tabla 16 (Anexo D), se puede concluir que los parámetros de alcalinidad, dureza y sulfatos se encuentran dentro del Límite Máximo Permisible (LPM).

### **Análisis de Resultados**

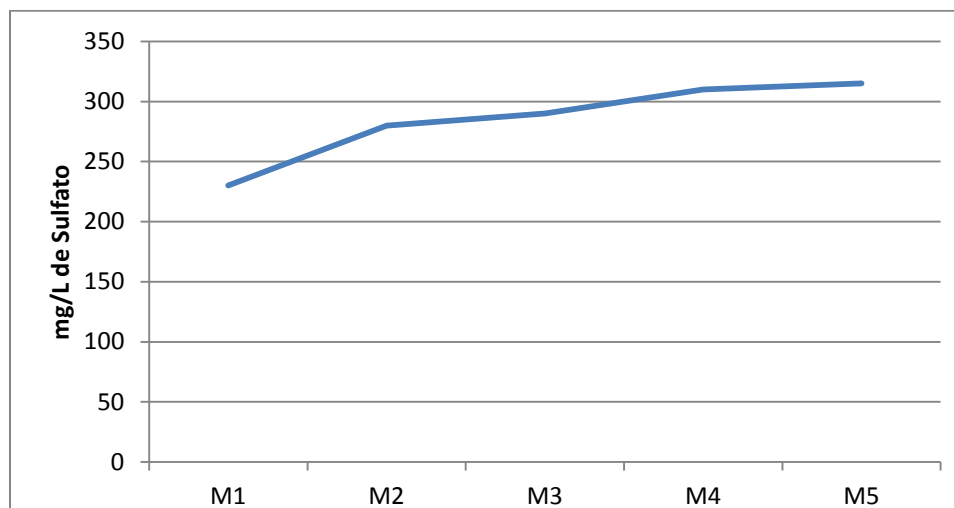
Los resultados de laboratorio reflejan que tanto el tratamiento con arena y zeolita reducen la carga de alcalinidad y dureza hasta por debajo del límite máximo permisible, pero no es el caso para los sulfatos donde permanece fuera del límite permisible. En cambio, el tratamiento con resina catiónica resulta ideal para el tratamiento, al reducir considerablemente las cargas de alcalinidad, dureza y sulfatos conservándolos bajo el límite permisible.

Al realizar los análisis del parámetro de Sulfato en gráficas estadísticas, a partir de los resultados de las muestras tanto del tratamiento con arena y zeolita, se encuentra que para el caso de la arena existe un incremento en el tiempo de la carga de sulfatos esto debido a la pobre retención en los poros del mismo. Y para el caso de la zeolita a pesar de existir un incremento en las tres primeras muestras, los últimos resultados reflejan que la carga de sulfatos empieza disminuir, por lo que se espera que en el transcurso del tiempo se retenga aún más carga de Sulfato hasta obtener valores cercanos al límite máximo permisible.



**Figura 10**

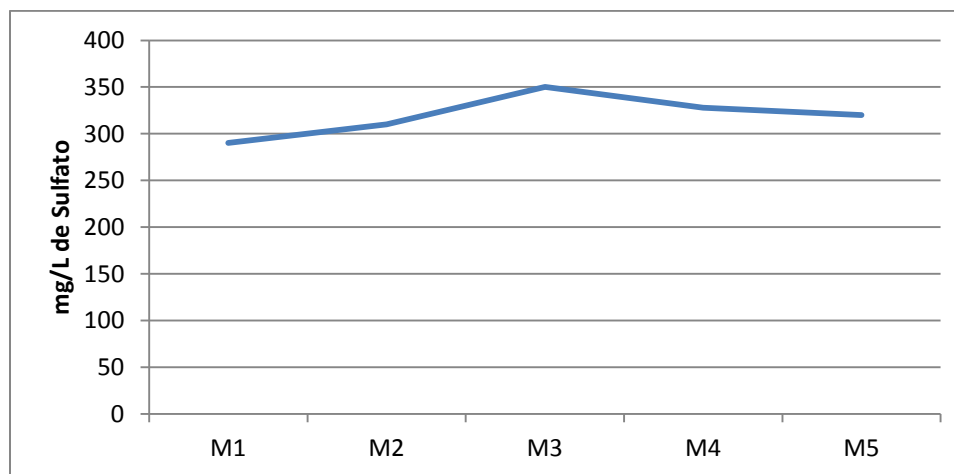
Análisis por muestra del parámetro sulfato en el tratamiento con arena



*Nota.* Esta figura muestra el análisis de sulfato en el tratamiento de arena.

**Figura 11**

*Análisis por muestra del parámetro sulfato en el tratamiento con zeolita*



*Nota.* Esta figura muestra el análisis de sulfato en el tratamiento de arena.

Por lo tanto, al existir el descenso del parámetro sulfato en el tratamiento con zeolita, se decidió repetir el tratamiento en el lecho filtrante citado, pero con una toma de muestra luego de 4 semanas con flujo de agua constante.

**Figura 12**

*Tratamiento con zeolita durante 4 semanas*



*Nota.* Esta figura muestra el tratamiento con zeolita durante 4 semanas.

**Resultados del Tratamiento**

Luego del proceso de filtración con zeolita y flujo de agua constante durante 4 semanas, se evidenció un notable descenso de la carga de sulfatos en el agua, es decir, de un valor de 450 mg/l que contiene el agua sin tratar bajó a 212 mg/l (ANEXO E), aproximándose al valor del límite máximo permisible.

Si bien es cierto que la norma INEN 1108 sobre agua potable establece como límite máximo 200mg/l y que el valor luego del tratamiento es de 212 mg/l, se puede establecer que el tratamiento con zeolita es bueno para tratar el agua de consumo de Salache, puesto que el valor es aproximado al límite permisible, es la propuesta de tratamiento económica durante su operación y según Raymond, L. (2002), el límite permisible puede no superar los 250mg/l para no producir efectos en la salud. Además, cabe señalar que a la última revisión de la norma INEN 1108 cuya fecha corresponde a

abril de 2020, el parámetro de sulfato se elimina, por lo que el procedimiento sería aceptado por la autoridad de control.

Por lo tanto, el proceso de tratamiento para el agua de consumo de Salache es mediante un proceso de filtración con zeolita.

## Capítulo IV

### Diseño

Para el diseño de la planta de agua potable para la comunidad de Salache se calculó la población futura a 20 años, para luego determinar el consumo diario de agua por persona, consumo diario de la comunidad, caudal de captación, cálculo del caudal de tratamiento y el dimensionamiento de las fases de tratamiento.

#### Cálculo de la Población Futura

En el caso de Salache por datos obtenidos en los registros sanitarios se conoce que, en el año 2019, la población es de 3250 habitantes (Anexo F) y al no poseer datos poblacionales de anteriores años se consideró una tasa de crecimiento poblacional de 1,01% (Tabla 3).

Estas consideraciones permiten utilizar la siguiente ecuación:

$$a_n = a_1 * r^{n-1}$$

Dónde:

$a_n$  = Valor del término a calcular

$a_1$  = Valor del primer término

$r$  = Razón

$n$  = Número de progresiones

Por lo tanto, la población futura de la población de Salache es:

$$a_{20} = 3250 * 1,01^{20-1}$$

$$a_{20} = 3250 * 1,01^{19}$$

$$a_{20} = 3926,35 \approx 3926 \text{ habitantes}$$

### Determinación del Consumo Diario de Agua por Persona

Debido a que las conexiones domiciliarias poseen en su gran mayoría un grifo por casa y poseen letrinas con o sin arrastre de agua, se determinó que el nivel del servicio para sistemas de agua potable es IIA (Tabla 4) de acuerdo a la norma CPE INEN 005 sobre el código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable.

Además, se consideró las dotaciones de agua para los diferentes niveles de servicio en condiciones de clima frío (Salache se encuentra a una temperatura media anual de 11°C) establecidos en la Tabla 5 (Norma CPE INEN 005). Estableciéndose como dato de cálculo que el consumo diario por persona será de: 60 litros de agua por habitante-día.

### Cálculo del Consumo Diario de la Comunidad

Para el cálculo del consumo diario de agua para la comunidad de Salache se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_D = N_H * C_{DH}$$

Dónde:

$C_D$  = Consumo diario de agua en la comunidad  $\left(\frac{l}{día}\right)$

$N_H$  = Número de habitantes de la comunidad

$C_{DH}$  = Consumo Diario de Agua por Persona  $\left(\frac{l}{hab*día}\right)$

Por lo tanto, con el valor determinado de  $C_{DH}$  (Consumo Diario de Agua por Persona) en el ítem 4.3, la comunidad de Salache tiene un consumo diario en la comunidad de:

$$C_D = 3926 \text{ hab.} * 60 \frac{l}{\text{hab} * \text{día}}$$

$$C_D = 235560 \frac{l}{día}$$

$$C_D = 2,73 \frac{l}{s}$$

### Cálculo del Caudal de Captación

Para el cálculo del caudal de captación se utilizó la siguiente ecuación:

$$Q_{Captación} = 1,05 * C_D$$

Dónde:

$Q_{Captación}$  = Caudal de captación  $\left(\frac{l}{s}\right)$

$C_D$  = Consumo diario de agua en la comunidad  $\left(\frac{l}{s}\right)$

Por lo tanto, el caudal de captación para la comunidad de Salache es de:

$$Q_{Captación} = 1,05 * 2,73 \frac{l}{s}$$

$$Q_{Captación} = 2,86 \frac{l}{s}$$

### Cálculo del Caudal de Tratamiento

Para el cálculo del caudal de tratamiento se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q_{Tratamiento} = 1,10 * C_D$$

Dónde:

$Q_{Tratamiento}$  = Caudal de tratamiento  $\left(\frac{l}{s}\right)$

$C_D$  = Consumo diario de agua en la comunidad  $\left(\frac{l}{s}\right)$

Por lo tanto, el caudal de tratamiento para Salache es de:

$$Q_{Tratamiento} = 1,10 * 2,73 \frac{l}{s}$$

$$Q_{Tratamiento} = 3,00 \frac{l}{s}$$

## Dimensionamiento del Tanque de Regulación

### *Cálculo del Volumen del Tanque de Regulación*

Para el cálculo del volumen del tanque de regulación se determinó en primer lugar el volumen por segundo del agua captada de las vertientes de Agustín Leandro, San Agustín 1 y San Agustín 2.

- San Agustín Leandro

$$V_{SL} = Q_{SL} * t$$

Dónde:

$V_{SL}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín Leandro ( $m^3$ )

$Q_{SL}$  = Caudal de agua de la vertiente de San Agustín Leandro ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo (s)

Por lo tanto, el volumen de agua de la vertiente de San Agustín Leandra es:

$$V_{SL} = 0,00793 \frac{m^3}{s} * 1s$$

$$V_{SL} = 0,00793 m^3$$

- San Agustín 1

$$V_{S1} = Q_{S1} * t$$

Dónde:

$V_{S1}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 1 ( $m^3$ )

$Q_{S1}$  = Caudal de agua de la vertiente de San Agustín 1 ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo (s)

Por lo tanto, el volumen de agua de la vertiente de San Agustín 1 es:

$$V_{S1} = 0,00162 \frac{m^3}{s} * 1s$$

$$V_{S1} = 0,00162 m^3$$

- San Agustín 2

$$V_{S2} = Q_{S2} * t$$

Dónde:

$V_{S2}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 2 ( $m^3$ )

$Q_{S2}$  = Caudal de agua de la vertiente de San Agustín 2 ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo (s)

Por lo tanto, el volumen de agua de la vertiente de San Agustín 2 es:

$$V_{S2} = 0,00161 \frac{m^3}{s} * 1s$$

$$V_{S2} = 0,00161 m^3$$

En consecuencia, el volumen total de entrada al tanque de regulación es la sumatoria de los volúmenes de las vertientes de San Agustín Leandro, San Agustín 1 y San Agustín 2.

$$V_{TE} = V_{SA} + V_{S1} + V_{S2}$$

Dónde:

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación ( $m^3$ )

$V_{SA}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín Leandro ( $m^3$ )

$V_{S1}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 1 ( $m^3$ )

$V_{S2}$  = Volumen de agua de la vertiente de San Agustín 2 ( $m^3$ )

Por lo tanto, el volumen total de entrada al tanque de regulación es:

$$V_{TE} = 0,00793 m^3 + 0,00162 m^3 + 0,00161 m^3$$

$$V_{TE} = 0,0112 m^3$$



Pero, como el volumen de agua que se necesita tratar es 3 litros equivalentes a  $0,003 \text{ m}^3$  por cada segundo, inferior al volumen total de entrada al tanque, esto generará una sobre carga acumulada, la cual se calculó con la siguiente ecuación:

$$V_{SA} = V_{TE} - V_{ET}$$

Dónde:

$V_{SA}$  = Volumen de sobre carga acumulada ( $\text{m}^3$ )

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{ET}$  = Volumen de entrada al tratamiento ( $\text{m}^3$ )

Por lo tanto, el volumen de sobre carga acumulada es:

$$V_{SA} = 0,0112 \text{ m}^3 - 0,003 \text{ m}^3$$

$$V_{SA} = 0,0082 \text{ m}^3$$

Finalmente, para el volumen del tanque de regulación se aplicó la siguiente ecuación:

$$V_{Tanque} = V_{TE} + V_{SA}$$

Dónde:

$V_{Tanque}$  = Volumen del tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{TE}$  = Volumen total de entrada al tanque de regulación ( $\text{m}^3$ )

$V_{SA}$  = Volumen de sobre carga acumulada ( $\text{m}^3$ )

Por lo tanto, el volumen del tanque de regulación de entrada de agua es:

$$V_{Tanque} = 0,0112 \text{ m}^3 + 0,0082 \text{ m}^3$$

$$V_{Tanque} = 0,0194 \text{ m}^3$$

### ***Cálculo de las Dimensiones del Tanque de Regulación***

Para el cálculo de las dimensiones del tanque de regulación, se consideró un tanque de base cuadrada de medidas  $0,30 \text{ m.}$ , de largo y  $0,30 \text{ m.}$ , de ancho. La altura

del tanque se determinó mediante la siguiente ecuación con un factor de seguridad del 30%:

$$H_{Tanque} = \frac{V_{Tanque}}{l * a} * f_s$$

Dónde:

$H_{Tanque}$  = Altura del tanque de regulación (m)

$V_{Tanque}$  = Volumen del tanque de regulación (m<sup>3</sup>)

$l$  = Largo del tanque de regulación (m)

$a$  = Ancho del tanque de regulación (m)

$f_s$  = Factor de seguridad

Por lo tanto, la altura del tanque de regulación de entrada de agua al tratamiento es:

$$H_{Tanque} = \frac{0,0194 \text{ m}^3}{0,30 \text{ m} * 0,30 \text{ m}} * 1,30$$

$$H_{Tanque} = 0,28 \text{ m}$$

## Dimensionamiento del Filtro Lento

### ***Cálculo del Área Superficial de Filtración***

Para calcular el área superficial de filtración se utilizó la siguiente ecuación:

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

Dónde:

$A$  = Área superficial de filtración (m<sup>2</sup>)

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

$v_f$  = Velocidad de filtración (m/h) (Criterio de Diseño - Tabla 7)

Por lo tanto, el área superficial de filtración es:

$$A = \frac{10,8 \frac{m^3}{h}}{0,3 \frac{m}{h}}$$

$$A = 36 m^2$$

### **Cálculo del Número de Módulos de Filtración**

El número de módulos de filtración se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$n = (0,5) \sqrt[3]{A}$$

Dónde:

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$A$  = Área superficial de filtración ( $m^2$ )

Por lo tanto, el número de módulos de filtración es:

$$n = (0,5) \sqrt[3]{36}$$

$$n = 1,65 \approx 2 \text{ módulos de filtración}$$

### **Cálculo de la Longitud de la Pared Común por Unidad**

Para el cálculo de la longitud de la pared común por unidad se aplicó la siguiente ecuación:

$$a = \left( \frac{2A}{n+1} \right)^{0,5}$$

Dónde:

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$A$  = Área superficial de filtración ( $m^2$ )

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

Por lo tanto, la longitud de la pared común por unidad es:

$$a = \left( \frac{2 * 36m^2}{2 + 1} \right)^{0,5}$$

$$a = \left( \frac{72m^2}{3} \right)^{0,5}$$

$$a = (24m^2)^{0,5}$$

$$a = 4,90 m$$

### ***Cálculo del Ancho de la Pared de las Unidades***

Para el cálculo del ancho de la pared de las unidades se utilizó la siguiente ecuación:

$$b = \frac{(n + 1) a}{2n}$$

Dónde:

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$n$  = Número total de unidades rectangulares operando en paralelo

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

Por lo tanto, el cálculo del ancho de la pared de las unidades es:

$$b = \frac{(2 + 1) * 4,90m}{2 * 2}$$

$$b = \frac{(3) * 4,90m}{4}$$

$$b = \frac{14,7 m}{4}$$

$$b = 3,68 m$$

### **Cálculo del Caudal Total de Lavado**

Para determinar el caudal total de lavado se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q = v * a * b$$

Dónde:

$Q$  = Caudal total de lavado ( $m^3/h$ )

$v$  = Velocidad de lavado ( $m/h$ ) (Criterio de Diseño - Tabla 7)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad ( $m$ )

Por lo tanto, el caudal total de lavado es:

$$Q = 0,3 \frac{m}{h} * 7,36 m * 4,90 m$$

$$Q = 10,82 \frac{m^3}{h} = 3 \frac{l}{s}$$

### **Cálculo del Diámetro de la Tubería a la Entrada del Filtro Lento**

Para el cálculo del diámetro de la tubería a la entrada del filtro lento se aplicó la siguiente ecuación:

$$D_{TE} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_e}}$$

Dónde:

$D_{TE}$  = Diámetro de la tubería a la entrada del filtro lento ( $m$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$v_e$  = Velocidad a la entrada de la tubería ( $m/h$ ) (Criterio de Diseño - Tabla 8)

Por lo tanto, el diámetro de la tubería a la entrada del filtro lento es:

$$D_{TE} = \sqrt{\frac{4 * 0,003 \frac{m^3}{s}}{\pi * 1,6 \frac{m}{s}}}$$

$$D_{TE} = \sqrt{\frac{0,012 \frac{m^3}{h}}{5,026 \frac{m}{h}}}$$

$$D_{TE} = \sqrt{0,002m^2}$$

$$D_{TE} = 0,048 m$$

### ***Cálculo del Diámetro de la Tubería a la Salida del Filtro Lento***

Para el cálculo del diámetro de la tubería a la entrada del filtro lento se aplicó la siguiente ecuación:

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v_s}}$$

Dónde:

$D_{TS}$  = Diámetro de la tubería a la salida del filtro lento

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/h$ )

$v_s$  = Velocidad a la salida de la tubería ( $m/h$ ) (Criterio de Diseño - Tabla 8)

Por lo tanto, el diámetro de la tubería a la salida del filtro lento es:

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{4 * 0,003 \frac{m^3}{s}}{\pi * 0,6 \frac{m}{s}}}$$

$$D_{TS} = \sqrt{\frac{0,012 \frac{m^3}{h}}{1,885 \frac{m}{h}}}$$

$$D_{TS} = \sqrt{0,006m^2}$$

$$D_{TS} = 0,079 m$$

### **Cálculo de la Altura del Filtro Lento**

Para determinar la altura del filtro lento se utilizó los criterios de diseño establecidos en la Tabla 8, los cuales se aplicaron en la siguiente ecuación:

$$H_F = H_S + H_{LF} + H_{AS} + H_{BL}$$

Dónde:

$H_F$  = Altura del filtro lento (m)

$H_S$  = Altura del lecho de soporte incluido el drenaje (m)

$H_{LF}$  = Altura del lecho filtrante (m)

$H_{AS}$  = Altura de agua sobrenadante (m)

$H_{BL}$  = Altura del borde libre (m)

Por lo tanto, la altura del filtro lento es:

$$H_F = 0,25 \text{ m} + 0,8 \text{ m} + 0,8 \text{ m} + 0,1$$

$$H_F = 1,95 \text{ m}$$

### **Dimensionamiento del Sistema de Drenaje del Filtro Lento**

#### ***Determinación del Número de Colectores Principales y Secundarios***

Para determinar el número de colectores principales se consideró que al existir dos módulos de filtración se necesita dos colectores principales de 4,90 m.

Para establecer el número de colectores secundarios se consideró el criterio de diseño para Sistemas de drenaje de Filtración Lenta (Tabla 9) en el que espaciamiento entre laterales debe tener un rango de 0.5m a 1.0m. Para una unidad de filtración de 4,90 m de largo, se pueden instalar 14 colectores en los dos módulos de filtración, cuyo espaciamiento entre colectores laterales de 0,61m cumpliendo con el rango del criterio de diseño.

### ***Cálculo del Caudal por Colector Lateral***

Para el cálculo del caudal por colector lateral se aplicó la siguiente ecuación:

$$Q_L = \frac{Q}{N_{CL}}$$

Dónde:

$Q_L$  = Caudal por colector lateral (l/s)

$Q$  = Caudal total de lavado (l/s)

$N_{CL}$  = Número de colectores laterales

Por lo tanto, el caudal por colector lateral es:

$$Q_L = \frac{3 \frac{l}{s}}{14}$$

$$Q_L = 0,21 \frac{l}{s}$$

### ***Cálculo del Área del Lecho Filtrante***

Para calcular el área del lecho filtrante se aplicó la siguiente ecuación:

$$A_L = a * b$$

Dónde:

$A_L$  = Área del lecho filtrante (m<sup>2</sup>)

$a$  = Longitud de la pared común por unidad (m)

$b$  = Ancho de la pared de las unidades (m)

Por lo tanto, el área del lecho filtrante es:

$$A_L = 7,36 \text{ m} * 4,90 \text{ m}$$

$$A_L = 36,06 \text{ m}^2$$



### **Cálculo del Área del Orificio**

Para determinar el área del orificio se utilizó la siguiente ecuación:

$$A_o = \pi \frac{d_o^2}{4}$$

Dónde:

$A_o$  = Área del orificio ( $m^2$ )

$d_o$  = Diámetro de los orificios (m)

Por lo tanto, para un diámetro de orificios de 9,5 mm (Tabla 9), el área del orificio es:

$$A_o = \pi \frac{(9,5 \times 10^{-3} m)^2}{4}$$

$$A_o = 7,085 \times 10^{-5} m^2$$

### **Cálculo del Número de Orificios por Colector Lateral**

Para calcular el número de orificios por colector lateral se aplicó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{R_o * A_L}{A_o}$$

Dónde:

$n$  = Número de orificios

$R_o$  = Relación de colector

$A_L$  = Área del lecho filtrante ( $m^2$ )

$A_o$  = Área del orificio ( $m^2$ )

Por lo tanto, para una relación de colector  $R_o$  (Tabla 9)

$$n = \frac{0,00015 * 36,06 m^2}{7,085 \times 10^{-5}}$$

$$n = 76,34 \approx 77 \text{ orificios}$$

### ***Cálculo del diámetro del colector lateral***

Para determinar el cálculo del diámetro del colector lateral se aplicó la siguiente ecuación:

$$d_L = (2n)^{\frac{1}{2}} d_o$$

Dónde:

$d_L$  = Diámetro del colector lateral (mm)

$n$  = Número de orificios

$d_o$  = Diámetro de los orificios (mm)

Por lo tanto, para diámetros de orificios de 9,5mm, el diámetro del colector lateral es:

$$d_L = (2 * 77)^{\frac{1}{2}} 9,5 \text{ mm}$$

$$d_L = 117,9 \text{ mm}$$

### ***Cálculo del diámetro del colector principal***

Para calcular el diámetro del colector principal se aplicó la siguiente ecuación:

$$d_P = \sqrt{2n} d_L$$

Dónde:

$d_P$  = Diámetro del colector principal (mm)

$n$  = Número de orificios

$d_L$  = Diámetro del colector lateral (mm)

Por lo tanto, el diámetro del colector principal es:

$$d_P = \sqrt{2 * 77} * 117,9 \text{ mm}$$

$$d_P = 1463,1 \text{ mm}$$

## Dimensionamiento del Sistema de Desinfección

### **Cálculo del Peso del Cloro**

Para determinar el peso del cloro que se necesita para el tratamiento se utilizó la siguiente ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{D * T * Q}{1000}$$

Dónde:

$P_{Cl}$  = Peso del cloro que se necesita para el tratamiento (Kg/día)

$D$  = Dosis del cloro necesario para el tratamiento (mg/l)

$T$  = Tiempo de almacenamiento de la solución de cloro (s)

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

Por lo tanto, para dosis de cloro de 0,3 mg/l para aguas claras (Tabla 10) y un tiempo de almacenamiento de la solución de 24 horas, el peso del cloro que se necesita para el tratamiento es:

$$P_{Cl} = \frac{0,3 * 86400 * 0,003}{1000}$$

$$P_{Cl} = 0,078 \frac{kg}{día}$$

### **Cálculo del Volumen del Clorador**

Para calcular el volumen del clorador se aplicó la siguiente ecuación:

$$V_{Cl} = \frac{P_{Cl}}{5 C}$$

Dónde:

$V_{Cl}$  = Volumen del clorador (m<sup>3</sup>)

$P_{Cl}$  = Peso del cloro que se necesita para el tratamiento (Kg/día)

$C$  = Concentración de la solución (%)

Por lo tanto, para una concentración del 5% de hipoclorito de sodio equivalente a la concentración del cloro de uso doméstico, el volumen del clorador es de:

$$V_{Cl} = \frac{0,078}{5 (5)}$$

$$V_{Cl} = 0,00312 m^3 = 3,12 l$$

### ***Cálculo del Volumen del Tanque de Contacto entre el Agua y el Cloro***

Para determinar el volumen del tanque de contacto entre el agua y el cloro utilizó la siguiente ecuación:

$$V_{TC} = Q * t * F_s$$

Dónde:

$V_{TC}$  = Volumen del tanque de contacto entre el agua y el cloro ( $m^3$ )

$Q$  = Caudal de diseño ( $m^3/s$ )

$t$  = Tiempo de retención (s)

$F_s$  = Factor de seguridad

Por lo tanto, para un tiempo de retención de 30 minutos, tiempo necesario para que el cloro elimine completamente todos los microorganismos y con un factor de seguridad del 10%, el volumen del tanque de contacto es:

$$V_{TC} = 0,003 \frac{m^3}{s} * 1800 s * 1,1$$

$$V_{TC} = 5,94 m^3$$

### ***Cálculo de la Altura del Tanque de Contacto entre el Agua y el Cloro***

Para calcular la altura del tanque de contacto entre el agua y el cloro se aplicó la siguiente ecuación:

$$H_{TC} = \frac{V_{TC}}{A_{TC}}$$

Dónde:

$H_{TC}$  = Altura del tanque de contacto entre el agua y el cloro (m)

$V_{TC}$  = Volumen del tanque de contacto entre el agua y el cloro (m<sup>3</sup>)

$A_{TC}$  = Área del tanque de contacto entre el agua y el cloro (m<sup>2</sup>)

Para un tanque de base 2x2 metros el área será de 4m<sup>2</sup>. Entonces, la altura del tanque de contacto entre el agua y el cloro es:

$$H_{TC} = \frac{5,94 \text{ m}^3}{4 \text{ m}^2}$$

$$H_{TC} = 1,48 \text{ m}$$

## **Dimensionamiento del Tanque de Almacenamiento de Agua Potabilizada**

### ***Cálculo del Volumen del Tanque de Almacenamiento***

Para determinar el volumen del tanque de almacenamiento de agua potabilizada se utilizó la siguiente ecuación:

$$V_A = Q * T$$

Dónde:

$V_A$  = Volumen del tanque de almacenamiento (m<sup>3</sup>)

$Q$  = Caudal de salida del tanque de desinfección (m<sup>3</sup>/h)

$T$  = Tiempo en el que se prevea un posible corte del flujo normal de abastecimiento (h)

Por lo tanto, para un tiempo de 48 horas, tiempo en el cual se pueda cortar el flujo normal de abastecimiento por tareas de mantenimiento, limpieza u otros percances, el volumen del tanque de almacenamiento es:

$$V_A = 10,8 \frac{m^3}{h} * 48 h$$

$$V_A = 518,4 m^3$$

### ***Cálculo de la Altura del Tanque de Almacenamiento***

Para calcular la altura del tanque de almacenamiento de agua potabilizada se aplicó la siguiente ecuación:

$$H_A = \frac{V_A}{A_A}$$

Dónde:

$H_A$  = Altura del tanque de almacenamiento (m)

$V_A$  = Volumen del tanque de almacenamiento ( $m^3$ )

$A_A$  = Área del tanque de almacenamiento ( $m^2$ )

Para un tanque de base circular de 5 metros de radio el área será de  $78,54m^2$ .

Entonces, la altura del tanque de agua potabilizada es:

$$H_A = \frac{518,4 m^3}{78,54 m^2}$$

$$H_A = 6,60 m$$

### **Dimensionamiento de la Planta de Agua Potable**

#### ***Dimensiones del Tanque de Regulación***

Los resultados del dimensionamiento del tanque de regulación se presentan en la Tabla 17

**Tabla 17***Dimensiones del tanque de regulación*

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Largo	0,3	M
Ancho	0,3	M
Alto	0,28	M

*Nota.* Esta tabla muestra las dimensiones del tanque de regulación.

***Dimensiones del Filtro Lento***

Los resultados del dimensionamiento del filtro lento se presentan en la Tabla 18:

**Tabla 18***Dimensiones del filtro lento*

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Número de módulos de filtración	2	
Largo del módulo 1	4,90	M
Ancho del módulo 1	3,68	M
Largo del módulo 2	4,90	M
Ancho del módulo 2	3,68	M
Altura de los módulos de filtración	1,95	M
Diámetro de tubería a la entrada	0,048	M
Diámetro de tubería a la salida	0,079	M
Número de colectores principales del módulo 1	1	
Número de colectores laterales del módulo 1	7	
Número de colectores principales del módulo 2	1	
Número de colectores laterales del módulo 2	7	
Espaciamiento entre colectores laterales	0,61	M
Número de orificios por colector lateral	77	
Diámetro de tubería del colector principal	1463,1	Mm
Diámetro de tubería del colector lateral	117,9	Mm

*Nota.* Esta tabla muestra las dimensiones del filtro lento.

***Dimensiones del Sistema de Desinfección***

Los resultados del dimensionamiento del sistema de desinfección se presentan en la Tabla 19

**Tabla 19***Dimensiones del sistema de desinfección*

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Peso del cloro necesario	0,078	Kg/día
Volumen del clorador	3,12	L
Volumen del tanque de contacto	5,94	m <sup>3</sup>
Largo del tanque de contacto	2	M
Ancho del tanque de contacto	2	M
Altura del tanque de contacto	1,48	M

*Nota.* Esta tabla muestra las dimensiones del sistema de desinfección.

***Dimensiones del Tanque de Almacenamiento Final***

Los resultados del dimensionamiento del tanque de almacenamiento final se presentan en la Tabla 20:

**Tabla 20***Dimensiones del tanque de almacenamiento final*

<b>CRITERIO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDAD</b>
Volumen del tanque de almacenamiento	496,8	m <sup>3</sup>
Radio del tanque de almacenamiento	5	M
Altura del tanque de almacenamiento	6,32	M

*Nota.* Esta tabla muestra las dimensiones del tanque de almacenamiento final.



## Capítulo V

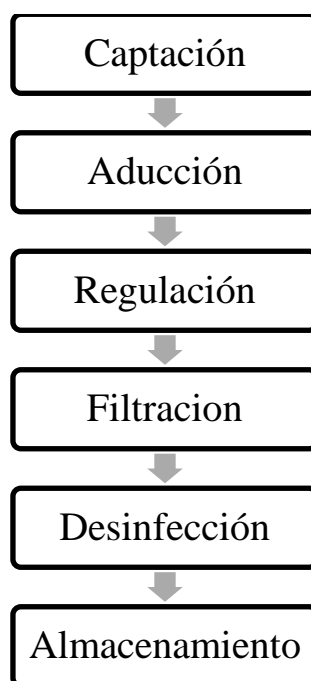
### Propuesta

#### Fases de la Potabilización del agua

Las fases para potabilizar el agua de consumo de la población de Salache se muestran en el siguiente diagrama:

#### Figura 13

*Fases para la potabilización del agua de consumo de salache*



*Nota.* Esta figura muestra las fases del proceso de potabilización.

Para la captación la Junta Administradora de agua de Salache cuenta con cajas de manantiales que recolectan agua de las vertientes de San Agustín 1, San Agustín 2 y Agustín Leandro. El cual es conducido a través de tuberías (aducción) a tanques de almacenamiento. La propuesta consiste en modificar los tanques de almacenamiento por un tanque de regulación, cuya función es regular el flujo de entrada al tratamiento. A continuación se producirá un proceso de tratamiento por filtración lenta a través de módulos utilizando zeolita como lecho filtrante. Consecuentemente, el agua tratada

continuará a un proceso de desinfección, a través del contacto continuo de hipoclorito de sodio con el agua en un tanque de contacto. Y finalmente el agua tratada pasará a un tanque de almacenamiento para la distribución a toda la comunidad de Salache.

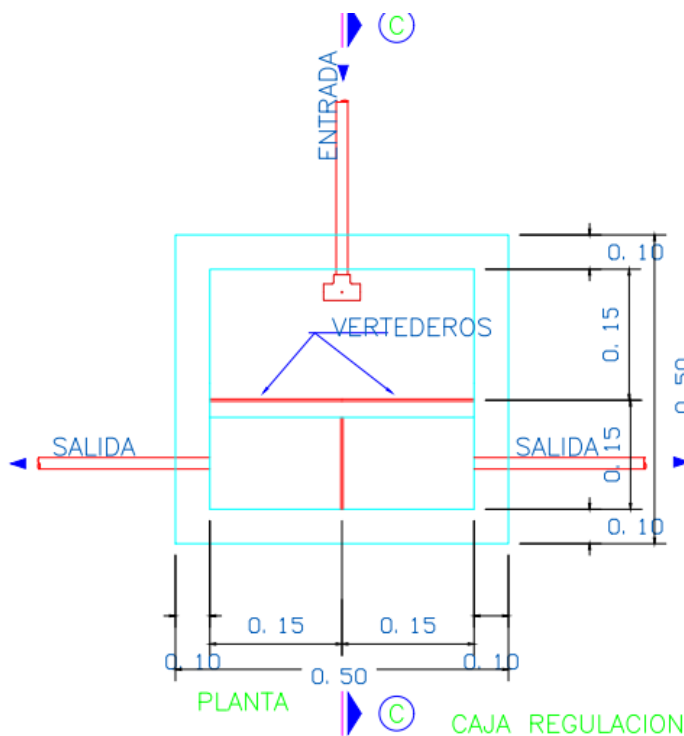
En los siguientes puntos se presentan los modelos del tanque de regulación, el filtro lento, el tanque de desinfección y el tanque de almacenamiento.

### Modelo del Tanque de Regulación

Los modelos para el tanque regulación en la vista superior y lateral se representan en las siguientes imágenes:

#### Figura 14

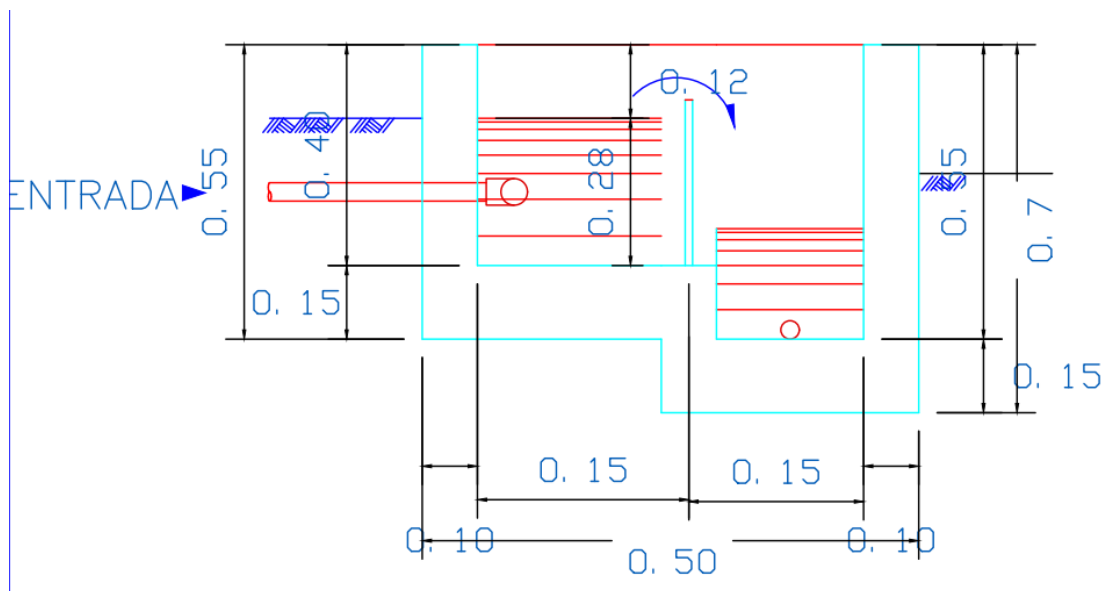
*Vista superior del tanque de regulación*



*Nota.* Esta figura muestra la vista superior del tanque de regulación.

**Figura 15**

*Vista lateral del tanque de regulación*



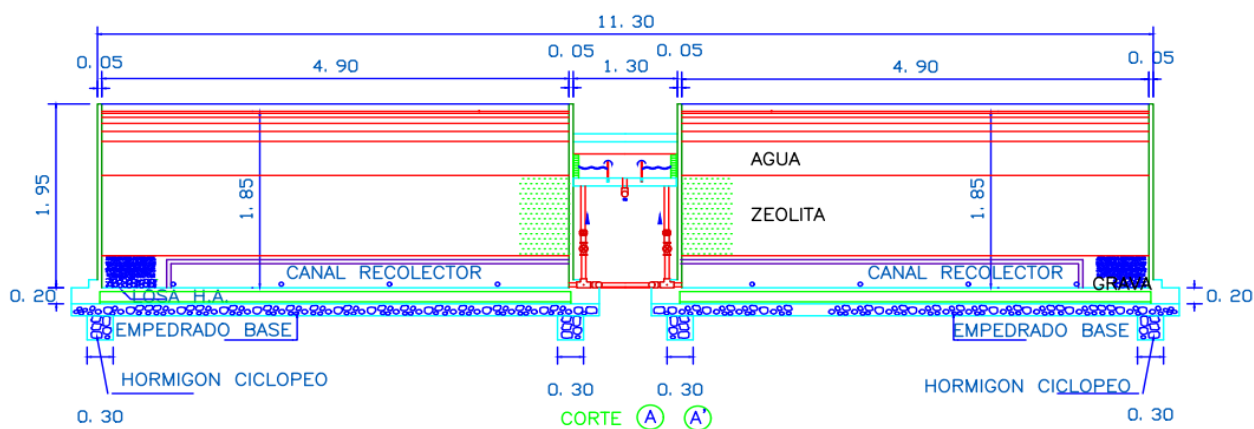
*Nota.* Esta figura muestra la vista lateral del tanque de regulación.

**Modelo del Filtro Lento de Zeolita**

Los modelos para el filtro lento de zeolita en la vista superior y lateral se representan en las siguientes imágenes:

**Figura 16**

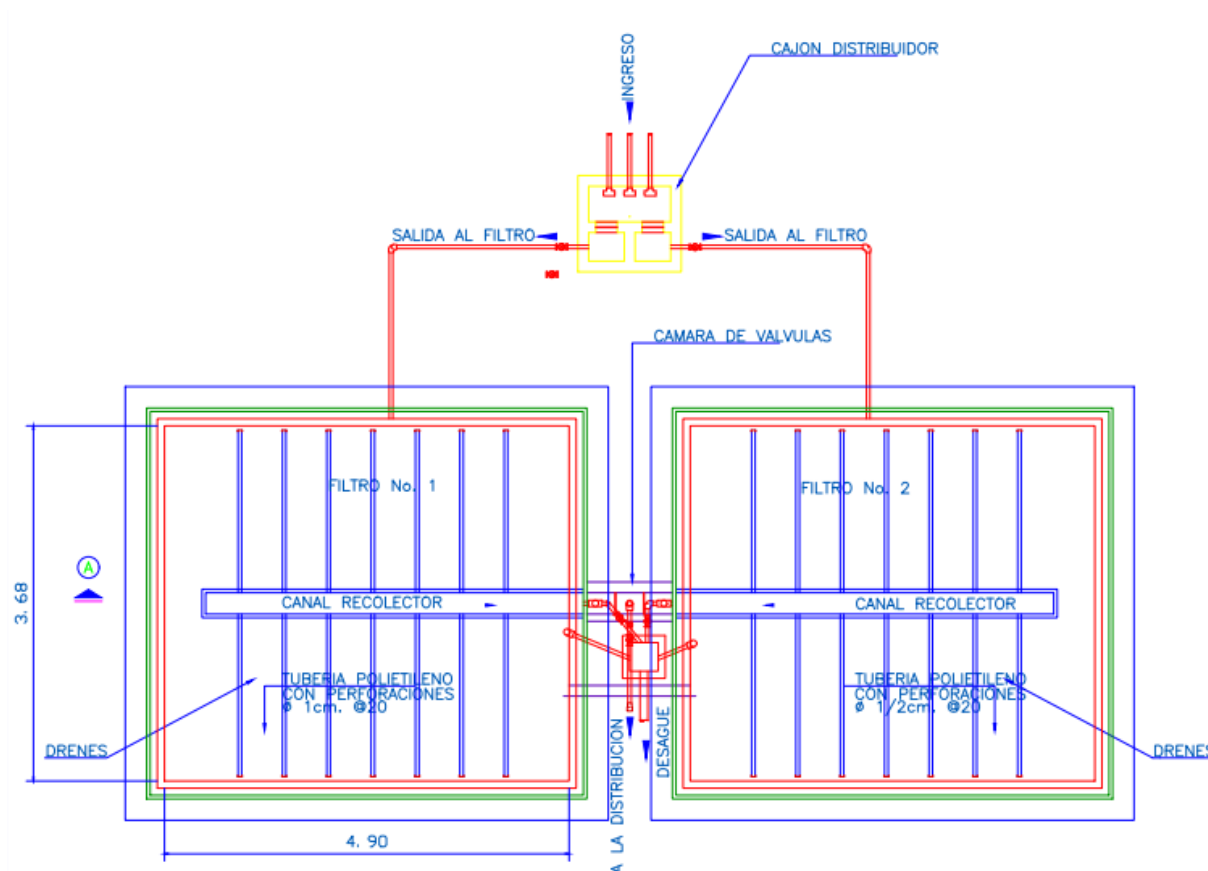
*Vista lateral del filtro lento de zeolita*



*Nota.* Esta figura muestra la vista lateral del filtro lento de zeolita.

**Figura 17**

*Vista superior del filtro lento de zeolita*



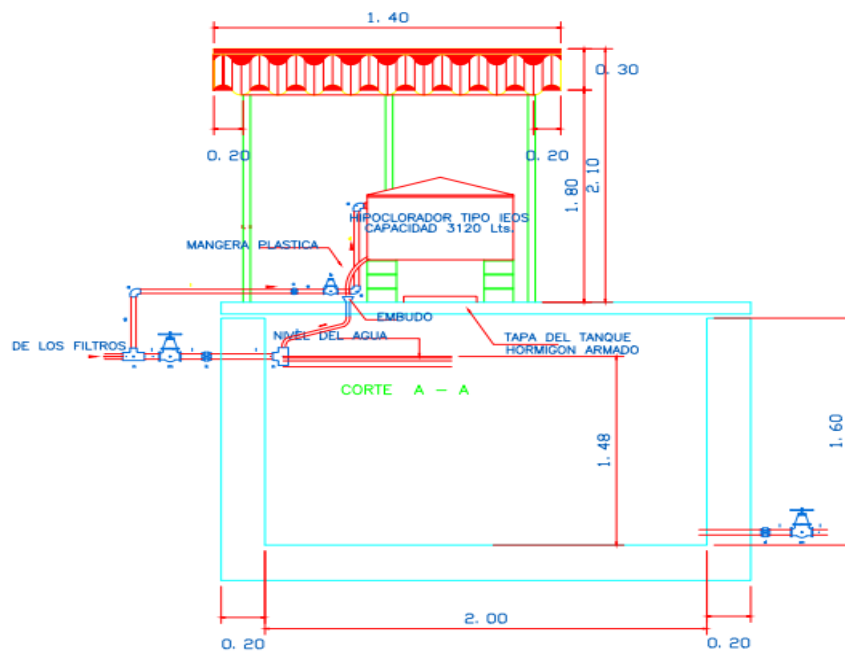
*Nota.* Esta figura muestra la vista superior del filtro lento de zeolita.

### **Modelo del Tanque de Desinfección y el Hipoclorador**

Los modelos para el tanque de desinfección y el hipoclorador en la vista superior y lateral se representan en las siguientes imágenes:

**Figura 18**

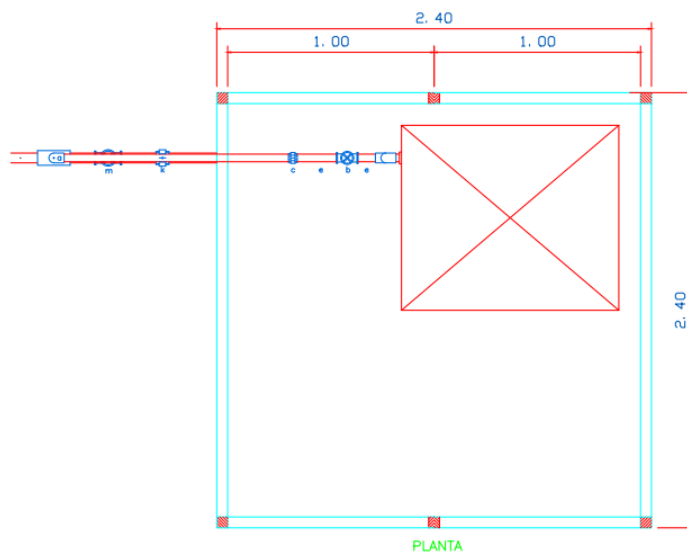
*Vista lateral del tanque de desinfección y el hipoclorador*



*Nota.* Esta figura muestra la vista lateral del sistema de desinfección.

**Figura 19**

*Vista superior del tanque de desinfección y el hipoclorador*



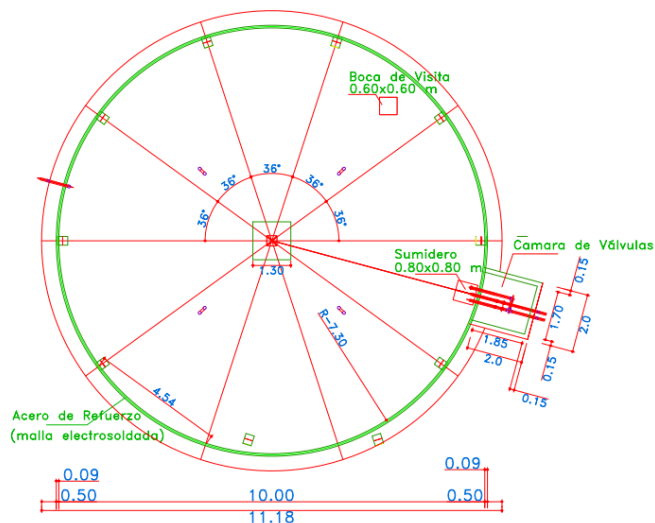
*Nota.* Esta figura muestra la vista superior del sistema de desinfección.

### Modelo del Tanque de almacenamiento

Los modelos para el tanque de almacenamiento en la vista superior y lateral se representan en las siguientes imágenes

**Figura 20**

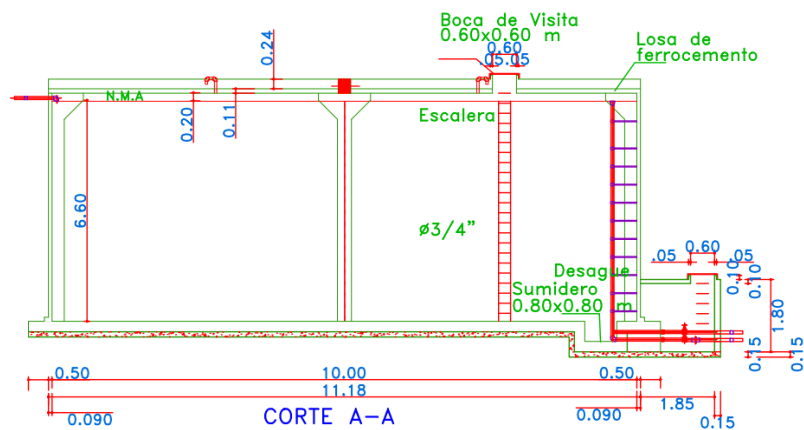
*Vista superior del tanque de almacenamiento*



*Nota.* Esta figura muestra la vista superior del tanque de almacenamiento.

**Figura 21**

*Vista lateral del tanque de almacenamiento*



*Nota.* Esta figura muestra la vista lateral del tanque de regulación.

### Costo de construcción de la planta potabilizadora

El costo estimado para la construcción de la planta potabilizadora es de \$91105,35. Para la estimación del mismo se toma en cuenta los costos por trabajos, materiales de construcción y costos por accesorios. (ANEXO G)

### Costos de operación de la planta potabilizadora

El costo para la operación de la planta potabilizadora por año es de \$9369,05 (Tabla 27). Para la estimación del mismo se ha determinado los costos por año de la zeolita, del hipocloruro de sodio y del operador, como se muestra en las Tablas 24, 25 y 26

#### Tabla 21

*Costo de la zeolita*

PRODUCTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Zeolita	28850 kg	1 Kg	\$0,16	\$4616

*Nota.* Esta tabla muestra el costo de la zeolita por año.

#### Tabla 22

*Costo del hipocloruro de sodio*

PRODUCTO	DOSIS	PRESENTACIÓN	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL
Hipocloruro de Sodio	28,47 kg/año	1 Kg	\$0,88	\$25,05

*Nota.* Esta tabla muestra el costo del hipocloruro de sodio por año.

#### Tabla 23

*Costo del operador*

N° DE OPERADORES	SALARIO MÍNIMO	SALARIO POR AÑO
------------------	----------------	-----------------

---

1	\$394	\$4728
---	-------	--------

---

*Nota.* Esta tabla muestra el costo del operador por año.

#### **Tabla 24**

*Costo de operación de la planta potabilizadora*

---

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>COSTO</b>
Costos de la zeolita	\$4616
Costos del hipocloruro de sodio	\$25,05
Costo del operador	\$4728
<b>Total</b>	<b>\$9369,05</b>

---

*Nota.* Esta tabla muestra el costo de la operación de la planta potabilizadora por año.



## Capítulo VI

### Conclusiones y recomendaciones

#### Conclusiones.

- Realizado los cálculos de diseño del tanque de regulación, el filtro lento, el tanque de desinfección y el tanque de almacenamiento, se dimensionó una planta de tratamiento para potabilizar el agua de consumo de Salache – Latacunga.
- El análisis de los informes de laboratorio y la comparación con la norma ecuatoriana NTE INEN 1108, determinó que la calidad del agua de abastecimiento de la comunidad de Salache se encuentra con parámetros fuera del límite permisible, como son: la alcalinidad con un valor de 520 mg CaCO<sub>3</sub>/ml, la dureza con un valor de 583 mg CaCO<sub>3</sub>/ml y Sulfatos con un valor de 450 mg/l, cuyos valores para la alcalinidad y dureza no deben sobrepasar los 500 mg CaCO<sub>3</sub>/ml y para sulfatos los 200 mg/l.
- La experimentación con lechos filtrantes, determinó que para la remoción de alcalinidad, dureza y sulfatos se lo puede realizar con zeolita y resina catiónica. Sin embargo, el tratamiento con resina catiónica es una propuesta muy cara para el tratamiento, considerando que el saco de 12 Kg tiene un costo de \$135. Por lo tanto, la zeolita es el material a utilizar en la planta potabilizadora puesto que sus precios no superan los \$4 por la misma cantidad antes mencionada.
- El dimensionamiento de la planta de agua potable para la comunidad de Salache, consta de las siguientes fases: la captación, aducción, regulación, filtración, desinfección y almacenamiento.

- El costo de la planta potabilizadora considerando trabajos construcción y operación, dan como resultado un total de \$91105,35 para la construcción y un total de \$9369,05 para la operación anual de la planta.

### **Recomendaciones.**

- Proteger los módulos de filtración con una cubierta para evitar que el agua se contamine por el contacto directo que este tiene con el ambiente.
- Se recomienda realizar tareas de limpieza semestrales para el tanque de regulación, módulos de filtración, tanque de desinfección y tanque de almacenamiento, esto con el objetivo de garantizar la calidad del agua durante todo el tiempo de operación.
- Capacitar al operador de la planta potabilizadora en temas relacionados con el control de bombas, limpieza de tanques y el mantenimiento de los módulos de filtración con su material filtrante (zeolita).
- Realizar semestralmente el análisis de los parámetros físicos, químicos y bacteriológicos de la planta potabilizadora en comparación con la norma INEN 1108, para determinar que la calidad del agua se mantenga en buenas condiciones a lo largo del tiempo.
- Realizar un retrolavado trimestral de la zeolita en los módulos de filtración, esto con el objetivo de eliminar impurezas que se pueden acumular durante la operación del filtro.
- Sustituir el material filtrante (zeolita) cada 3 años, para mantener la efectividad de remoción de la alcalinidad, dureza y sulfatos en el agua.

## Bibliografía

- American Water Works Association. (2002). *Calidad y Tratamiento del Agua*. España: McGraw-Hill Profesional.
- Arboleda, J. (1992). *Teoría y práctica de la Purificación del agua*. Colombia: Acodal.
- ARCA. (2016). Estrategia Nacional de Calidad del Agua. *Informe ARCA*, 32-37.
- Arnedo, A. (2007). Dureza del agua de consumo doméstico y prevalencia de eczema atópico en escolares de Castellón, España. *SciELO*, 2.
- Curto, S. (2006). Arsenico en acuíferos: Influencia sobre la Salud de la Población. *Cong Nat Arsenic Groundwaters Lat Amer*, 20.
- Diario de Cadiz. (15 de Octubre de 2014). *Diario de Cadiz*. Recuperado el 22 de Agosto de 2019, de [https://www.diariodecadiz.es/cadiz/expertos-presencia-coliformes-posible-contaminacion\\_0\\_853114722.html](https://www.diariodecadiz.es/cadiz/expertos-presencia-coliformes-posible-contaminacion_0_853114722.html)
- Donoso, J. (2013). Diseño de un sistema de tratamiento de agua para consumo humano de la red N°4 de la ciudad de Riobamba. *Tesis ESPOCH*, 104-107.
- Environment Department New Mexico. (Enero de 2007). *Environment New Mexico*. Recuperado el 16 de Agosto de 2019, de [https://www.env.nm.gov/dwb/contaminants/.../Sulfate1\\_07spanishfinal.pdf](https://www.env.nm.gov/dwb/contaminants/.../Sulfate1_07spanishfinal.pdf)
- Fernández, A. (2012). El agua: un recurso esencial. *Química Viva*, 147-148.
- Galvis, G. (1999). *Filtración en múltiples etapas*. Cali: Artes Gráficas de Univalle.
- INEC. (2017). *Anuario de Estadísticas de Salud: Camas y Egresos Hospitalarios 2017*. Quito: INEC.
- INEC. (2017). *ANUARIO DE ESTADÍSTICAS DE SALUD: CAMAS Y EGRESOS HOSPITALARIOS 2017*. Quito: INEC.
- INEC. (2017). Gestión de agua potable y alcantarillado. *Instituto ecuatoriano de estadísticas y censos*, 10-22.

- INEC. (2017). Medición de los indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene en el Ecuador. *Indicadores ODS de Agua, Saneamiento e Higiene*, 13-18.
- INEN. (1997). Código de práctica para el diseño de sistemas de abastecimiento de agua potable. *CPE INEN 5*, 19-20.
- INEN. (2006). Agua Potable Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 3-5.
- INEN. (2020). Agua Potable Requisitos. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 3-5.
- Jenkins, D. (2002). *Química del agua*. México : Limusa.
- Jouravlev, A. (2004). Los servicios de agua potable y saneamiento en el umbral del siglo XXI. *Recursos Naturales e Infraestructura CEPAL*, 12.
- Logroño, P. (2015). Diseño de un sistema de tratamiento de agua para la comunidad Nitiluisa. *TESIS ESPOCH*, 42-43.
- López , R. (2000). *Elementos de diseño para acueductos y alcantarillados*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería .
- McJunkin, E. (1983). *Agua y Salud Humana*. Mexico: Limusa.
- OMS. (2015). *Progresos en materia de saneamiento y agua potable: informe de actualización 2015 y evaluación del ODM*. Ginebra: Ediciones de la OMS. Obtenido de [https://www.who.int/water\\_sanitation\\_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/](https://www.who.int/water_sanitation_health/monitoring/jmp-2015-key-facts/es/)
- ONU. (25 de Septiembre de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. Recuperado el 22 de Agosto de 2019, de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/water-and-sanitation/>
- Quiroga, E. (1999). Transferencia de tecnología en el sector de agua y saneamiento en Colombia . Cali: Artes Gráficas de Univalle.
- Riveron, R. (1999). Fisiopatología de la diarrea aguda. *Cubana Pediatría*, 86-115.

- Romero, J. (2006). *Purificación del Agua*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- SENAGUA. (2010). Diagnóstico de las Estadísticas del agua en Ecuador. *Informe SENAGUA*, 10-12.
- SENAGUA. (2016). Estrategia Nacional de Agua Potable y Saneamiento. *Diagnóstico, prioridades y estrategias programativas SENAGUA*, 7-9.
- Sigler, A. (2017). Alcalinidad, pH, y Sólidos Disueltos Totales . *Well Educated*, 1.
- Torres, P. (2009). Índices de Calidad de Agua en Fuentes Superficiales. *Ingenierías Universidad de Medellín*, 82.
- Valdez, E. (1994). Abastecimiento de Agua Potable. México: D. R.

