



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA  
DE FILTRACIÓN DE AGUA ÓPTIMO PARA EL CONSUMO EN  
LAS COMUNIDADES DE LA PARROQUIA DE SAN JUAN DEL  
CANTÓN RIOBAMBA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A INDUSTRIAL**

**AUTORES:**

**KEYRON ANTONY LOOR VERGARA**

**LAURA DEL CARMEN PULLA QUEZADA**

Riobamba – Ecuador

2023



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA**

**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA  
DE FILTRACIÓN DE AGUA ÓPTIMO PARA EL CONSUMO EN  
LAS COMUNIDADES DE LA PARROQUIA DE SAN JUAN DEL  
CANTÓN RIOBAMBA”**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto Técnico

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO/A INDUSTRIAL**

**AUTORES: KEYRON ANTONY LOOR VERGARA**

**LAURA DEL CARMEN PULLA QUEZADA**

**DIRECTORA: Ing. EUGENIA MERCEDES NARANJO VARGAS, Mg.**

Riobamba – Ecuador

2023

**©2023, Keyron Antony Loor Vergara & Laura del Carmen Pulla Quezada**

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

Nosotros, Keyron Antony Loor Vergara y Laura del Carmen Pulla Quezada, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados de este son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; El patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 29 de noviembre del 2023



**Keyron Antony Loor Vergara**

**C. I: 210069959-0**

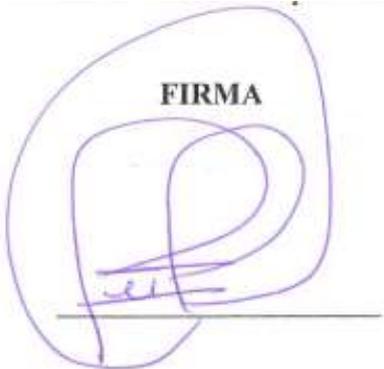


**Laura del Carmen Pulla Quezada**

**C. I: 115069110-1**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE MECÁNICA**  
**CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto Técnico, **“DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA ÓPTIMO PARA EL CONSUMO EN LAS COMUNIDADES DE LA PARROQUIA DE SAN JUAN DEL CANTÓN RIOBAMBA”**, realizado por el señor: **KEYRON ANTONY LOOR VERGARA** y la señorita: **LAURA DEL CARMEN PULLA QUEZADA**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud que el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Marco Homero Almendariz Puente, Mg. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2023-11-29
Ing. Eugenia Mercedes Naranjo Vargas, Mg. <b>DIRECTORA DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-29
Ing. Iván Fernando Huacho Chávez, Mg. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2023-11-29

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a quienes han sido mis pilares fundamentales en este arduo camino académico. A mi amado padre, cuyo apoyo inquebrantable ha sido mi fuente de inspiración desde el inicio de esta travesía. A mi querida madre, cuya incondicionalidad ha sido mi impulso constante, impidiendo que el desánimo se apodere de mis sueños. A mi hermano, fiel compañero de esta travesía académica, cuya presencia ha sido mi apoyo inquebrantable en cada paso. Este logro lleva impreso el amor y respaldo de mi familia, a quienes dedico con gratitud este capítulo concluyente de mi formación.

Keyron

A mi amada madre, fuente inagotable de amor y apoyo, cuyo sacrificio y dedicación han sido la brújula que me guio a lo largo de este camino académico. A mi querida hermana, compañera de risas y confidente, gracias por estar siempre a mi lado con tu aliento y comprensión. A ustedes les dedico este logro, con profundo agradecimiento y admiración. Su amor incondicional ha sido mi mayor inspiración. ¡Gracias por ser mi faro en este emocionante viaje del conocimiento!

Laura

## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a quienes han colaborado de manera fundamental en la elaboración de este trabajo de titulación. En primer lugar, agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo por proporcionar el marco académico propicio. Reconozco y agradezco a la carrera de Ingeniería Industrial y a sus respetados docentes, cuya experiencia y conocimientos han sido esenciales para mi formación académica.

Keyron

Quiero expresar mi profundo agradecimiento a mi amada familia, cuyo apoyo ha sido mi roca durante esta travesía académica. Su amor incondicional y comprensión han sido la fuerza que me impulsó a seguir adelante, incluso en los momentos más desafiantes.

A mis amigos, quienes han compartido risas, desafíos y triunfos a lo largo de estos años. Su amistad ha sido un regalo invaluable que ha enriquecido mi vida de maneras inimaginables. Y a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, por brindarme no solo una educación excepcional, sino también la oportunidad de conocer personas maravillosas. Este logro no solo es mío, sino también de aquellos que han contribuido a mi crecimiento. ¡Gracias por ser parte esencial de mi trayecto y por hacerlo aún más especial!

Laura

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiii
ÍNDICE ANEXOS.....	xv
ÍNDICE DE ABREVIATURAS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
SUMMARY.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>2</b>
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema.....	2
1.3. Justificación.....	3
1.4. Objetivos.....	3
1.4.1. <i>Objetivo general</i> .....	3
1.4.2. <i>Objetivos específicos</i> .....	3

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
2.1. Antecedentes de la investigación.....	5
2.2. Agua cruda.....	6
2.3. Agua potable.....	6
2.4. Calidad del agua.....	7
2.4.1. <i>Parámetros de la calidad del agua</i> .....	7
2.4.1.1. <i>Análisis físico químico</i> .....	7
2.4.1.2. <i>Análisis microbiológico</i> .....	9
2.5. <b>Métodos de potabilización.....</b>	<b>10</b>
2.5.1. <i>Métodos químicos</i> .....	11
2.5.1.1. <i>Yodo</i> .....	11
2.5.1.2. <i>Cloro</i> .....	11
2.5.2. <i>Métodos físicos</i> .....	11
2.5.2.1. <i>Sedimentación</i> .....	12

2.5.2.2.	<i>Filtración</i> .....	12
2.6.	<b>Filtro lento</b> .....	13
2.6.1.	<i>Elementos de un filtro lento</i> .....	13
2.7.	<b>Condiciones requeridas para filtración lenta</b> .....	14
2.7.1.	<i>Calidad del agua</i> .....	14
2.7.2.	<i>Tamaño de la comunidad</i> .....	15
2.7.3.	<i>Caja de filtración y su estructura de entrada</i> .....	15
2.7.4.	<i>Lecho filtrante:</i> .....	16
2.7.5.	<i>Sistema de drenaje, que incluye lecho de soporte y cámara de salida</i> .....	16
2.7.6.	<i>Arenas</i> .....	16
2.7.7.	<i>Soporte de grava</i> .....	18
2.7.8.	<i>Carbón activado</i> .....	18
2.8.	<b>Filtro de lecho profundo</b> .....	18
2.8.1.	<i>Elementos del filtro de lecho profundo</i> .....	19
2.8.2.	<i>Condiciones de operación</i> .....	20
2.8.3.	<i>Medios granulares para un filtro de lecho profundo</i> .....	20
2.8.4.	<i>Cálculo de los materiales del filtro de lecho profundo</i> .....	21
2.8.4.1.	<i>Caudal medio diario</i> .....	21
2.8.4.2.	<i>Caudal punta</i> .....	22
2.8.5.	<i>Cargas contaminantes</i> .....	22
2.8.6.	<i>Dimensionamiento del filtro</i> .....	23
2.8.6.1.	<i>Tiempo de retención</i> .....	23
2.8.6.2.	<i>Carga hidráulica vertical &amp; carga hidráulica superficial</i> .....	24
2.9.	<b>Filtro lento de arena</b> .....	24
2.9.1.	<i>Componentes</i> .....	25
2.9.1.1.	<i>Entrada</i> .....	25
2.9.1.2.	<i>Cámara de filtración y lechos filtrantes y de soporte</i> .....	25
2.9.1.3.	<i>Salida</i> .....	25
2.9.1.4.	<i>Drenaje</i> .....	26
2.9.1.5.	<i>Capa de agua sobrenadante</i> .....	26
2.9.1.6.	<i>Accesorios de regulación y control: normalmente incluyen:</i> .....	26
2.10.	<b>Criterios de diseño</b> .....	26
2.11.	<b>Dimensionamiento de un filtro lento</b> .....	27
2.11.1.	<i>Caudal de diseño</i> .....	27
2.11.2.	<i>Área superficial</i> .....	27
2.11.3.	<i>Coefficiente de mínimo costo</i> .....	27
2.11.4.	<i>Longitud de unidad</i> .....	27

2.11.5.	<i>Ancho de unidad:</i> .....	28
2.11.6.	<i>Velocidad de filtración real</i> .....	28

### CAPÍTULO III

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	29
3.1.	<b>Tipo de estudio</b> .....	29
3.2.	<b>Tipo de investigación</b> .....	29
3.2.1.	<i>Investigación aproximativa o exploratoria</i> .....	29
3.2.2.	<i>Investigación explicativa</i> .....	29
3.2.3.	<i>Investigación práctica o aplicada</i> .....	29
3.2.4.	<i>Investigación cuantitativa</i> .....	30
3.2.5.	<i>Investigación documental</i> .....	30
3.2.6.	<i>Investigación de campo</i> .....	30
3.3.	<b>Metodología</b> .....	30
3.3.1.	<i>Método inductivo deductivo</i> .....	30
3.3.2.	<i>Método explicativo</i> .....	30
3.4.	<b>Técnicas</b> .....	31
3.5.	<b>Diagnóstico de la situación actual</b> .....	31
3.5.1.	<i>Ubicación del proyecto</i> .....	31
3.5.2.	<i>Infraestructura actual</i> .....	31
3.5.2.1.	<i>Captación</i> .....	32
3.5.2.2.	<i>Tuberías</i> .....	32
3.5.2.3.	<i>Filtración</i> .....	33
3.5.2.4.	<i>Tanque de almacenamiento</i> .....	33
3.6.	<b>Ensayos de la calidad del agua</b> .....	33
3.6.1.	<i>Análisis físico – químico</i> .....	34
3.6.1.1.	<i>Análisis de dureza, cloruros y alcalinidad</i> .....	35
3.6.1.2.	<i>Demanda química de oxígeno (DQO)</i> .....	36
3.6.1.3.	<i>Demanda biológica de oxígeno (DBO)</i> .....	36
3.6.1.4.	<i>Determinación de la cantidad de fosfatos</i> .....	37
3.6.1.5.	<i>Determinación de la cantidad de nitritos</i> .....	39
3.6.1.6.	<i>Determinación de la cantidad de nitratos</i> .....	39
3.6.1.7.	<i>Cálculo de los sólidos totales</i> .....	40
3.6.1.8.	<i>Determinación de metales pesados en agua por AA</i> .....	42
3.7.	<b>Determinación del caudal en la fuente</b> .....	44
3.8.	<b>Alternativas de implementación</b> .....	45

<b>3.8.1.</b>	<b><i>Filtro de lecho profundo a base de carbón y nextsand</i></b> .....	45
3.8.1.1.	<i>Dimensionamiento</i> .....	45
3.8.1.2.	<i>Costo de implementación</i> .....	48
<b>3.8.2.</b>	<b><i>Filtro lento de arena</i></b> .....	49
3.8.2.1.	<i>Dimensionamiento</i> .....	50
3.8.2.2.	<i>Costo de implementación</i> .....	51
<b>3.9.</b>	<b>Selección de alternativa</b> .....	51
3.9.1.	<i>Filtro de lecho profundo</i> .....	51
3.9.2.	<i>Implementación de filtro lento</i> .....	52
<b>3.10.</b>	<b>Implementación de la alternativa seleccionada</b> .....	53
3.10.1.	<i>Fase 1</i> .....	53
3.10.2.	<i>Fase 2</i> .....	55
3.10.2.1.	<i>Limpieza de la fuente de agua</i> .....	55
3.10.2.2.	<i>Colocación de capa de lastre de protección</i> .....	55
3.10.2.3.	<i>Protección del tanque de almacenamiento</i> .....	56
3.10.2.4.	<i>Readecuación del cerramiento</i> .....	56
3.10.3.	<i>Fase 3</i> .....	57
3.10.3.1.	<i>Instalación del filtro</i> .....	57
3.10.3.2.	<i>Instalación de tuberías</i> .....	58
3.10.3.3.	<i>Colocación de la capas del filtro</i> .....	58
3.10.3.4.	<i>Pruebas y ajustes</i> .....	60
3.10.4.	<i>Fase 4</i> .....	61
3.10.4.1.	<i>Readecuación 1</i> .....	61
3.10.4.2.	<i>Readecuación 2</i> .....	61
3.10.4.3.	<i>Cambio de diámetro en tubería de entrada</i> .....	62
3.10.5.	<i>Fase 5</i> .....	63

## **CAPÍTULO IV**

<b>4.</b>	<b>INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	65
4.1.	<b>Del análisis de la calidad agua</b> .....	65
4.2.	<b>De la implementación</b> .....	65
4.2.1.	<i>Ubicación del tanque de filtro lento</i> .....	66
4.2.2.	<i>Readecuaciones</i> .....	66
4.3.	<b>Análisis post implementación</b> .....	67
4.3.1.	<i>Color</i> .....	67
4.3.2.	<i>Turbiedad</i> .....	68

4.3.3.	<i>Alcalinidad</i> .....	69
4.3.4.	<i>Dureza</i> .....	69
4.3.5.	<i>Hierro</i> .....	70
4.3.6.	<i>Sulfatos</i> .....	71
4.3.7.	<i>Solidos totales disueltos</i> .....	71
4.3.8.	<i>Coliformes totales</i> .....	72
4.3.9.	<i>Coliformes fecales</i> .....	73

## **CAPÍTULO V**

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	74
5.1.	<b>Conclusiones</b> .....	74
5.2.	<b>Recomendaciones</b> .....	75

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b>	Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas .....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Sustancias orgánicas.....	8
<b>Tabla 2-3:</b>	Plaguicidas .....	8
<b>Tabla 2-4:</b>	Residuos de desinfectantes.....	9
<b>Tabla 2-5:</b>	Subproductos de desinfección.....	9
<b>Tabla 2-6:</b>	Cianotoxinas.....	9
<b>Tabla 2-7:</b>	Requisitos Microbiológicos.....	10
<b>Tabla 2-8:</b>	Especificaciones de materiales para filtros multicama.....	21
<b>Tabla 2-9:</b>	Cargas contaminantes por persona y día. ....	22
<b>Tabla 3-1:</b>	Ubicación de la toma de muestras.....	34
<b>Tabla 3-2:</b>	Ubicación de la toma de muestras.....	36
<b>Tabla 3-3:</b>	Ubicación de la toma de muestras.....	37
<b>Tabla 3-4:</b>	Calculo volumétrico del caudal.....	44
<b>Tabla 3-5:</b>	Parámetros para el dimensionamiento.....	46
<b>Tabla 3-6:</b>	Parámetros del dimensionamiento.....	47
<b>Tabla 3-7:</b>	Costo sistema de filtración con botella de fibra de vidrio y válvula manual.....	49
<b>Tabla 3-8:</b>	Parámetros finales de diseño de filtro lento .....	50
<b>Tabla 3-9:</b>	Costo del sistema por filtro lento de arena. ....	51
<b>Tabla 3-10:</b>	Procedimiento de operación normal y ajustes diarios. ....	64
<b>Tabla 3-11:</b>	Puesta fuera de servicio del filtro lento de arena.....	64
<b>Tabla 4-1:</b>	Color Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	67
<b>Tabla 4-2:</b>	Turbiedad Antes vs Después del filtro lento de arena.....	68
<b>Tabla 4-3:</b>	Alcalinidad Antes vs Después del filtro lento de arena.....	69
<b>Tabla 4-4:</b>	Dureza Antes vs Después del filtro lento de arena.....	69
<b>Tabla 4-5:</b>	Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.....	70
<b>Tabla 4-6:</b>	Sulfatos Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	71
<b>Tabla 4-7:</b>	TDS Antes vs Después del filtro lento de arena.....	71
<b>Tabla 4-8:</b>	Coliformes totales Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	72
<b>Tabla 4-9:</b>	Coliformes Fecales Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	73

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b>	Esquema del proceso de tratamiento de agua.....	6
<b>Ilustración 2-2:</b>	Principales métodos de desinfección.....	10
<b>Ilustración 2-3:</b>	Filtro lento de arena.....	12
<b>Ilustración 2-4:</b>	Esquema de un filtro lento con regulación en la entrada.....	14
<b>Ilustración 2-5:</b>	Configuración de un filtro lento.....	15
<b>Ilustración 2-6:</b>	Esquema de ingreso a un filtro lento.....	16
<b>Ilustración 2-7:</b>	Distribución de los tamaños de granos de arena.....	17
<b>Ilustración 2-8:</b>	Filtración de lecho profundo.....	19
<b>Ilustración 2-9:</b>	Elementos de un filtro de lecho profundo.....	20
<b>Ilustración 2-10:</b>	Filtro de flujo descendente.....	24
<b>Ilustración 2-11:</b>	Filtro de flujo descendente.....	25
<b>Ilustración 3-1:</b>	Ubicación de la comunidad “Ballagan Muruquil”.....	31
<b>Ilustración 3-2:</b>	Captación de agua.....	32
<b>Ilustración 3-3:</b>	Tuberías de conexión de la captación al tanque de almacenamiento.....	32
<b>Ilustración 3-4:</b>	Tanque de almacenamiento.....	33
<b>Ilustración 3-5:</b>	Punto de distribución y de consumo.....	34
<b>Ilustración 3-6:</b>	Espectrómetro HAC DR2800.....	37
<b>Ilustración 3-7:</b>	Metodología para el análisis de la DBO.....	38
<b>Ilustración 3-8:</b>	Sistema de lecho profundo.....	45
<b>Ilustración 3-9:</b>	Esquema de filtro lento.....	49
<b>Ilustración 3-10:</b>	Plan de acción para la implementación del proyecto.....	53
<b>Ilustración 3-11:</b>	Inspección del tanque de almacenamiento de agua para la comunidad.....	54
<b>Ilustración 3-12:</b>	Esquema del sistema de agua potable.....	54
<b>Ilustración 3-13:</b>	Limpieza de la fuente de agua.....	55
<b>Ilustración 3-14:</b>	Colocación de capa de lastre.....	56
<b>Ilustración 3-15:</b>	Protección contra la infiltración.....	56
<b>Ilustración 3-16:</b>	Colocación de capa de lastre.....	57
<b>Ilustración 3-17:</b>	Tanque utilizado para la instalación del filtro.....	57
<b>Ilustración 3-18:</b>	Colocación tubería PVC para la conducción de agua.....	58
<b>Ilustración 3-19:</b>	Colocación de la capa de grava soporte.....	58
<b>Ilustración 3-20:</b>	Colocación de las capas de filtración.....	59
<b>Ilustración 3-21:</b>	Esquema final de filtro lento.....	60
<b>Ilustración 3-22:</b>	Colocación de collarín PVC.....	61
<b>Ilustración 3-23:</b>	Aumento de la capacidad del tanque de captación de la vertiente 1.....	62

<b>Ilustración 3-24:</b>	Colocación tubería PVC para la conducción de agua .....	62
<b>Ilustración 3-25:</b>	Colocación tubería PVC para la conducción de agua .....	63
<b>Ilustración 3-26:</b>	Procedimiento de limpieza del filtro lento de arena.....	63
<b>Ilustración 4-1:</b>	Esquema final del filtro lento .....	66
<b>Ilustración 4-2:</b>	Ubicación del filtro lento.....	66
<b>Ilustración 4-3:</b>	Color Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	68
<b>Ilustración 4-4:</b>	Color Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	68
<b>Ilustración 4-5:</b>	Alcalinidad Antes vs Después del filtro lento de arena.....	69
<b>Ilustración 4-6:</b>	Dureza Antes vs Después del filtro lento de arena.....	70
<b>Ilustración 4-7:</b>	Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.....	70
<b>Ilustración 4-8:</b>	Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.....	71
<b>Ilustración 4-9:</b>	TDS Antes vs Después del filtro lento de arena.....	72
<b>Ilustración 4-10:</b>	Coliformes totales Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	72
<b>Ilustración 4-11:</b>	Coliformes Fecales Antes vs Después del filtro lento de arena. ....	73

## **ÍNDICE ANEXOS**

- ANEXO A:** RESOLUCIÓN DEL CAUDAL CONCESIONADO A LA COMUNIDAD
- ANEXO B:** ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO
- ANEXO C:** ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POST IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO
- ANEXO D:** FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO
- ANEXO E:** CERTIFICADO DE CONFORMIDAD
- ANEXO F:** PLANOS DEL PROYECTO

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>ha</b>	Altura de la lámina de agua. (m)
<b>B</b>	Ancho del tanque de filtración. (m)
<b>Qm</b>	Caudal medido en (m <sup>3</sup> /s)
<b>Qd</b>	Caudal de diseño. (m <sup>3</sup> /s)
<b>DQO</b>	Demanda química de oxígeno
<b>DBO<sub>5</sub></b>	Demanda bioquímica de oxígeno
<b>NKT</b>	Nitrógeno total mediante Kjeldahl
<b>P</b>	Fósforo
<b>SS</b>	Sólidos suspendidos
<b>L</b>	Longitud de unidad: (m)
<b>K</b>	Coefficiente de mínimo costo
<b>N</b>	Número de unidades
<b>b</b>	Ancho de la unidad
<b>As</b>	Área superficial (m <sup>2</sup> )
<b>K</b>	Coefficiente de mínimo costo
<b>Qd</b>	Caudal de diseño (m <sup>3</sup> /h)

## RESUMEN

Para abordar la necesidad de mejorar el sistema de filtración de agua en las comunidades y barrios de la Parroquia de San Juan del cantón Riobamba, se ha diseñado, implementado y validado un sistema de filtración de agua conocido como “filtro lento de arena”. Este sistema garantiza la eliminación de contaminantes y patógenos presentes en el agua destinada al consumo humano. Con una inversión total de \$707,32, los resultados de calidad de agua tras la implementación del sistema revelaron mejoras notables en diversos parámetros físicos y químicos, tales como el color, dureza y sulfatos. A su vez, entre los logros más destacados se incluye la reducción significativa de los niveles de coliformes totales y fecales en las muestras M1, M2 y M3. Estos resultados evidencian el cumplimiento de los estándares de seguridad del agua para el consumo humano, según lo establece la norma INEN 1108, la Guía para la calidad del agua de consumo humano de la OMS y las directrices de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural: norma CO 10.7 - 602. Se destaca la importancia de implementar soluciones tecnológicas adecuadas para mejorar la calidad del agua, ya que la inversión en sistemas de filtración y tratamiento apropiado puede tener un impacto significativo en la salud pública y en la calidad de vida de las comunidades, reduciendo el porcentaje de desnutrición infantil y enfermedades derivadas de un sistema deficiente de agua de consumo. En este caso particular, la introducción del filtro ha sido un paso fundamental hacia la provisión de agua segura y confiable para la comunidad de Ballagán.

**Palabras Clave:** <FILTRACIÓN>, <AGUA POTABLE>, <IMPLEMENTACIÓN>, <CALIDAD DEL AGUA>, <COMUNIDADES>



5-12-2023

2116-DBRA-UPT-2023

## SUMMARY

A water filtration system known as a "slow sand filter" has been built, put into practice, and validated to address the need to improve the water filtration system in the communities of San Juan parish of the Riobamba city. This system guarantees the elimination of contaminants and pathogens in water intended for human consumption. With a total investment of \$707.32, the water quality results after the implementation of the system revealed remarkable improvements in various physical and chemical parameters, such as color, hardness, and sulfates. Among the noteworthy accomplishments are the notable declines in fecal and total coliform in samples M1, M2, and M3. These results demonstrate compliance with water safety standards for human consumption, as established by INEN 1108, the World Health Organization (WHO) Guide for drinking water quality, and the design guidelines for potable water supply systems in rural areas: CO 10.7 - 602. The importance of implementing appropriate technological solutions to improve water quality is highlighted, as investment in appropriate filtration and treatment systems can have a significant impact on public health and the quality of life of communities, reducing the percentage of child malnutrition and diseases derived from a deficient drinking water system. In this particular case, the introduction of the filter has been a fundamental step towards the provision of safe and reliable water for the community of Ballagán.

**Keywords:** <FILTRATION>, <POTABLE WATER>, <IMPLEMENTATION>, <QUALITY WATER>, <COMMUNITIES>



Lic. Angela Cecibel Moreno Novillo  
0602603938

## **INTRODUCCIÓN**

Dada la necesidad de agua potable continua y eficiente en pequeñas comunidades, resulta imperativo, explorar e implementar alternativas de tratamiento de agua que estén fácilmente disponibles y económicamente viables para satisfacer la demanda de agua potable o de uso doméstico.

Algunos métodos alternativos de tratamiento de agua son la biofiltración y los métodos de filtración lenta en arena, que son sencillos, asequibles y confiables para satisfacer las necesidades de la población, proporcionando agua potable libre de contaminantes que puedan afectar la salud. Aunque el uso de biofiltros es una tecnología muy antigua y ampliamente utilizada, en la actualidad resulta atractivo utilizar nuevos materiales que sustituyan a los utilizados en los medios granulares tradicionales, aumentando así la competencia con otros métodos de tratamiento alternativos. Las posibles variaciones en este proceso sugieren un tema poco estudiado en todo el mundo y objeto de nuevas investigaciones.

La filtración lenta en arena es una tecnología de tratamiento de agua adecuada en áreas donde la mano de obra calificada es escasa, costosa y donde se dispone de grandes áreas para instalar estos sistemas. Estas ventajas inherentes no solo posibilitan un eficiente proceso de tratamiento, sino que también representan una solución viable para países y comunidades que enfrentan restricciones presupuestarias en operación y mantenimiento.

# CAPÍTULO I

## 1. DIAGNÓSTICO DEL PROBLEMA

### 1.1. Antecedentes

La parroquia de San Juan, situada a 15 km de la ciudad de Riobamba, es conocida por ser la entrada principal para apreciar uno de los atractivos turísticos más importantes del Ecuador, el majestuoso nevado Chimborazo, sin embargo, detrás de la belleza del paisaje andino, se oculta una realidad social preocupante de pobreza y desnutrición. Es importante destacar que esta parroquia es una zona rural de la provincia de Chimborazo, donde muchas familias dependen de la agricultura y la ganadería para sobrevivir, y enfrentan desafíos significativos en términos de acceso a servicios básicos como agua potable y atención médica. (GAD SAN JUAN, 2022)

La disponibilidad de agua tratada y segura es fundamental para la nutrición humana, y su falta puede contribuir a altos índices de desnutrición, donde la desnutrición infantil es un problema significativo. A pesar de que estos cantones producen alimentos básicos como cereales, legumbres, frutas, carne y leche, los altos índices de desnutrición persisten. (REA, 2022)

La desnutrición se produce cuando se consume una cantidad insuficiente de alimentos y agua, siendo importante destacar que el término "insuficiente" no se refiere únicamente a la cantidad, sino también a la calidad de estos. Se considera que un niño está "mal nutrido" cuando su talla y/o peso están por debajo de lo esperado para su edad. (Wisbaun, 2017 p. 7)

### 1.2. Planteamiento del problema

La ciudad de Riobamba, específicamente la Parroquia de San Juan, ha enfrentado diversos obstáculos en cuanto a la calidad del agua, la tecnificación en los procesos productivos, la falta de excelencia en la educación secundaria, y la falta de emprendimientos locales. El Gobierno Autónomo Descentralizado de San Juan, como entidad responsable del suministro de agua a través de tuberías, no ha podido asegurar la calidad del agua para el consumo humano, limitándose a llevar a cabo el proceso de cloración. Como resultado, existe una creciente preocupación en cuanto a la salud pública y la seguridad de la comunidad local.

Por tanto, el problema central que se abordará en este trabajo es la necesidad de mejorar la alternativa de filtración del agua mediante el diseño, implementación y evaluación de un sistema de filtración para las comunidades y barrios de la Parroquia de San Juan del cantón Riobamba,

que asegure la eliminación de contaminantes presentes. Es crucial resaltar que el sistema de filtración, cuyo fácil acceso y mantenimiento son elementos fundamentales para asegurar su durabilidad a lo largo del tiempo, se implementará de manera exclusiva en la comunidad de "Ballagán". Esta elección deriva de la naturaleza misma del proyecto de vinculación, el cual tiene como enfoque inicial abordar de manera integral los desafíos hídricos de esta comunidad en particular. La decisión de iniciar con "Ballagán" se basa en la necesidad de establecer un punto de partida sólido y concentrado, permitiendo así una implementación más enfocada y un análisis detallado de los resultados y la eficacia del sistema de filtración en condiciones reales.

### **1.3. Justificación**

En la Parroquia de San Juan del cantón Riobamba, la falta de planes de saneamiento y la limitación en el proceso de cloración del agua potable representan un riesgo para la salud de la población de las 26 comunidades. De modo que, se requiere de un sistema de filtración de agua que permita mejorar la calidad del agua para el consumo humano y garantice la eliminación de contaminantes presentes. Este diseño, implementación y validación es parte de un proyecto de vinculación que busca contribuir en mejorar la calidad de vida de las comunidades de la Parroquia de San Juan, eliminando contaminantes que no sean óptimos para el consumo humano.

El acceso a agua potable de calidad es un derecho fundamental de la población y su garantía es una responsabilidad compartida entre las autoridades locales y las comunidades. En consecuencia, este proyecto contribuirá a fortalecer la gestión comunitaria del agua, promover la conciencia ambiental y mejorar las condiciones de vida de las comunidades de la Parroquia de San Juan.

### **1.4. Objetivos**

#### ***1.4.1. Objetivo general***

Diseñar, implementar y validar un sistema de filtración de agua óptimo para el consumo en las comunidades de la Parroquia de San Juan del cantón Riobamba.

#### ***1.4.2. Objetivos específicos***

- Realizar un análisis de la calidad del agua en una de las comunidades de la Parroquia de San Juan, con el propósito de identificar posibles contaminantes y evaluar su potabilidad.

- Cuantificar el caudal de agua en distintos puntos de captación dentro de la comunidad de Ballagán, perteneciente a la Parroquia San Juan- Provincia de Chimborazo con el fin de comprender el suministro hídrico disponible.
- Construir un sistema de filtro de purificación de agua que se adapte al requerimiento de captación en la comunidad de Ballagán aplicando técnicas ingenieriles.
- Implementar y validar el sistema de filtración de agua mediante pruebas de funcionamiento y análisis de la calidad del agua.

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

El sistema de agua potable de la comunidad “Ballagán Muruquil”, consta de varias obras hidráulicas típicas de un sistema rural, como son la captación, tuberías de conducción, tanque de almacenamiento y red de distribución hacia cada punto de consumo

El sistema actual se ha implementado hace ya más de 20 años por lo que mucha de su infraestructura comienza a dar señales de estar llegando a su vida útil, además de ello, la falta de un control y mantenimiento adecuado ha generado problemas en el correcto funcionamiento.

En cuanto a las estructuras destinadas a la desinfección de agua, la comunidad cuenta con un tanque de cloración el mismo que está inhabilitado, además no se cuenta con ningún tratamiento físico para evitar el paso de partículas hacia el tanque de almacenamiento, por tal motivo se ha impensable la implementación de un sistema de filtración que cubra las necesidades de la población para así obtener nuevamente agua potable.

A lo largo del Ecuador y debido a la falta de recursos técnicos y económicos en las comunidades para establecer sistema de agua potable, universidades, ONG´s y otros organismos han realizado varios estudios y proyectos técnicos que sirven como guías al momento de implementar este tipo de filtros lentos de arena.

Esta por ejemplo el trabajo de (Cárdenas & Cuesta, 2017), que en su proyecto “Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la comunidad Nauchun, Chununcari, la unión de la Parroquia San Bartolomé del Cantón Sígsig, Provincia del Azuay” indican los métodos de filtración para un sistema mucho más grande donde los tanques de filtración son rectangulares y en hormigón armado.

El trabajo (Logroño, 2015) donde a través de un filtro de zeolita se logró remover hasta el 92% de fosfatos y nitritos concentrados en el agua que consumía la comunidad de Nitiluisa.

En el proyecto denominado “Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de agua de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima” realizado (Ávila & Moreno, 2016), donde indica los posibles filtros a utilizar sus ventajas y desventajas

## 2.2. Agua cruda

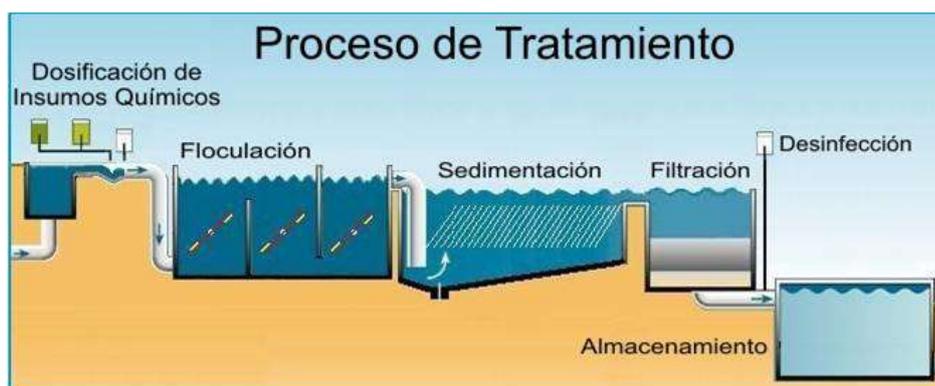
El agua cruda es aquella que no ha recibido ningún tratamiento y que no ha sido aún introducida en la red distribución. El agua bruta contiene materia orgánica, materia inorgánica y microorganismos, así como sabor, olor, color y turbidez, por lo que antes de poder ser considerada como agua potable, el agua cruda o bruta debe pasar por los diferentes procesos que conforman las estaciones de tratamiento de agua potable. (Zarza, 2023)

Como se indica en la Guía Para Diseño De Sistemas De Tratamiento De Filtración En Múltiples Etapas; el agua que ingresa al sistema es de tipo superficial, proviene de un río o riachuelo de montaña. Por lo tanto, se debe disponer de toda la información posible sobre la fuente: caudales, variaciones por estación, niveles máximos y mínimos, calidad de agua cruda, por lo menos en los tres últimos años (UNATSABAR, 2005, p. 5).

## 2.3. Agua potable

El agua potable es aquella cuyas características físicas, químicas y microbiológicas han sido tratada a fin de garantizar su aptitud para el consumo humano (INEN, 2014, p. 2).

El agua potable debe encontrarse libre de organismos que puedan ocasionar enfermedades, así como sustancias o elementos que puedan afectar negativamente en la salubridad humana; en el Ecuador se exige que el agua potable cumpla con los requisitos de calidad especificados por la Norma Técnica NTE INEN 1108 y el Reglamento Técnico Ecuatoriano RTE INEN 023.



**Ilustración 2-1:** Esquema del proceso de tratamiento de agua

**Fuente:** (Guía de purificadores de agua, 2017).

## 2.4. Calidad del agua

Los requisitos básicos y esenciales para garantizar la seguridad del agua de consumo humano son un “marco” para la seguridad del agua que comprenda objetivos de protección de la salud establecidas por una autoridad con competencia en materia de salud, sistemas adecuados y gestionados correctamente (infraestructuras adecuadas, monitoreo correcto y planificación y gestión eficaces), y un sistema de vigilancia independiente (OMS, 2011, p. 29).

Un requisito de calidad del agua potable es el límite máximo permitido de cualquier partícula o elemento dentro de ella, fija dentro del ámbito del conocimiento científico y tecnológico del momento un límite sobre el cual el agua deja de ser apta para consumo humano (INEN, 2014, p. 2).

### 2.4.1. Parámetros de la calidad del agua

Los sistemas de abastecimiento de agua potable deberían acogerse al Reglamento de buenas prácticas de Manufactura (producción) del Ministerio de Salud Pública, además de eso deben cumplir con los requisitos que se establecen en las tablas 2-1 a 2-7 (INEN, 2014).

#### 2.4.1.1. Análisis físico químico

Son procedimientos de laboratorio que se llevan a cabo en una muestra de agua para evaluar características físicas, químicas o ambas.

El análisis para establecer la potabilidad del agua en el análisis físico químico, se lleva a cabo los ensayos que evalúan el color, olor, turbiedad, pH, residuo fijo, conductividad, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, sulfato, nitrato, nitrito, amonio, cloro residual y oxidabilidad del agua (Chaves, 2018).

**Tabla 2-1:** Características físicas, sustancias inorgánicas y radiactivas

Parámetro	Unidad	Límite máximo permitido
Color	Unidades de color aparente (Pt-Co)	15
Turbiedad	NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Inorgánicos		
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7

Boro, B	mg/l	2,4
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN-	mg/l	0,07
Cloro libre residual*	mg/l	0,3 a 1,5 l)
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr (cromo total)	mg/l	0,05
Fluoruros	mg/l	1,5
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Níquel, Ni	mg/l	0,07
Nitratos, NO <sub>3</sub>	mg/l	50
Nitritos, NO <sub>2</sub>	mg/l	3,0
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Radiación total $\alpha$ *	Bg/l	0,5
Radiación total $\beta$ **	Bg/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,04

Fuente: (INEN, 2014).

**Tabla 2-2:** Sustancias orgánicas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Hidrocarburos policíclicos aromáticos HAP Benzo [a] pireno	mg/l	0,0007
Hidrocarburos: Benceno Tolueno Xileno Estireno	mg/l mg/l mg/l mg/l	0,01 0,7 0,5 0,02
1,2dicloroetano	mg/l	0,03
Cloruro de vinilo	mg/l	0,0003
Tricloroetano	mg/l	0,02
Tetracloroetano	mg/l	0,04
Di(2-etilhexil) ftalato	mg/l	0,008
Acrylamida	mg/l	0,0005
Epíclorohidrina	mg/l	0,0004
Hexaclorobutadieno	mg/l	0,0006
1,2Dibromoetano	mg/l	0,0004
1,4- Dioxano	mg/l	0,05
Ácido Nitrilotriacético	mg/l	0,2

Fuente: (INEN, 2014).

**Tabla 2-3:** Plaguicidas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Atrazina y sus metabolitos cloro-s- triazína	mg/l	0,1
Isoproturón	mg/l	0,009
Lindano	mg/l	0,002
Pendimetalina	mg/l	0,02
Pentaclorofenol	mg/l	0,009
Dicloroprop	mg/l	0,1
Alacloro	mg/l	0,02

Aldicarb	mg/l	0,01
Aldrín y Dieldrín	mg/l	0,00003
Carbofuran	mg/l	0,007
Clorpirifós	mg/l	0,03
DDT y metabolitos	mg/l	0,001
1,2-Dibromo-3-cloropropano	mg/l	0,001
1,3-Dicloropropeno	mg/l	0,02
Dimetoato	mg/l	0,006
Endrín	mg/l	0,0006
Terbutilazina	mg/l	0,007
Clordano	mg/l	0,0002
Hidroxiatrazina	mg/l	0,2

Fuente: (INEN, 2014).

**Tabla 2-4:** Residuos de desinfectantes

	UNIDAD	Límite máximo
Monocloramina,	mg/l	3
Si pasa de 1,5 mg/l investigar: N-Nitrosodimethylamine	mg/l	0,000 1

Fuente: (INEN, 2014).

**Tabla 2-5:** Subproductos de desinfección

	UNIDAD	Límite máximo permitido
2,4,6-triclorofenol	mg/l	0,2
Trihalometanos totales	mg/l	0,5
Si pasa de 0,5 mg/l investigar:	mg/l	0,06
Bromodiclorometano	mg/l	0,3
Cloroformo		
Tricloroacetato	mg/l	0,2

Fuente: (INEN, 2014).

**Tabla 2-6:** Cianotoxinas

	UNIDAD	Límite máximo permitido
Microcistina-LR	mg/l	0,001

Fuente: (INEN, 2014).

#### 2.4.1.2. Análisis microbiológico

El objetivo principal del análisis es determinar si el agua estudiada está contaminada con materia fecal humana o de otros animales. El análisis repetido del agua, tantas veces como la legislación vigente exige con el fin de obtener una valoración estadísticamente significativa, nos permitirá

determinar si el agua cumple con los requisitos de calidad sanitaria exigidos para las aguas potables destinadas al consumo humano o para cualquier otro fin (aguas de playa y cultivo de animales, por ejemplo) (ULPGC, 2023).

**Tabla 2-7:** Requisitos Microbiológicos

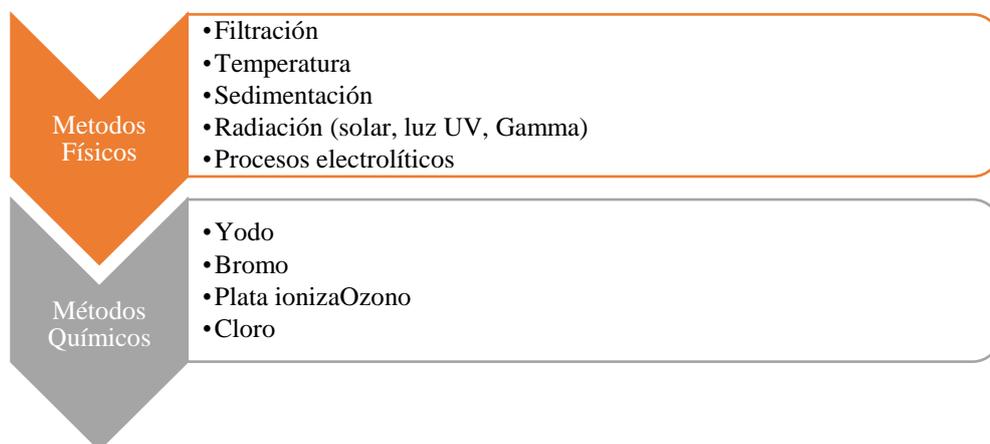
	Máximo
Coliformes fecales (1):	< 1,1 *
Tubos múltiples NMP/100 ml o	< 1 **
Filtración por membrana ufc/ 100 ml	
<i>Cryptosporidium</i> , número de ooquistes/ litro	Ausencia
<i>Giardia</i> , número de quistes/ litro	Ausencia
* < 1,1 significa que en el ensayo del NMP utilizando 5 tubos de 20 cm <sup>3</sup> ó 10 tubos de 10 cm <sup>3</sup> ninguno es positivo	
**< 1 significa que no se observan colonias	
(1) ver el anexo 1, para el número de unidades (muestras) a tomar de acuerdo con la población servida.	

Fuente: (INEN, 2014).

## 2.5. Métodos de potabilización

La desinfección dentro de los sistemas de tratamiento de agua potable y residual sirve para destruir microorganismos capaces de causar enfermedades de origen hídrico y es considerada como el mecanismo esencial para proteger a los seres humanos de la posible exposición a focos infecciosos por este medio (Comisión Nacional del Agua, 2007, p. 21).

La ilustración 2-2 indica los métodos más comunes para desinfección, también pueden darse combinaciones de estos como: filtración/cloración y floculación/cloración.



**Ilustración 2-2:** Principales métodos de desinfección

Fuente: (Comisión Nacional del Agua, 2007).

### 2.5.1. Métodos químicos

#### 2.5.1.1. Yodo

Todos los halógenos son desinfectantes. El yodo es el de mayor peso atómico y por su bajo poder oxidante resulta el más estable; por esta razón sus residuales se conservan mucho más tiempo que los del cloro. El mecanismo de desinfección es similar al del cloro pues al contacto con el agua produce ácido hipoyodoso.

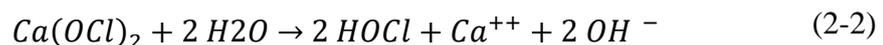


Con una dosis de 0.5 mg/l se destruye el 99.99% de Escherichia coli en un minuto y de quistes de amebas en 100 minutos (Cáceres, 1990). Su desventaja radica en que su aplicación requiere el uso de un neutralizante, resultando costoso para ser usado en grandes volúmenes de agua. Aún no se han determinado con exactitud sus efectos secundarios.

#### 2.5.1.2. Cloro

Es un desinfectante de gran poder bactericida, aún en dosis pequeñas. Es económico y de fácil empleo -aunque requiere precaución en su manejo-. Es el reactivo más usado a nivel mundial tanto en los sistemas de agua potable como residual; uno de sus derivados más comunes es el Hipoclorito de calcio.

El hipoclorito de calcio es el precipitado que se forma al disolver cloro gaseoso en una solución de óxido de calcio (cal) e hidróxido de sodio. Se presenta en estado sólido, ya sea en forma granular de color blanquecino con 30 a 70 % de cloro activo, o bien, como tabletas (con 70 %). La reacción del hipoclorito de calcio con el agua es como sigue:



### 2.5.2. Métodos físicos

Se caracterizan porque reducen la concentración de organismos por daño en la pared o membrana celular o alteración de su fisiología ocasionándoles la muerte (Singh, 1990).

### 2.5.2.1. Sedimentación

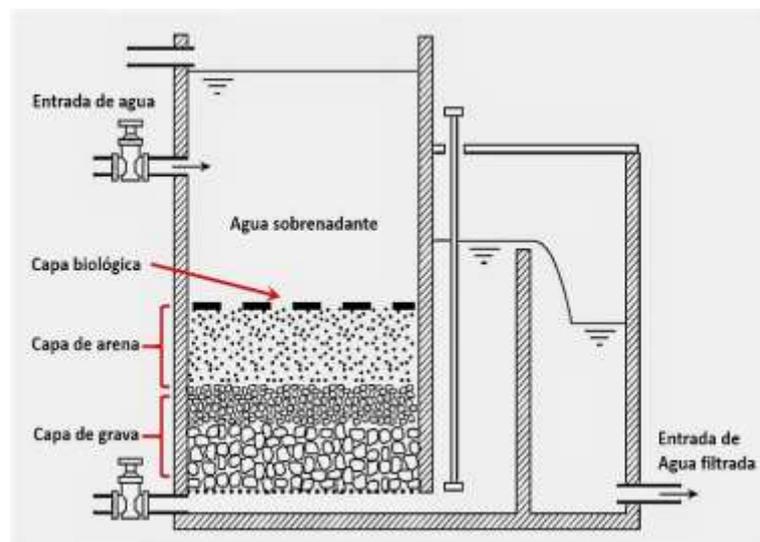
Este es un proceso por el cual los sólidos y materiales en suspensión realizan decantación por acción de la gravedad. La decantación natural del material fino ayuda a la remoción de las bacterias, su eficiencia depende del tiempo de retención y el sistema de flujo en el sistema.

Los sistemas de tratamiento que se emplean para desinfectar casi exclusivamente agua residual son los embalses, las lagunas de maduración y el tratamiento primario avanzado. Este último sólo remueve huevos de helminto y no patógenos de menor tamaño y densidad (Guía de purificadores de agua, 2017, p. 22).

### 2.5.2.2. Filtración

Este método consiste en hacer pasar una mezcla sólida-líquida a través de un medio poroso (filtro), que retiene los sólidos y permite el paso de los líquidos, disminuyendo la carga de sólidos y material coloidal en el agua. Se aplica solo o combinado después de la floculación biológica o química (Guía de purificadores de agua, 2017, p. 21).

Dependiendo de la velocidad de paso del agua se conocen los filtros lentos (<1 m/h) y los rápidos (>2 m/h). De las diversas variantes los que se emplean específicamente para remover patógenos son los filtros lentos de arena para agua potable y los procesos de membranas en agua residual y potable (Guía de purificadores de agua, 2017, p. 21).



**Ilustración 2-3:** Filtro lento de arena

Fuente: (Bruni, 2023)

## **2.6. Filtro lento**

La filtración biológica se consigue al hacer circular el agua cruda a través de un manto poroso de arena. Durante el proceso las impurezas entran en contacto con la superficie de las partículas del medio filtrante y son retenidas, desarrollándose adicionalmente procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples (Blacio & Palacios , 2023).

El filtro lento se utiliza principalmente para eliminar la turbiedad del agua, siempre y cuando esta maneje unos indicadores medios (de 10 a 20 unidades nefelométricas de turbiedad), pero si se diseña y opera apropiadamente, puede ser considerado como un sistema de desinfección del agua (Torres & Villanueva, 2014).

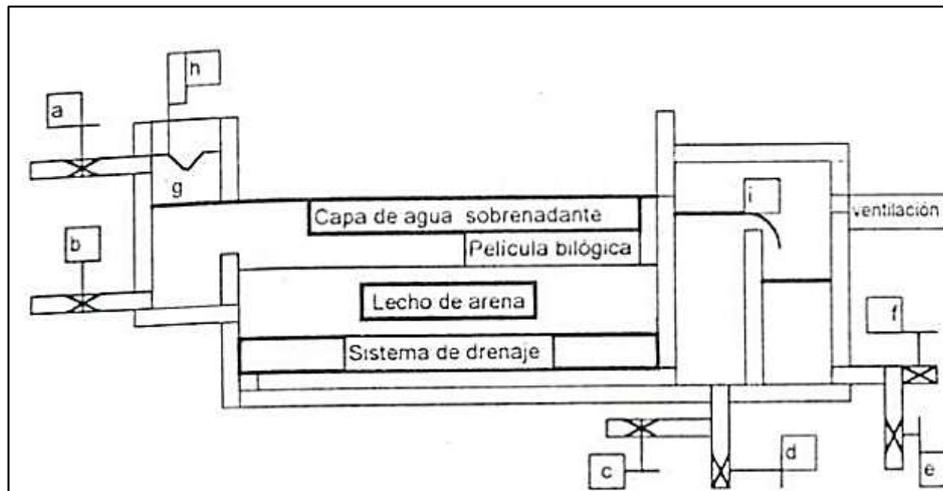
El filtro lento se caracteriza por ser un sistema sencillo, limpio y a la vez eficiente para el tratamiento de agua. Su simplicidad y bajo costo de operación y mantenimiento lo convierten en un sistema ideal para implementar en zonas rurales y pequeñas comunidades, 2 1 teniendo en cuenta además que los costos por área de terreno son comparativamente menores en estas zonas y las viviendas son autoconstruidas (Torres & Villanueva, 2014).

### ***2.6.1. Elementos de un filtro lento***

Un filtro lento de arena consta varios elementos dentro de una estructura contenedora que puede ser un tanque de hormigón armado o de PVC, los elementos básicos que puede tener son:

- Una capa sobrenadante de agua cruda.
- Un lecho de arena filtrante.
- Un sistema de drenaje.
- Una estructura de entrada y salida.
- Un conjunto de dispositivos reguladores y de control.

El flujo de agua en un filtro lento de arena puede regularse a la salida o a la entrada del filtro y el método seleccionado puede afectar ligeramente la estructura, los dispositivos de control y el funcionamiento (Blacio & Palacios , 2023).



**Ilustración 2-4:** Esquema de un filtro lento con regulación en la entrada

**Fuente:** (Blacio & Palacios , 2023).

En la ilustración 2-4 se muestra el esquema de una planta piloto y la descripción de sus componentes se indica a continuación:

- a) Válvula para dar entrada al agua cruda y regular la velocidad de filtración
- b) Dispositivo para drenar la capa sobrenadante
- c) Válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia
- d) Válvula para llenar el lecho filtrante con agua limpia
- e) Válvula para desechar agua tratada
- f) Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua limpia
- g) Vertedero de entrada
- h) Indicados Calibrado de flujo
- i) Vertedero de salida.

## 2.7. Condiciones requeridas para filtración lenta

Los factores determinantes para la selección de filtros lentos son la calidad de la fuente de agua y el tamaño de la comunidad.

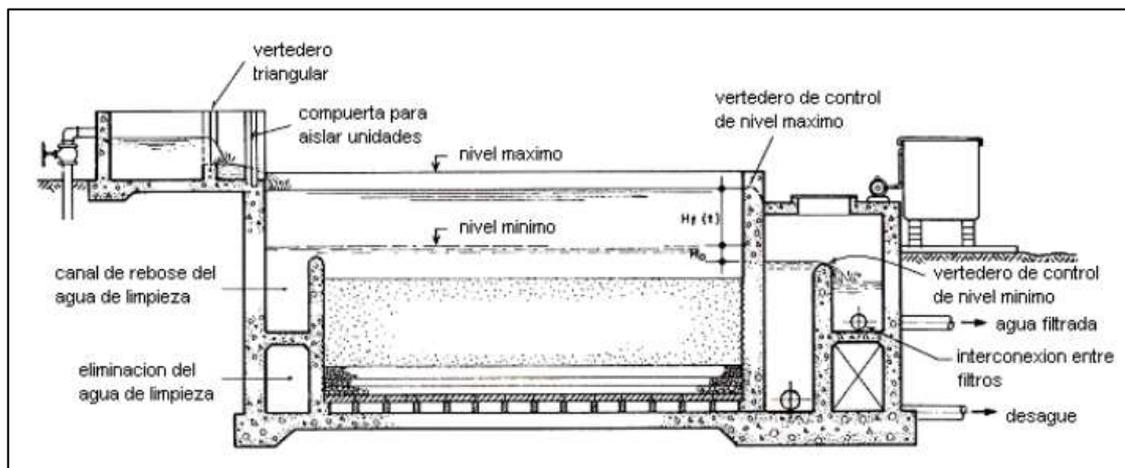
### 2.7.1. Calidad del agua

La calidad del agua cruda determina el tiempo entre raspados de la arena. La filtración lenta con arena está limitada a aguas crudas que permitan tiempos de funcionamiento largos. El tiempo de funcionamiento disminuye debido a varios tipos de partículas que causan pérdida de carga, incluyendo sedimentos minerales, restos orgánicos, bacterias y otros microorganismos. Cuando la turbiedad es alta, serán más probables que se den periodos de funcionamiento cortos.

Los requisitos para la filtración lenta con arena, establece una turbiedad estándar de  $\leq 1$  NTU en el 95% del tiempo, con lecturas no mayores a 5 NTU. Es un requisito que un desinfectante residual  $\geq 0,2$  mg/L. sea mantenido. La combinación de filtración y desinfección debe lograr la remoción de  $\geq 4$ -log de virus (Blacio & Palacios , 2023, p. 37).

### 2.7.2. *Tamaño de la comunidad*

El uso de filtros lentos de arena es apropiado en comunidades “pequeñas”. La motivación para el uso de estos es su bajo costo anual más la operación confiable y efectiva. El tamaño de la comunidad determina si el uso de filtros lentos de arena es lo más apropiado (Blacio & Palacios , 2023, p. 38).



**Ilustración 2-5:** Configuración de un filtro lento

Fuente: (Blacio & Palacios , 2023, p. 38).

### 2.7.3. *Caja de filtración y su estructura de entrada*

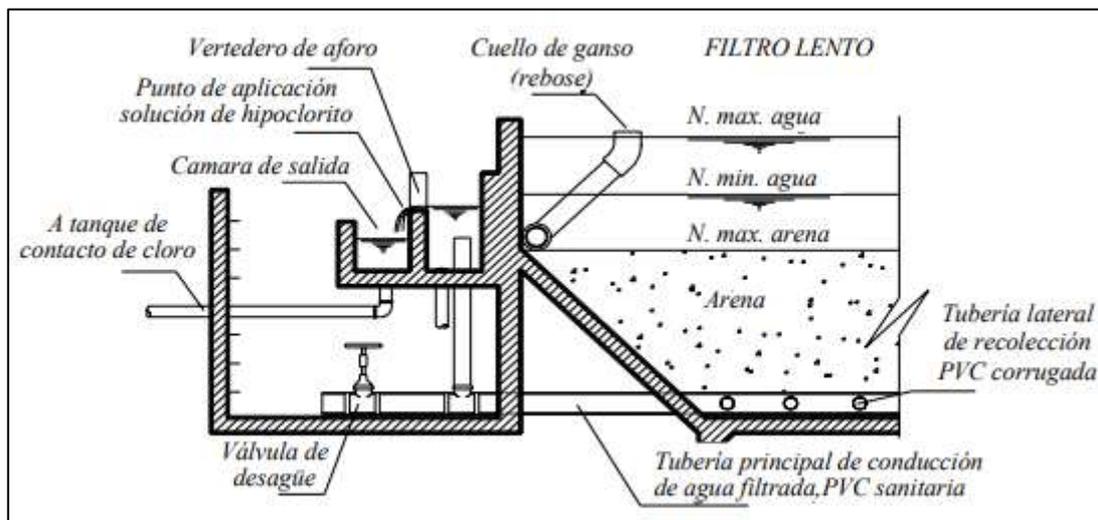
La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración y el número de filtros especificados para operar en paralelo. Se recomiendan áreas de filtración máxima por módulo de 100 m<sup>2</sup> para facilitar las labores manuales de operación y mantenimiento el filtro. La estructura consta de un vertedor de excesos, canales o conductos para distribución, dispositivos para medición y control de flujo, cámara de entrada y ventana de acceso al filtro propiamente dicho (UNATSABAR, 2005).

#### 2.7.4. Lecho filtrante

El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica. La arena no debe contener más de 2% de carbonato de calcio y magnesio. La velocidad de filtración varía entre los 0.1 y 0.2 m/h dependiendo de la calidad del agua cruda. A mayor contaminación del agua afluente menor velocidad de filtración.

#### 2.7.5. Sistema de drenaje, que incluye lecho de soporte y cámara de salida

El nivel mínimo del filtro se controla mediante el vertedero de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0.10 m. por encima de la superficie del lecho filtrante.



**Ilustración 2-6:** Esquema de ingreso a un filtro lento

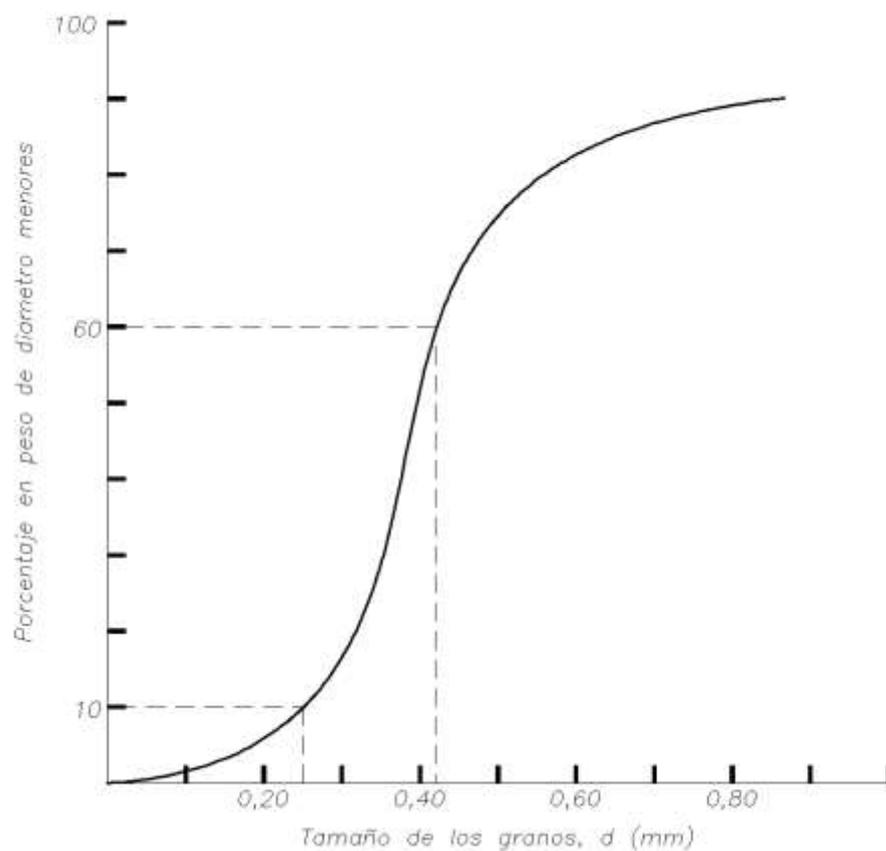
Fuente: (UNATSABAR, 2005).

#### 2.7.6. Arenas

Los parámetros más importantes son: el tamaño de los granos, que se determina por el diámetro efectivo  $d_{10}$  y su distribución granulométrica determinada por el coeficiente de uniformidad CU. Estos parámetros afectan la eficiencia de purificación del filtro lento. El diámetro efectivo, o el tamaño efectivo, es la abertura del tamiz a través del cual pasara el 10% (por peso) de los granos (es decir  $d_{10}$ ). El coeficiente de uniformidad es la relación entre el diámetro efectivo y la abertura del tamiz a través del cual pasara un 60% (por peso) de los granos ( $d_{60}$ ):  $CU = d_{60}/d_{10}$ . La arena usada en los filtros lentos debe ser relativamente fina y tener un diámetro efectivo entre 0,15 y 0,35 mm. Y un coeficiente de uniformidad menor a 5, preferiblemente entre 2 y 3,5 (Blacio & Palacios, 2023).

El tamaño efectivo y el coeficiente de uniformidad se identifican con un análisis granulométrico, y los resultados pueden disponerse con un cuadro. El procedimiento es el siguiente:

- Se toma una muestra representativa de arena, se lava bien la muestra para extraer impurezas y se deja secar.
- Después se tamiza una cantidad aproximadamente de 500 g de arena seca pasándola a través de una serie de tamices estándar. Se continúa tamizando por 15 minutos y se usa un agitador mecánico de tamices.
- Se pesa la arena que queda en el tamiz más grueso, y se añade la que quedo retenida en cada uno de los tamices subsiguientes.



**Ilustración 2-7:** Distribución de los tamaños de granos de arena

**Fuente:** (Blacio & Palacios , 2023)

El diámetro efectivo de arena  $d_{10}$ , debe ser lo necesariamente pequeño como para asegurar una calidad del efluente y para prevenir la obstrucción en cuestión de su profundidad. Este diámetro efectivo generalmente está en un rango de 0.15-0.35 mm y es determinado por medio de ensayos. El coeficiente de uniformidad se restringe de manera que la arena tenga suficiente porosidad, se recomienda un límite superior de  $CU \leq 3$  (Blacio & Palacios , 2023, p. 46).

### **2.7.7. Soporte de grava**

Por definición, un drenaje uniforme requiere una pérdida mínima de carga. Para lograr ambos propósitos, el soporte de grava debe ser graduado, con el material más fino en el tope y con el material más grueso en el fondo (Blacio & Palacios , 2023, p. 48).

La capa superior del soporte de grava no debe permitir paso de arena del lecho de arena, además ninguna grava de un nivel debe pasar a un nivel inferior. La capa de fondo no debe permitir la entrada de gravas hacia los orificios del drenaje inferior (Blacio & Palacios , 2023, p. 48).

El grosor de cada capa de grava debe ser mayor que tres veces el diámetro de la piedra más larga. Además, el ancho mínimo de las capas de grava debe ser 5-7 cm para el material más fino y 8-12 cm para el material más grueso. Se recomienda el uso de gravas duras, redondeadas para el soporte de grava y que el sistema de drenaje inferior sea compuesto por al menos cuatro capas (Blacio & Palacios , 2023, p. 48).

### **2.7.8. Carbón activado**

El carbón activado es un término general que denomina a toda una gama de productos derivados de materiales carbonosos. Es un material que tiene un área superficial excepcionalmente alta (Universidad de Sevilla, 2023, p. 10).

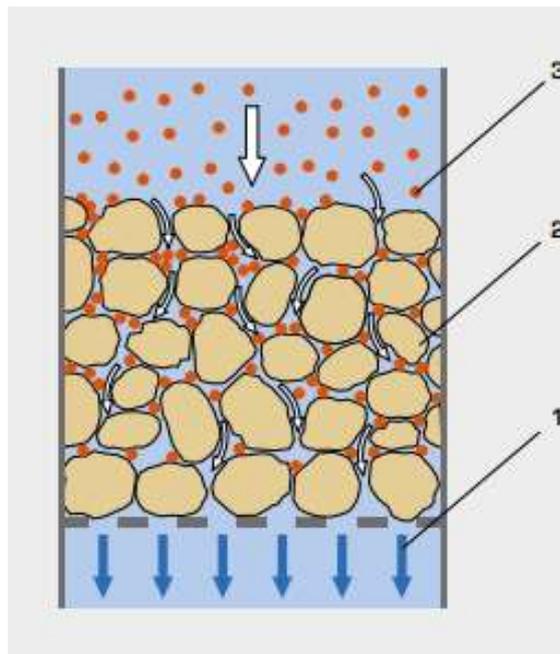
El nombre de carbón activado se aplica a una serie de carbones porosos preparados artificialmente a través de un proceso de carbonización, para que exhiban un elevado grado de porosidad y una alta superficie interna. Es un producto obtenido a partir del carbón amorfo, el cual se ha sometido a un tratamiento de activación con el fin de incrementar su área superficial hasta 300 veces debido a la formación de poros internos, pudiendo alcanzarse áreas de 1200 -1500 m<sup>2</sup> /g de carbón (Universidad de Sevilla, 2023, p. 10).

## **2.8. Filtro de lecho profundo**

En la filtración de lecho profundo, el agua bruta atraviesa un medio filtrante depositado en forma de lecho. Como medios filtrantes se usan frecuentemente arena y grava. El agua bruta fluye por los intersticios del lecho filtrante, donde se retienen los sólidos. El agua tratada atraviesa el lecho filtrante sin obstáculos. Con el paso del tiempo se va acumulando una cantidad cada vez mayor de sólidos en los intersticios del lecho filtrante (GUNT HAMBURG, 2023, p. 1).

Esto hace que la sección de paso disminuya. En consecuencia, aumenta la resistencia que el filtro opone al flujo. Esta resistencia se manifiesta como una pérdida de presión. El flujo a través del filtro disminuye, o sólo se puede mantener incrementando la presión en la corriente de entrada al filtro. Los sólidos depositados se pueden eliminar por lavado en sentido inverso.

En la ilustración 2-8 se puede apreciar la metodología de trabajo de un filtro profundo donde se muestra con: 1 agua depurada (filtrado), 2 medio filtrante 3 sólidos.



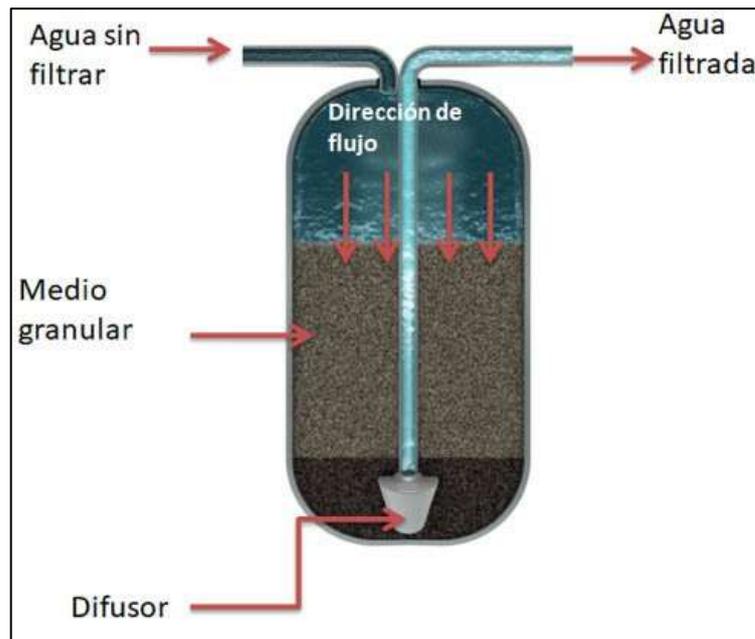
**Ilustración 2-8:** Filtración de lecho profundo

**Fuente:** (GUNT HAMBURG, 2023)

La tecnología de filtración conocida como lecho profundo supera por mucho a la vieja tecnología de filtración por arena. Los filtros para sedimentos son capaces de remover partículas con tamaño de 10 micras, obteniendo agua de aspecto transparente. (HIDROAGUA, 2023, p. 8).

### **2.8.1. Elementos del filtro de lecho profundo**

El filtro está compuesto por un lecho filtrante con 5 tipos diferentes de medias que permiten atrapar los sedimentos en la profundidad de la cama y no en la superficie dándole así un tratamiento adecuado al agua. (HIDROAGUA, 2023, p. 8).



**Ilustración 2-9:** Elementos de un filtro de lecho profundo

Fuente: (Carbotecnia, 2023)

Los elementos básicos que suele tener un filtro de lecho profundo son:

- Tanque de media filtrante: Fabricado de una sola pieza termoplástica grado FDA revestida de fibra de vidrio, asegurando que el tanque sea libre de mantenimiento.
- Control: Válvula de alta tecnología de control electrónico digital, cuenta con pantalla de información y puertos para accesorios.
- Media filtrante: Lecho constituido por las siguientes medias filtrantes granulares:

### 2.8.2. *Condiciones de operación*

Estos filtros requieren cumplir con ciertas condiciones para que su operación sea correcta, entre las más destacadas están que su presión mínima: 20 psi (1,4 kg/cm<sup>2</sup>); el voltaje de trabajo es de 12 VAC; se requiere de transformador encapsulado externo de 127 VAC, 60Hz, la temperatura de trabajo suele estar entre: 10°C-30°C (HIDROAGUA, 2023, p. 8).

### 2.8.3. *Medios granulares para un filtro de lecho profundo*

El tamaño de las partículas del medio granular filtrante debe ser suficientemente grande para permitir que un porcentaje importante de los sólidos suspendidos a retener penetre entre dos y cuatro pulgadas de profundidad en el lecho. (Carbotecnia, 2023)

El tamaño de los medios granulares se especifica en términos de tamaño efectivo de partícula y del coeficiente de uniformidad. El tamaño efectivo de partícula es la abertura de una malla que dejase pasar el 10% en peso de las partículas del medio granular. El coeficiente de uniformidad resulta de dividir la abertura de una malla que dejase pasar el 60% en peso de las partículas del medio granular, entre el tamaño efectivo de partícula. El tamaño efectivo de partícula suele reportarse en milímetros, y el coeficiente de uniformidad es adimensional (Carbotecnia, 2023).

Con el objeto de aumentar el tiempo de operación de una cama filtrante formada por un medio granular, se pueden instalar dos o tres medios granulares que la conformen. En la parte superior se coloca el medio granular de partículas más grandes y de menor densidad de partícula. En la parte inferior se coloca el de partículas más pequeñas y de mayor densidad de partícula.

En la Tabla 2-8 se enlistan los materiales que se usan para la filtración en lecho multicama, recomendados por la American Water Works Association.

**Tabla 2-8:** Especificaciones de materiales para filtros multicama

Medio granular	Tamaño de partícula	Coefficiente de uniformidad	Gravedad específica	Solubilidad en ácido
<b>Antracita</b>	0,6-1,6 mm	<1,7	>1,4	<5%
<b>Arena sílica</b>	0,35-0,65 mm	<1,7	>2,5	<5%
<b>Granate</b>	0,18-0,60 mm	<2,2	>3,8	<5%

Fuente: AWWA. (2016). ANSI/AWWA B100-16 Granular Filter Material. American Water Works Association.

#### 2.8.4. Cálculo de los materiales del filtro de lecho profundo

Los cálculos del filtro de lecho profundo siguen los lineamientos del proyecto de Beteta, (2011), donde se inicia con el cálculo del caudal medio, se tendrá en cuenta el número de habitantes y la dotación correspondiente, que es el número de litros de agua que consume un habitante por día (Beteta, 2011).

##### 2.8.4.1. Caudal medio diario

La determinación del caudal medio diario se realiza mediante la siguiente ecuación

$$Q_m = \frac{P \cdot D}{24000} \quad (2-3)$$

Donde:

Qm: caudal medio

P: población

D: dotación de la población de estudio

#### 2.8.4.2. Caudal punta

El caudal de punta sirve para sobredimensionar el filtro, esto en caso de que se presente un pico de caudales, se intenta de este modo asegurar el funcionamiento correcto del filtro en todo momento. (Beteta, 2011)

$$Q_p = Q_m \cdot \left( 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \right) \quad (2-4)$$

Donde:

Qp: Caudal punta

Qm: Caudal Medio

Se puede establecer con ello un coeficiente de sobredimensionamiento o coeficiente de punta que sirva para posteriores investigaciones o proyectos con la ecuación (2-5)

$$C_p = \frac{Q_p}{Q_m} \quad (2-5)$$

Donde:

Cp: Coeficiente de punta

Qp: Caudal punta

Qm: Caudal Medio

#### 2.8.5. Cargas contaminantes

Para el cálculo de las cargas contaminantes se utilizarán los parámetros de la siguiente tabla 2.9 extraídos del proyecto de (Beteta, 2011, p. 157), donde se especifica la carga contaminante que genera cada habitante al día.

**Tabla 2-9:** Cargas contaminantes por persona y día.

Parámetro Carga (g/Hab/día)	Parámetro Carga (g/Hab/día)
DQO	140
DBO5	70
NKT	10
70	
PTotal	2,5
SS	80

Fuente: (Beteta, 2011).

### 2.8.6. Dimensionamiento del filtro

El primer cálculo es determinar el volumen del filtro con la ecuación siguiente

$$V_f = \pi r^2 h \quad (2-6)$$

Donde:

V<sub>f</sub>: volumen del filtro

r: radio del filtro

h: altura del filtro.

El área superficial del filtro se calcula con la ecuación siguiente indicada en el texto de Beteta. (2011).

$$A = S \cdot V_f \quad (2-7)$$

Donde:

A: área del filtro

S: factor de área

h: altura del filtro.

#### 2.8.6.1. Tiempo de retención

$$t = \frac{C * D}{q^n} \quad (2-8)$$

Donde:

t: tiempo de retención

C: constante de permeabilidad

q: caudal de tratamiento

Para el cálculo de la velocidad de filtración se tiene la siguiente ecuación sencilla

$$V = q * h \quad (2-9)$$

Donde:

V: velocidad de filtración

q: caudal de tratamiento

h: nivel de agua en el filtro

### 2.8.6.2. Carga hidráulica vertical & carga hidráulica superficial

Es necesario verificar la carga hidráulica vertical y superficial que se tendrá dentro del filtro para ello se utilizan las ecuaciones 2-11 y 2-12

$$CHV = \frac{q}{V_f} \quad (2-10)$$

$$CHS = \frac{q}{A_s} \quad (2-11)$$

Donde:

CHV: carga hidráulica vertical

CHS: carga hidráulica superficial

q: caudal de tratamiento

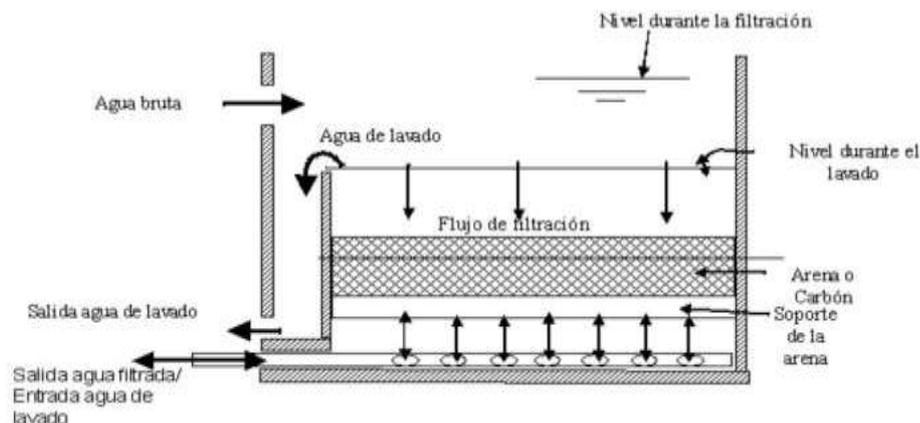
As: superficie del filtro

Vf: volumen del filtro

## 2.9. Filtro lento de arena

La filtración lenta se logra traspasando el agua cruda a través de un manto poroso como la arena. Durante este proceso, las impurezas son retenidas por las partículas del medio filtrante, también se generan procesos de degradación química y biológica que reducen la materia retenida a formas más simples, las cuales son llevadas en solución a las capas más profundas o incluso permanecen como material inerte en la superficie, hasta su retiro o limpieza (MVCS, 2018).

El agua cruda permanece sobre el medio filtrante de tres a doce horas, En este tiempo, las partículas más pesadas que se encuentran en suspensión sedimentan y las partículas más ligeras se pueden aglutinar, llegando a ser más fácil su remoción posterior (MVCS, 2018).



**Ilustración 2-10:** Filtro de flujo descendente.

Fuente: MVCS (2018).

Como el rendimiento del filtro lento depende principalmente del proceso biológico, su eficiencia inicial es baja, mejorando ésta a medida que progresa la carrera de filtración, proceso que se conoce con el nombre de "maduración del filtro" MVCS (2018).

### 2.9.1. Componentes

Los filtros lentos de arena están compuestos por los siguientes elementos:

#### 2.9.1.1. Entrada

Puede ser un canal o tubería para distribución, dispositivos para medición y control de flujo.

#### 2.9.1.2. Cámara de filtración y lechos filtrantes y de soporte

La caja del filtro posee un área superficial condicionada por el caudal a tratar, la velocidad de filtración. El medio filtrante debe estar compuesto por granos de arena duros y redondeados, libres de arcilla y materia orgánica, la configuración más adecuada es la indica en la ilustración 2-11:



**Ilustración 2-11:** Filtro de flujo descendente.

Elaborado por: Loor & Pulla (2023).

#### 2.9.1.3. Salida

Suele ser una tubería perforada o canaleta ubicada en la parte inferior del lecho filtrante, en el interior del lecho soporte. Esta a su vez se emplea como drenaje y recolección de agua filtrada.

#### 2.9.1.4. Drenaje

El nivel mínimo del filtro se controla mediante la tubería de salida, el cual se debe ubicar en el mismo nivel o 0,10 m. por encima de la superficie del lecho filtrante. El conducto de salida es una tubería de diámetro variable.

#### 2.9.1.5. Capa de agua sobrenadante

En un filtro con control a la entrada, la carga inicial es cercana a 0,05 m, valor que gradualmente se incrementa hasta alcanzar el nivel máximo, oscilando entre 1 y 1,5 m.

#### 2.9.1.6. Accesorios de regulación y control: normalmente incluyen:

- Válvula para controlar entrada de agua pretratada y regular velocidad de filtración
- Conexión para llenar lecho filtrante con agua limpia
- Válvula para drenar lecho filtrante
- Válvula para desechar agua tratada
- Válvula para suministrar agua tratada al depósito de agua tratada
- Vertedero de entrada
- Indicador calibrado de flujo
- Vertedero de salida
- Vertedero de excesos

### 2.10. Criterios de diseño

Los criterios para el diseño del filtro lento de área son los estipulados en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural. (2018), misma que establece los siguientes parámetros o recomendaciones a seguir:

- La velocidad de filtración debe considerarse entre 0,1 - 0,3 m/h, dependiendo del pretratamiento del agua cruda
- La altura del lecho filtrante debe oscilar entre 0,50 m y 0,80 m.
- La altura del lecho soporte incluido el drenaje debe estar comprendida entre 0,1 y 0,3m.
- La altura de sobrenadante del agua debe estar sobre 0,75 - 1,5 m.
- La distancia de la lámina de agua en rebose al borde libre debe ser de 0,2 m como mínimo.
- Capas de grava:

Espesor: 0,10 – 0,15 m -- Tamaño (D): 10 - 40 mm

Espesor: 0,05 m -- Tamaño efectivo (D10): 2 – 9 mm

- Capa de Arena Gruesa:

Espesor: 0,05 m -- Tamaño (D): 4 - 15 mm

- Capa de Arena de Filtro

Espesor: 0,80 m -- Tamaño (D): D=1,5 – 4 mm

Coefficiente de uniformidad D60/D10 < 4, siendo deseable que sea < 2

Que esté libre de materia orgánica y arcillas.

## **2.11. Dimensionamiento de un filtro lento**

### **2.11.1. Caudal de diseño**

El caudal de diseño se expresa en (m<sup>3</sup>/h)

Número de unidades (N): Mínimo dos unidades de filtración

### **2.11.2. Área superficial**

$$A_s = \frac{Q_d}{N \times V_f} \quad (2-12)$$

Donde:

A<sub>s</sub>: Área superficial (m<sup>2</sup>)

V<sub>f</sub>: velocidad de filtración (m/h)

Q<sub>d</sub>: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

N: número de unidades

### **2.11.3. Coeficiente de mínimo costo**

$$K = \frac{2 * N}{(N + 1)} \quad (2-13)$$

Donde:

K: Coeficiente de mínimo costo

N: número de unidades

### **2.11.4. Longitud de unidad**

$$L = (A_s * K)^{1/2} \quad (2-14)$$

Donde:

L: Longitud de unidad: (m)

K: Coeficiente de mínimo costo

N: número de unidades

### ***2.11.5. Ancho de unidad***

$$b = \left(\frac{As}{K}\right)^{1/2} \quad (2-15)$$

Donde:

b: ancho de la unidad

As: Área superficial (m<sup>2</sup>)

K: Coeficiente de mínimo costo

### ***2.11.6. Velocidad de filtración real***

$$VR = \frac{Qd}{2 * A * B} \quad (2-16)$$

Donde:

Qd: caudal de diseño (m<sup>3</sup>/h)

A: ancho adoptado de la unidad (m)

B: largo adoptado de la unidad (m)

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo de estudio

El presente trabajo de titulación es de carácter técnico que se realiza en los alrededores del tanque de almacenamiento de agua de la comunidad “Ballagán Muruquil”, donde se pretende implementar el filtro lento de carbón activado, que junto con el apoyo de la comunidad y la directiva que administra el agua, se busca su construcción y con las debidas pruebas de control para su correcto funcionamiento, de este trabajo se desprenden hojas de cálculo, capacitación sobre el correcto funcionamiento y mantenimiento del filtro, plano de taller con los elementos del filtro, mismo que serán entregados las autoridades competentes para su debida gestión.

#### 3.2. Tipo de investigación

La investigación científica utilizada en el proyecto se describe como un tipo de investigación que utiliza herramientas teóricas y prácticas permitiendo visualizar mejor el entorno e identificar los problemas presentes con el fin de determinar una solución (Behar, 2008, p. 16).

##### 3.2.1. *Investigación aproximativa o exploratoria*

Ya que no se cuenta con estudios previos suficientes, relacionados al presente proyecto, los resultados aportados por esta investigación pueden utilizarse para futuros proyectos.

##### 3.2.2. *Investigación explicativa*

Proporciona información de diversos factores o causas que se ven involucrados en el problema de investigación.

##### 3.2.3. *Investigación práctica o aplicada*

Emplea conocimientos y teoría para aplicarlos a la resolución de problemas dentro de una realidad específica de la comunidad.

#### **3.2.4. Investigación cuantitativa**

Caracterizada por entregar resultados numéricos que se interpretan como datos estadísticos, utilizados para el diseño de los elementos del parte del filtro y las cantidades a utilizar.

#### **3.2.5. Investigación documental**

En su inicio se identifica y se realiza recolección de información obtenida diversas fuentes como libros, informes técnicos, información estadística, información multimedia, oficios, reglamentos, etc., después se organiza y analiza esta información, con el fin de evidenciar el conocimiento técnico empleado en los prediseños de los componentes del sistema de filtro lento.

#### **3.2.6. Investigación de campo**

Este tipo de investigación recoge información en la zona mediante: encuestas realizadas a los pobladores, toma de muestras para estudios preliminares, estudio topográfico e hidrométrico. (Muñoz, 2015)

### **3.3. Metodología**

Los métodos de investigación utilizados en la elaboración del presente trabajo de titulación se detallan a continuación:

#### **3.3.1. Método inductivo deductivo**

Partiendo de las características propias del lugar y las observaciones hechas a la infraestructura actual, que para el presente proyecto de titulación se obtienen mediante una investigación de campo, donde se logró determinar que la implementación de un filtro lento de arena como tratamiento biológico para el agua de consumo doméstico de la población.

#### **3.3.2. Método explicativo**

Mediante este método se determina la razón o las causas que afectan al objeto de estudio, en este caso las razones por las cuales el agua cruda que utilizaba la población no es apta para el consumo humano y por qué se ha tenido que implantar un sistema de filtración.

### 3.4. Técnicas

Revisión bibliográfica

Levantamiento de información con equipos GPS

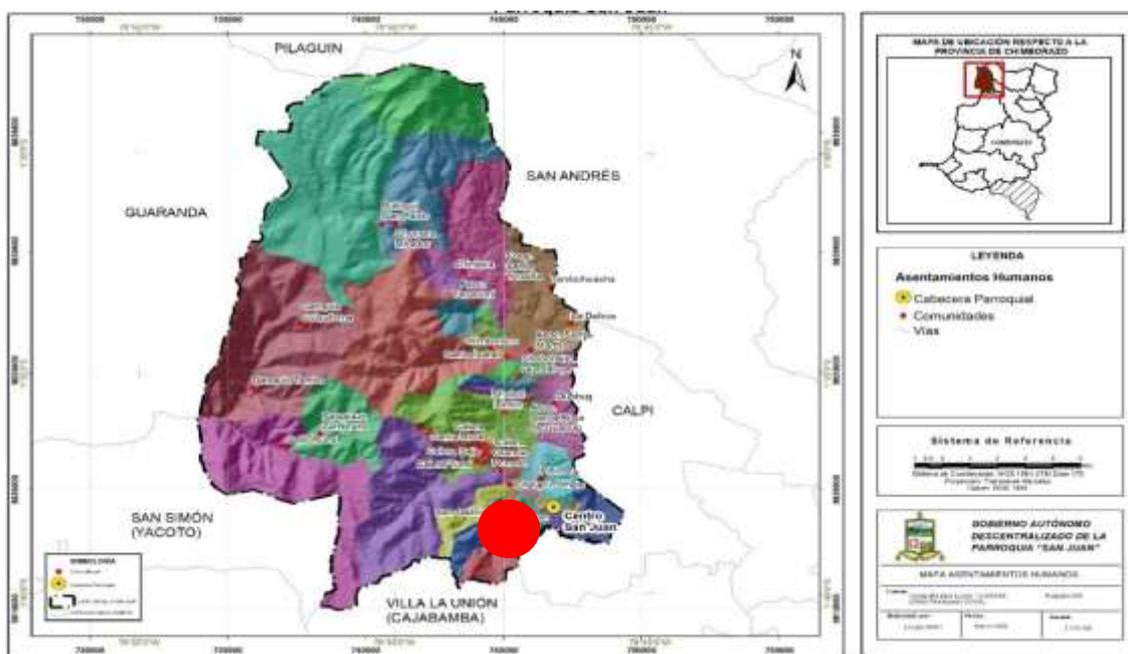
Dimensionamientos en hojas de cálculo

Implementación del proyecto.

### 3.5. Diagnóstico de la situación actual

#### 3.5.1. Ubicación del proyecto

El proyecto se encuentra en la comunidad “Ballagán Muruquil”, parroquia San Juan del cantón Riobamba de la Provincia De Chimborazo, tal como se indica en la ilustración 3-1.



**Ilustración 3-1:** Ubicación de la comunidad “Ballagán Muruquil”

Fuente: (GAD SAN JUAN, 2021).

#### 3.5.2. Infraestructura actual

Un sistema de agua potable para una comunidad rural, normalmente se comente de varios elementos, entre los que destacan la captación, tubería de conducción, tanque de desinfección y el tanque de almacenamiento que sirve a su vez como tanque de distribución del agua hacia la población.

### 3.5.2.1. Captación

La captación se hace desde un punto cercano al tanque de almacenamiento, se tiene un ojo de agua o manantial del cual fluye el agua, en este sitio se encuentra instalado un pequeño tanque que capta y dirige el agua hacia la tubería de conducción, sin embargo, se evidencia el estado deplorable de este, la ilustración 3-2 muestra corrosión en la tapa metálica, estos metales corroídos caen directamente en la fuente.



**Ilustración 3-2:** Captación de agua

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.5.2.2. Tuberías

El sistema de conducción de agua está compuesto por tuberías de plástico PVC de 25 y 19 mm de diámetro nominal, además de ello se evidencia que existen válvulas de cierre y llaves de paso en varios puntos, la ilustración 3-3 muestra en su izquierda la válvula de cierre, unión para el desfogue y el material del sistema.



**Ilustración 3-3:** Tuberías de conexión de la captación al tanque de almacenamiento

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.5.2.3. Filtración

El sistema de filtración de la comunidad se encuentra en desuso, actualmente no está siendo utilizado por lo que el agua captada es dirigida directamente al tanque de almacenamiento, sin tener ningún método de limpieza para el agua cruda.

### 3.5.2.4. Tanque de almacenamiento

El tanque de almacenamiento de agua es de tipo circular semienterrado con material predominante de hormigón armado, el volumen de almacenamiento es de aproximadamente 16 m<sup>3</sup>, se puede observar en la ilustración 3-4 que existe gran presencia de materia orgánica y humedad en su exterior, situación que se repite en su interior:

Al no estar en funcionamiento la filtración del sistema, el tanque recibe directamente el agua cargada con sólidos suspendidos, arenas y materia orgánica, se puede evidenciar que los sólidos que han decantado en el fondo del tanque.



**Ilustración 3-4:** Tanque de almacenamiento

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

## 3.6. Ensayos de la calidad del agua

Para realizar los ensayos y poder determinar la calidad del agua que se está consumiendo en la zona se tomaron muestras en varios lugares, mismos que se indican en la tabla a continuación:

**Tabla 3-1:** Ubicación de la toma de muestras

Ubicación	Puntos GPS
Punto de distribución Uno	S1° 38.714' W78° 47.881'
Punto de distribución dos (Anaguarqui)	S1° 38.763' W78° 47.880'
Primer punto de Consumo (Escuela)	S1° 38.650' W78° 47.895'
Segundo punto de Consumo	S1° 38.028' W78° 47.762'

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

En la ilustración 3-5 se indican en el lado izquierdo el punto de distribución uno y a su derecha y el punto de consumo en la escuela de la comunidad.



**Ilustración 3-5:** Punto de distribución y de consumo

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.6.1. Análisis físico – químico

El análisis físico y químico se realizó dentro de las instalaciones del Escuela Superior Politécnica de Chimborazo a través de su Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua; a continuación, se detalla el procedimiento seguido para cada análisis.

Para medir conductividad, sólidos disueltos y pH del agua, se coloca una cantidad pequeña de muestras de agua en un vaso de precipitación, y se mide con el multi parámetro, utilizando el programa correspondiente para cada parámetro, esto es conductividad, sólidos disueltos y pH mediante el electrodo, en cada caso se espera a que los valores se estabilicen.

El color se determina comparándolo con un fondo blanco y también utilizando el colorímetro, para ello se utilizan dos celdas previamente lavadas con agua destilada, luego se limpia

cuidadosamente antes de colocarlas en el colorímetro, y se iguala a cero, luego se coloca la muestra a analizar y a tomar la lectura.

De ser necesario se realizan diluciones de la muestra según amerite y se procede a realizar el procedimiento anterior, para medir el color.

Para medir la turbidez se limpia la celda con agua destilada, se la llena hasta la línea blanca se trabaja en un rango de 20, luego se coloca en la celda del turbidímetro para su respectiva lectura.

### *3.6.1.1. Análisis de dureza, cloruros y alcalinidad*

#### **Dureza**

En el caso de la dureza el procedimiento para el ensayo es el siguiente:

- Con la pipeta volumétrica, se recoge 25 mL de la muestra de agua y se procede a verter en el matraz enlermeyer.
- Se vierte 1 mL de KCN junto con el indicador de negro de eriocromo T
- Se vierte 2 mL de solución buffer
- Finalmente se vierte 10 mL de EDTA cambiando de color rosa a color celeste.
- Verificar el volumen de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> consumido en la titulación.
- Realizar los cálculos correspondientes.

#### **Alcalinidad**

En el caso de la Alcalinidad se sigue el procedimiento siguiente:

- Con la pipeta volumétrica se recoge 25 mL de la muestra y se procede a verter en el matraz enlermeyer.
- Se vierte 4 gotas de fenolftaleína obteniendo una coloración rosa.
- Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta obtener desaparición del color
- Se vierte 3 gotas de naranja de metilo
- Se vierte CaCO<sub>3</sub> hasta tener una coloración manzana
- Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta cambio a color amarillo (cola manzana)

#### **Cloruros**

- En un matraz enlermeyer se colocan 50 mL tomados con una pipeta volumétrica de una muestra de agua.
- Se añade 3 gotas de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.
- Titular con AgNO<sub>3</sub>, hasta que cambie la muestra a color ladrillo.

### 3.6.1.2. Demanda química de oxígeno (DQO)

El método de ensayo sigue los siguientes pasos:

#### 1. Preparación de la muestra:

- Añadir 2 mL de muestra (diluir la muestra dependiendo de su grado de contaminación), en un vial con solución digestiva para DQO.
- sujetar el vial por la tapa. Voltarlo varias veces para mezclarse calentara mucho durante la mezcla.
- Calentar durante 2 h en el digestor.
- Esperar que el vial se enfríe.

#### 2. Medición:

- Seleccionar en la pantalla: Programas almacenados.
- Seleccionar el test 435 DQO RA
- Limpiar bien el exterior del vial y colocar el blanco en el soporte del HACH DR 2800, cerrar la tapa protectora.
- ✓ Seleccionar en la pantalla: Cero
- ✓ La pantalla indicará: 0 ml/L DQO
- Limpiar bien el exterior del vial (la muestra) y colocar el tubo en el soporte
- HACH DR 2800, cerrar la tapa protectora.
- ✓ Seleccionar en la pantalla: Medición
- ✓ El resultado aparecerá en 0 ml/L DQO

### 3.6.1.3. Demanda biológica de oxígeno (DBO)

El procedimiento para el cálculo de la (DBO) tiene dos métodos. El primer método corresponde al gasométrico, en el que se debe seleccionar el rango de volumen de la muestra de la tabla 3-2.

**Tabla 3-2:** Ubicación de la toma de muestras

Rango	Volumen
0 – 35	420
0 – 70	355
0 – 350	160
0 – 700	95

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

Según la cantidad de agua se prepara la muestra sea esta entera o diluida, se agrega los nutrientes Ca, Fe, Mg, se analiza la condición de PH, se adiciona una capsula de NaOH sólido para evitar de gases y se observa la medición a los 5 días de realizado el ensayo.

El método 2 se realiza con el equipo de BOD TRACK, en cual también se debe seleccionar un rango de volumen de muestra de la tabla 3-3

**Tabla 3-3:** Ubicación de la toma de muestras

Rango	Volumen
0 – 1000	100
0 – 600	150
0 – 250	250
0 – 90	400

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

Según la cantidad de agua se prepara la muestra sea esta entera o diluida, se agrega los nutrientes Ca, Fe, Mg, se analiza la condición de PH, se colocan los cabezales BOD SENSOR SYSTEM 6 y se toma la medición diariamente y se reportan estos datos.

#### 3.6.1.4. *Determinación de la cantidad de fosfatos*

El procedimiento llevado es a través del equipo HACH DR2800 cuya referencia es la ilustración 3-6, los pasos a seguir son los siguientes:



**Ilustración 3-6:** Espectrómetro HAC DR2800

**Fuente:** Chemitech.id, 2023.

En la pantalla se dirige a “Programas Almacenados” y se selecciona el test: 490P react. PV.

**Para la muestra preparada:**

- Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con muestra
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de Phos Ver 3 en polvo.
- Agitar con rotación, para mezclar.

Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok

Comienza un periodo de reacción

**Preparar el blanco:**

- Llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con agua destilada.
- Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente
- Seleccionar en la pantalla: Cero
- La pantalla indicará: 0,00 mg/L  $\text{PO}_4^{-3}$
- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente
- Seleccionar en la pantalla: Medición

El resultado aparecerá en: mg/L  $\text{PO}_4^{-3}$ .

Un segundo método se esquematiza a continuación en la ilustración 3-7



**Ilustración 3-7:** Metodología para el análisis de la DBO

Fuente: (Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2023).

### 3.6.1.5. *Determinación de la cantidad de nitritos*

El procedimiento llevado es a través del equipo HACH DR2800, los pasos a seguir son los siguientes:

En la pantalla se dirige a “Programas Almacenados” y se selecciona el test: N Nitrito RB AV 375.

#### **La muestra preparada:**

- Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con muestra
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de Nitriver en polvo.
- Agitar con rotación, para mezclar.
- Después de mezclar se formará un color ámbar si existe nitratos.
- Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok
- Comienza un periodo de reacción

#### **Preparar el blanco:**

- Llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml hasta la marca 10 ml con agua destilada.
- Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente
- Seleccionar en la pantalla: cero
- La pantalla indicará: 0,00 mg/L NO<sup>-3</sup> - N
- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la cubeta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente
- Seleccionar en la pantalla: medición

El resultado aparecerá en: mg/l NO<sup>-3</sup> – N

### 3.6.1.6. *Determinación de la cantidad de Nitratos*

El procedimiento llevado es a través del equipo HACH DR2800, los pasos a seguir son los siguientes:

En la pantalla se dirige a “Programas Almacenados” y se selecciona el test: Nitrato RA PP 355

#### **La muestra preparada:**

- Llenar una cubeta cuadrada de una pulgada de 10ml hasta la marca 10 ml con muestra
- Añadir el contenido de un sobre de reactivo de NitraVer 5 en polvo.
- Agitar con rotación, para mezclar.

- Después de mezclar se formará un color ámbar si existe nitratos.
- Seleccionar en la pantalla el símbolo de temporizador y pulsar ok
- Comienza un periodo de reacción

**Preparar el blanco:**

- Llenar otra cubeta cuadrada de una pulgada de 10 ml
- hasta la marca 10 ml con agua destilada.
- Después de que suene el temporizador, limpiar bien el exterior de la cubeta
- (el blanco) y colocar el blanco en el soporte porta cubetas con la marca de
- llenado hacia el frente
- Seleccionar en la pantalla: Cero
- La pantalla indicará: 0,00 mg/L NO<sup>-3</sup> — N
- Limpiar bien el exterior de la cubeta (la muestra preparada) y colocar la
- cuneta en el soporte porta cubetas con la marca de llenado hacia el frente

Seleccionar en la pantalla: Medición

EL resultado aparecerá en: mg/L NO —N

*3.6.1.7. Cálculo de los sólidos totales*

El ensayo consiste en pesar una Caja Petri previamente tarada es decir vacía, posterior a ello se agita la muestra agua y se continua con la colocación de 25 ml de muestra sobre la caja.

La muestra se somete a baño maría hasta la sequedad y por último se introduce en el desecador por un tiempo de 15 minutos aproximadamente para finalmente realizar una nueva medición de la muestra.

**Preparación del crisol de porcelana**

Se introduce en la mufla el crisol, lo dejamos ahí a la temperatura y el tiempo indicado luego de transcurrir este tiempo, lo sacamos y dejamos enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador y finalmente pesamos el crisol.

**Preparación de la caja Petri de vidrio**

Se introduce en la estufa la caja Petri a la temperatura y el tiempo indicado, luego de transcurrir este tiempo la sacamos y dejamos que se enfríe a temperatura ambiente dentro de un desecador y finalmente pesamos la caja Petri.

### **Solidos suspendidos**

- Se pesa la membrana.
- Colocar esta membrana en el equipo donde filtraremos la muestra.
- Colocar la membrana en la estufa durante unos 15 minutos.
- Pesar la membrana que contiene los sólidos suspendidos.
- Realizar los cálculos y obtenemos el valor r de solidos suspendidos.
- Realizar los cálculos y obtenemos el valor r de solidos suspendidos.

### **Solidos Disueltos**

- Colocar 25 mL de la muestra filtrada en la caja Petri.
- Dejar a baño maría hasta que se seque el líquido.
- Una vez seco el líquido se coloca en la estufa de 10 a 15 minutos.
- Se deja hasta que se enfríe a temperatura ambiente.
- Finalmente se pesa la caja Petri con la muestra.
- Realizar los cálculos y obtener los sólidos disueltos.

### **Solidos sedimentables**

- Se Agita la muestra para homogenizar.
- Colocar 1000 mL de la muestra en el cono inhoff.
- Se debe dejar reposar por una hora.
- Por último, medir en mL los sólidos sedimentados de la muestra.

### **Solidos totales**

- Colocar 25 mL de la muestra agitada en la caja Petri.
- Dejamos a baño maría hasta que se seque el líquido.
- Una vez seco el líquido la colocamos en la estufa de 10 a 15 minutos.
- Dejamos que se enfríe a temperatura ambiente.
- Finalmente pesamos la caja Petri con la muestra.
- Realizamos los cálculos y obtenemos los sólidos totales.

### **Solidos Volátiles**

- Colocar la membrana en el crisol y lo pesamos.
- Posteriormente se introduce en la estufa a una temperatura de 550 °C
- Se calcina la muestra, y realizar los cálculos correspondientes.
- Los sólidos volátiles corresponden a los perdidos durante la calcinación.

### **Sólidos fijos**

- Colocar la membrana en el crisol y se pesa
- Posteriormente se introduce en la estufa a una temperatura de 550° C.
- Se calcina la muestra, realizar los cálculos correspondientes.
- Los Sólidos fijos corresponden a los residuos sólidos remanentes del calentamiento a 550° C.

#### *3.6.1.8. Determinación de metales pesados en agua por AA*

**1. Preparar soluciones estándar intermedias de 100 mg/L de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, o Zn:** Para cada metal por separado, tomar 10,0 mL del respectivo patrón de 1000 mg/L y llevar a volumen con agua desionizada en balón aforado de 100 mL.

**2. Estándares de calibración:** Los estándares para la curva de calibración en A.A. se preparan con agua acidulada, no se digieren. Las curvas se hacen con tres estándares de alta media y baja concentración hasta cubrir el rango de linealidad de acuerdo a lo obtenido en la validación y lo establecido en el manual del Espectrofotómetro.

#### **3. Digestión de blancos, estándar de control y muestras para el análisis de metales totales**

a. Preparar dos erlenmeyer de 125 mL marcados con blanco, dos con estándar de Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn y los necesarios para las muestras con duplicados requeridos. Agitar vigorosamente la muestra para homogenizarla.

b. Con probeta de 50 mL se toma una alícuota de 50 mL de agua desionizada para el blanco; 50 mL del estándar de control de 1 mg/L (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn) y 50 mL de muestras incluyendo duplicados. Entre cada toma de alícuota se enjuaga la probeta dos veces con agua desionizada y por último con agua acidulada.

c. Adicionar a cada erlenmeyer 5 mL de HNO<sub>3</sub> bajo en metales + 1 mL de peróxido de hidrógeno al 30% y agitar suavemente.

d. Iniciar el proceso de digestión con calentamiento suave, lo cual corresponde a nivel 8 en las planchas amarillas y nivel 9 en la azul, aproximadamente dos horas y media hasta que quede un residuo cercano a los 5 mL. Dejar enfriar y se enjuagar las paredes de los erlenmeyer con agua acidulada.

e. Preparar los embudos de polipropileno con el papel filtro en los soportes correspondientes de manera que el vástago quede dentro de los balones aforados clase A de 50 mL de boca ancha. Transferir cuantitativamente el producto de la digestión de los erlenmeyer a los balones correspondientes, realizando varios enjuagues. Completar a volumen con agua acidulada.

f. Agitar los balones para homogenizar la solución y se transferir a los frascos de polipropileno, previamente identificados con el código de la muestra o el estándar. En este momento se puede proceder a la lectura en el espectrofotómetro.

g. En caso de que la lectura no se vaya a realizar inmediatamente, es necesario almacenar los frascos en el cuarto frío.

#### **4. Procedimiento de análisis**

a. Para realizar el análisis de metales solubles realice las lecturas sobre el filtrado obtenido al pasar las muestras a través de filtro de acetato de celulosa de 0,45  $\mu\text{m}$  y preservarlas posteriormente con ácido nítrico hasta un  $\text{pH} < 2$ .

b. Para la determinación de metales totales, realice la digestión de la muestra, siguiendo los pasos dados en 3.

c. Consulte las condiciones para el metal a determinar y fíjelas en el equipo.

d. Introduzca la curva de calibración al equipo de acuerdo al instructivo.

e. Realice la lectura aspirando cada una de las muestras. La concentración de la muestra no debe sobrepasar el rango de concentración, ni la absorbancia obtenida en la curva de calibración para el estándar de más alta concentración.

En caso de que esto suceda es necesario diluir la muestra.

f. Registre en el Formato de Captura datos Espectrofotometría AA – análisis de metales TF0023 las lecturas de concentración y desviación estándar para cada muestra.

g. Lea un estándar de control cada cinco muestras y registre su lectura al igual que la de las muestras.

h. aspire agua desionizada y agua acidulada después de haber leído cada muestra para enjuagar el equipo.

i. Apague el equipo siguiendo el instructivo.

#### **5. Procesamiento de datos y cálculo de resultados**

a. El equipo reporta la concentración de cada ion metálico en  $\text{mg/L}$  referente a la apropiada curva de calibración. Si la muestra ha sido diluida, multiplicar por el factor de dilución. Si se requiere dilución de la muestra:  $\text{mg de metal/L de muestra } A = * (V_{\text{final}}/V_{\text{alícuota}})$ .

Siendo:  $A = \text{mg/L de metal en alícuota diluida o muestra procesada, de la curva de calibración,}$

$V_{\text{final}} = \text{Volumen al que se llevó la alícuota a diluir.}$

$V_{\text{alícuota}} = \text{mL tomados de alícuota de muestra.}$

#### **Determinación de la concentración de amonio o nitrógeno amoniacal en una muestra de agua**

- Preparar la solución estándar para utilizar como base de comparación de las

- demás muestras.
- Colocar en el balón 25 mL de la muestra de agua.
- Añadir 1 mL de la solución de sodio potasio tratado, 2 ml de la solución de Nessler.
- Llevar a 50 mL agitando para homogenizar.
- Dejar en reposo de 10 a 15 minutos para que se lleve a cabo la reacción.
- Primero medir la absorbancia de la solución estándar, para utilizar como base para
- comparar las demás muestras.
- Lavar el tubo en el que se coloca la solución estándar.
- Colocar en este tubo la muestra de agua solución, luego colocar en la cerda.
- Finalmente programar el colorímetro para calcular la absorbancia de la muestra.

### 3.7. Determinación del caudal en la fuente

Para obtener el cálculo del caudal de trabajo en base lo que entregan las fuentes al tanque de almacenamiento, se utilizó el método de medición volumétrico, cuyos resultados se indican en la tabla 3-4

**Tabla 3-4:** Calculo volumétrico del caudal.

Captación 1				
Prueba	Volumen (L)	Tiempo (s)	Tiempo promedio (s)	Caudal (L/s)
1	18,92	53,91	53,03	0,36
2	18,92	52,22		
3	18,92	53,46		
4	18,92	52,26		
5	18,92	53,48		
6	18,92	52,87		

Realizado por: Loo K & Pulla L, 2023.

El proceso consistió en llenar un recipiente plástico con agua, cuyo volumen es de 18,92 litros, y determinar el tiempo que este tarda realizar el llenado, debido a error de medida que se puede tener se realizaron 6 medidas distintas, con ello se concluye que el caudal que llega al tanque de almacenamiento es de 0,36 l/s

### 3.8. Alternativas de implementación

Se ha trabajado en dos alternativas de implementación para el proyecto, la primera un filtro de lecho profundo y la segunda un filtro lento de área, estas dos alternativas se describen en los siguientes numerales

#### 3.8.1. Filtro de lecho profundo a base de carbón y nextsand

La primera alternativa consiste en un sistema de filtración con botellas de fibra de vidrio y un sistema de válvulas de control, como se indica en la ilustración 3-8, el sistema realiza la filtración mediante un esquema de capas compuestas carbón, arena y grava.



**Ilustración 3-8:** Sistema de lecho profundo

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

#### 3.8.1.1. Dimensionamiento

El dimensionamiento realizado para determinar el filtro sigue los pasos indicados en el capítulo II, el proceso se indica a continuación:

Cálculo del caudal diario

$$Q_m = \frac{P \cdot D_{bruta}[L]}{24000} \left[ \frac{m^3}{h} \right] = \frac{291Hab \cdot 100 \frac{L}{Hab \cdot día}}{24000}$$
$$Q_m = 1,21 \frac{m^3}{h}$$

$$Q_d \left[ \frac{m^3}{\text{día}} \right] = Q_m \cdot \frac{24h}{1\text{día}} = 29,05 \frac{m^3}{\text{día}}$$

Cálculo del coeficiente y caudal de punta

$$Q_p \left[ \frac{m^3}{h} \right] = Q_m \cdot \left( 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{Q_m}} \right) = 1,21 \frac{m^3}{h} \cdot \left( 1,5 + \frac{2,5}{\sqrt{1,21 \frac{m^3}{h}}} \right)$$

$$Q_p = 4,57 \frac{m^3}{h}$$

$$Coef. Punta = \frac{Q_p}{Q_m} = \frac{4,57 \frac{m^3}{h}}{1,21 \frac{m^3}{h}} = 3,77$$

La tabla 3-5 indica los parámetros utilizados para el dimensionamiento del sistema.

**Tabla 3-5:** Parámetros para el dimensionamiento

Parámetro	Carga (g/Hab/día)
<b>DQO</b>	140
<b>DBO<sub>5</sub></b>	70
<b>NKT</b>	10
<b>P<sub>Total</sub></b>	2,5
<b>SS</b>	80

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

$$DQO = \frac{C \cdot Hab}{Q_d} = \frac{140 \frac{g}{hab \cdot día} \cdot 291hab}{29,05 \frac{m^3}{día}} = 1400 \frac{g}{m^3}$$

El sistema actúa como como pie reactor por lo que es necesario realizar el cálculo de la demanda química de oxígeno, tal como se indica a continuación:

Cálculo del valor máximo de DQO

$$DQO_{Max} = DQO \cdot Coef. Punta = 1400 \frac{g}{m^3} \cdot 3,77 = 5281,18 \frac{g}{m^3}$$

Cálculo de la carga diaria DQO

$$Carga\ diaria\ DQO \left[ \frac{Kg}{día} \right] = DQO \cdot Q_d = 1400 \frac{g}{m^3} \cdot 29,05 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{Kg}{1000g} = 40,67 Kg/día$$

Cálculo de la demanda biológica de oxígeno

$$DBO_5 = \frac{C \cdot Hab}{Q_d} = \frac{70 \frac{g}{hab \cdot día} \cdot 290hab}{29,05 \frac{m^3}{día}} = 700 \frac{g}{m^3}$$

$$DBO_{5max} = DBO_5 \cdot Coef. Punta = 700 \frac{g}{m^3} \cdot 3,77 = 2640,59 \frac{g}{m^3}$$

$$Carga\ diaria\ DBO_5 = DBO_5 \cdot Q_d = 700 \frac{g}{m^3} \cdot 29,05 \frac{m^3}{día} \cdot \frac{1Kg}{1000g} = 20,34 \frac{Kg}{día}$$

La base de dimensionamiento se indica en la tabla 3-6.

**Tabla 3-6:** Parámetros del dimensionamiento.

Características	Valor
<b><i>DBO<sub>5</sub></i></b>	700 $\frac{mg}{l}$
<b><i>DQO</i></b>	1400 $\frac{mg}{l}$
Temperatura	11.55°C
<b><i>DBO<sub>5</sub> Esperado</i></b>	100 $\frac{mg}{l}$
<b><i>DQO Esperado</i></b>	200 $\frac{mg}{l}$
Caudal de tratamiento máximo	57,88
Energía utilizada	gravedad
Tratamiento	Filtración biológica
Medio filtrante	Carbón Activado
Tipo de flujo	Vertical
Forma del filtro	Circular
Diámetro	30.48 cm
Altura	142.24cm
Fluido de contacto	Efluente sedimentador primario
Material de construcción	---

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

El siguiente paso es determinar el tiempo de retención de las partículas y el caudal de filtración, la constante de permeabilidad tiene un valor 0,0006 debido al uso del carbón activado.

$$q = 25,67 * 0,0284 = 0,729 \frac{m^3}{m^3 d}$$

$$q = 0,729 \frac{m^3}{m^3 d} * 0,67 m^3$$

$$q = 0,488 \frac{m^3}{día}$$

Tiempo de retención

$$t = \frac{C * D}{q^n}$$
$$t = \frac{0,0006 * 0,60 \text{ m}}{(0,488)^1} = 7,377 * 10^{-4} \text{ día}$$
$$t = 63,7372 \text{ s}$$

Velocidad de filtración

$$V = q * h$$
$$V = \left( 0,488 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ d}} \right) * (1,42 \text{ m}) = 0,693 \frac{\text{m}}{\text{día}} = 8.020 * 10^{-6} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

El cálculo de la Carga hidráulica vertical (CHV) y superficial (CHS) se indican a continuación

$$CHV = \frac{q}{V_f} = \frac{0,488 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{0,1003 \text{ m}^3} = 4,865 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^3 \text{ día}}$$
$$CHS = \frac{q}{A_s} = \frac{0,488 \frac{\text{m}^3}{\text{día}}}{5,015 \text{ m}^2} = 0,0973 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

Carga contaminante

$$CO = DBO_5 * Q = \left( 700 \frac{\text{g}}{\text{m}^3} \right) * 0,488 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ g}} = 0,336 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}$$

Carga orgánica vertical

$$COV = \frac{CO}{V_f} = \frac{0,336 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{0,1003 \text{ m}^3} = 3,349 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{m}^3 \text{ día}}$$

Carga orgánica superficial

$$COS = \frac{CO}{A_s} = \frac{0,336 \frac{\text{Kg}}{\text{día}}}{5,015 \text{ m}^2} = 0,0669 \frac{\text{Kg DBO}_5}{\text{m}^2 \text{ día}}$$

### 3.8.1.2. Costo de implementación

Una vez hecho el dimensionamiento del filtro, se procedió a calcular el costo total de la implementación del proyecto, buscando alternativas existentes en el mercado nacional, en la tabla 3-7 se muestra el detalle de los materiales necesarios y el costo de cada uno para su implementación.

**Tabla 3-7:** Costo sistema de filtración con botella de fibra de vidrio y válvula manual

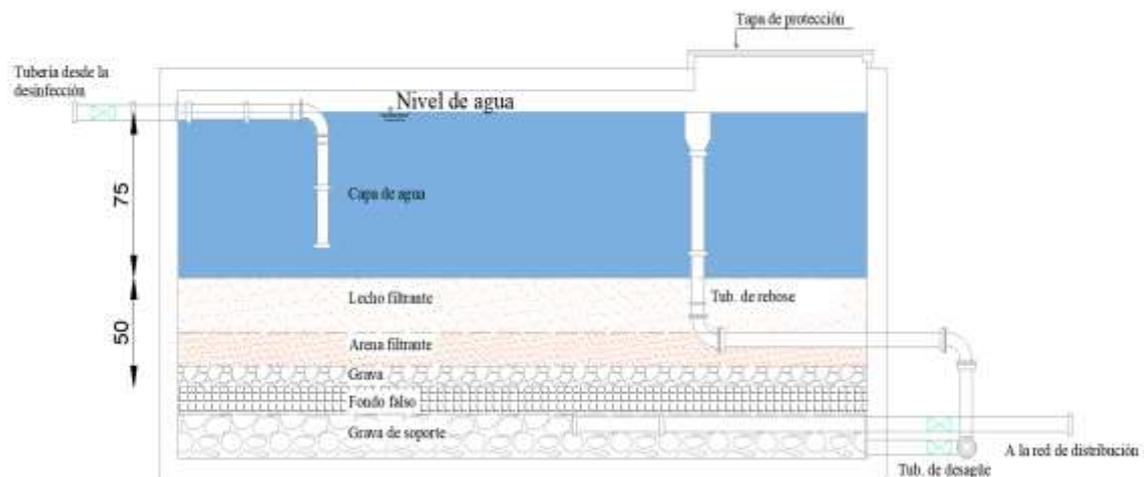
Material	Cantidad	V. Unitario	V. Total
Lecho de carbón y nextsand	1	1784,73	1784,73
Incluye: Botella de fibra de vidrio 18x65 con 6.23 ft3 de carga filtrante entre carbón, nextsand, grava y KDF, difusor, esparsor y válvula manual			
Lecho de resina (ablandador)	1	2498,54	2498,54
Incluye: Botella de fibra de vidrio 18x65 con 6.23 ft3 de carga de resina catiónica, difusor, esparsor, tanque para regeneración, 1 saco de sal industrial y válvula manual			
Mano de obra y materiales de instalación	1	400	400,00
		<b>Total:</b>	<b>5245,26</b>

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

El costo total de implementación es de \$5.245,26 esto debido a que la alternativa contempla un sistema complejo de trabajo.

### 3.8.2. Filtro lento de arena

El propósito de un filtro lento de arena es depurar el agua superficial dentro de un depósito, logrando remover organismos patógenos del agua cruda, es de lograr sobre que se forme sobre una capa biología sobre el lecho filtrante que se encargue de purificar el agua



**Ilustración 3-9:** Esquema de filtro lento

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.8.2.1. Dimensionamiento

Siguiendo los principios dados en la Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológica para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural, el procedimiento es el siguiente:

Se calcula el área de la superficie del lecho filtrante:

$$A_s = \frac{Q_d}{N \times V_f}$$
$$A_s = \frac{1,296 \text{ m}^3/\text{h}}{1 * 0,10 \text{ m/h}} = 12,96 \text{ m}^2$$

Se calcula el coeficiente de mínimo costo

$$K = \frac{2 * 1}{(1 + 1)} = 1$$

Se calcula la longitud de unidad:

$$L = (A_s * K)^{\frac{1}{2}}$$
$$L = (12,96 * 1,)^{1/2} = 3,60 \text{ m}$$

Se calcula el ancho de unidad:

$$B = \left(\frac{A_s}{K}\right)^{1/2}$$
$$B = \left(\frac{12,96}{1}\right)^{1/2} = 3,60 \text{ m}$$

Los parámetros finales del diseño del filtro lento son los siguientes:

**Tabla 3-8:** Parámetros finales de diseño de filtro lento

Parámetro	Valor	Unidad
Caudal de la planta	0,00036	(m3/s)
Caudal de diseño	1,296	(m3/h)
Velocidad de filtración	0,10	(m/h)
Número de unidades	1	u
Altura de la capa de agua	0,75	(m)
Altura del lecho filtrante	0,50	(m)
Altura mínima de la arena	0,15	(m)
Altura de la grava	0,10	(m)
Altura de tubería de desfogue	0,15	(m)
Borde libre	0,10	(m)
Tamaño efectivo a	15	(mm)
Coef. Uniformidad	2	u

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.8.2.2. Costo de implementación

Del mismo modo que con la alternativa 1, se realizó un estudio del presupuesto de aplicación de la alternativa dos mediante el uso de un tanque plástico de similar volumen al necesario determinado por el dimensionamiento, en la tabla 3-9 se indican los costos y cantidades necesarias.

**Tabla 3-9:** Costo del sistema por filtro lento de arena.

<b>Proforma del sistema de filtración por medio de tanques de plástico</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. unitario</b>	<b>V. total</b>
Cartucho carbón activo en bloq	1	5,43	5,43
Tanque eco t/botella 500 lts	1	102,88	102,88
Adaptador m cr ec 20mm a 1/2" jain	4	0,41	1,64
Adaptador h cr ec 20mm a 1/2" jain	4	0,39	1,56
Codo cc 20mm x 90 jain	16	0,40	6,40
Tubo ec 20mm x 6m x 2.00mpa	1	4,18	4,18
Valvula bola compacta r/r 1/2"	3	1,85	5,55
Tapon h c 20mm jain	5	0,26	1,30
Kalipega 500 cc	1	9,60	9,60
Polilimpia 125cc	1	3,07	3,07
Silicona de tubo	1	5	5,00
Cinta teflón grande amarillo "Germany"	1	0,99	0,99
Flotador 2" esseti	1	82,66	82,66
Mano de obra	2	4,25 \$/h	42,5
		<b>total</b>	<b>272,76</b>

<b>Proforma de los materiales filtrantes</b>			
<b>Material</b>	<b>Cantidad</b>	<b>V. unitario</b>	<b>V. total</b>
Carbón activado yodo 1100 nsf 25 kg Jacobi	2	145	324,80
Zeomedia 1440 1 micra 22,5 kg	2	49	109,76
		<b>total</b>	<b>434,56</b>

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

## 3.9. Selección de alternativa

### 3.9.1. Filtro de lecho profundo

El Filtro de lecho profundo es un sistema de filtración de agua optimizado y que cumple con todas las especificaciones necesarias, es sin duda, una solución técnica efectiva para abordar los problemas de calidad del agua en la Comunidad Ballagán. Sin embargo, la decisión de no proceder con su instalación se basa en la consideración de factores económicos y de viabilidad financiera. La inversión requerida para la adquisición, instalación y mantenimiento continuo del filtro de purificación de agua es significativamente alta. Esta inversión podría incluir no solo los costos

iniciales de adquisición y montaje, sino también gastos asociados a la capacitación del personal local para operar y mantener el sistema, así como la reposición de componentes y materiales a lo largo del tiempo.

Es fundamental considerar la situación económica de la comunidad y sus recursos limitados. El costo del filtro podría sobrepasar la capacidad financiera de la comunidad de Ballagán, lo que podría dificultar su sostenibilidad a largo plazo. Además, la asignación de recursos financieros considerables a este proyecto podría implicar desatender otras necesidades comunitarias igualmente apremiantes, como infraestructura básica, educación y atención médica.

Por lo tanto, a pesar del valor innegable del filtro de purificación de agua en términos de calidad y seguridad del suministro de agua potable, la decisión de no instalarlo en este momento se toma con el objetivo de buscar alternativas viables que puedan abordar los desafíos de la calidad del agua de manera efectiva y equilibrada dentro de los recursos disponibles. Esto resalta la importancia de considerar no solo la eficacia técnica de una solución, sino también su sostenibilidad económica y su impacto en el bienestar general de la comunidad.

### ***3.9.2. Implementación de filtro lento***

La implementación del filtro lento de arena en la Comunidad Ballagán representa una decisión respaldada por múltiples consideraciones técnicas y económicas que se alinean con las circunstancias y necesidades específicas de la comunidad.

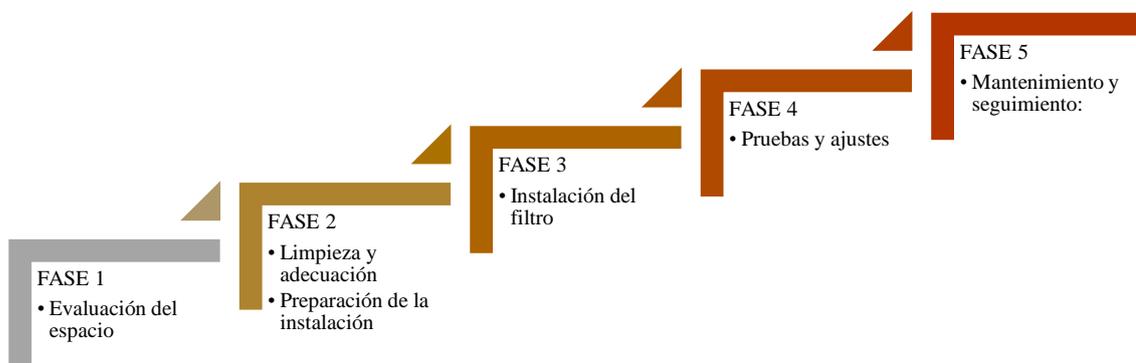
La utilización de un tanque económico fabricado en plástico como estructura contenedora para el filtro lento de arena proporciona una solución altamente viable desde el punto de vista financiero. Los costos asociados con la adquisición y el montaje de un tanque de plástico son considerablemente inferiores en comparación con otras opciones más costosas como el hormigón armado. Esta elección permite maximizar los recursos disponibles y garantizar una inversión eficiente en la mejora de la calidad del agua.

Además, la selección de materiales económicos y de fácil implementación para la construcción del filtro lento es fundamental en el contexto de la comunidad. Dado que ésta carece de acceso a energía en la vertiente de agua, la simplicidad en la implementación y operación del filtro es esencial. Los materiales económicos no solo reducen los gastos iniciales, sino que también disminuyen la necesidad de inversión continua en componentes y mantenimiento.

Los elementos fundamentales del filtro lento, como la capa sobrenadante de agua cruda, el lecho de arena filtrante, el sistema de drenaje y la estructura de entrada y salida, se integran de manera cohesiva para lograr una purificación efectiva del agua. La capacidad de regular el flujo de agua a la entrada o salida del filtro ofrece flexibilidad en el funcionamiento y permite adaptarse a las necesidades cambiantes de la comunidad.

### 3.10. Implementación de la alternativa seleccionada

Para la implementación del filtro lento, se requiere de un plan de acción de trabajo sobre todo el área de proyecto mismo que abarca varios puntos de trabajo indicados a continuación.



#### **Ilustración 3-10:** Plan de acción para la implementación del proyecto

**Realizado por:** Loor K & Pulla L., 2023.

#### 3.10.1. Fase 1

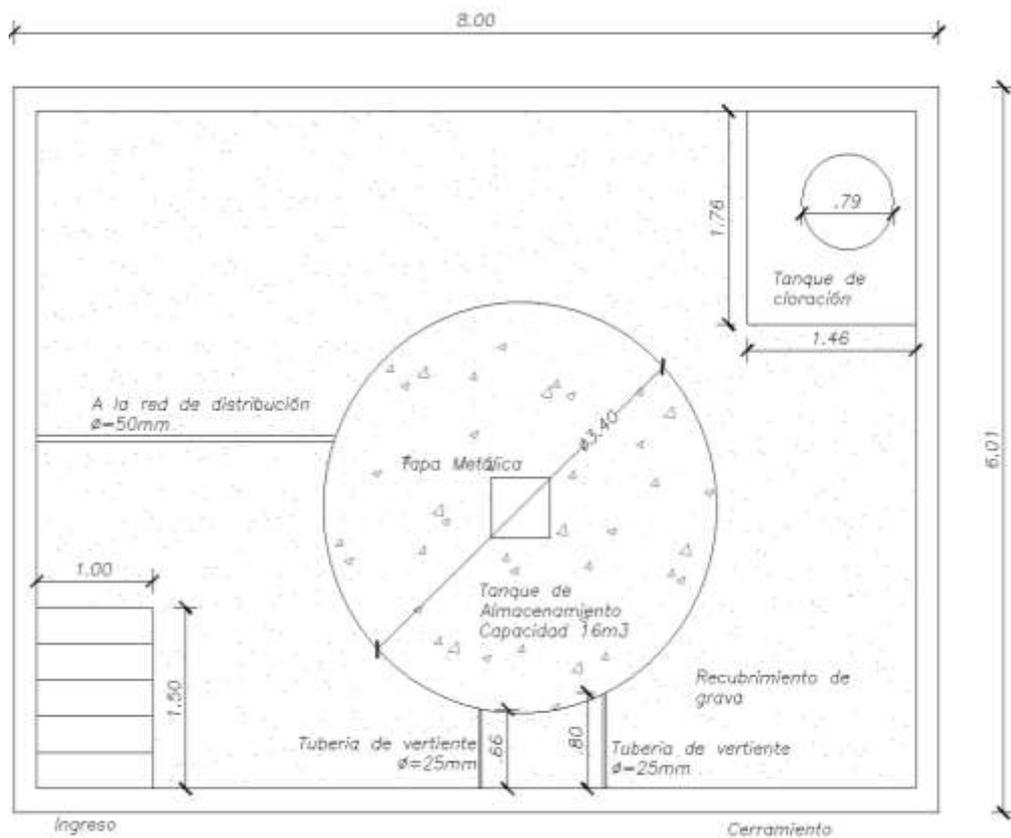
En la primera fase, se lleva a cabo una evaluación exhaustiva del espacio físico destinado para la instalación del filtro lento. Para ello, se han efectuado visitas técnicas con el propósito de verificar el estado de las obras hidráulicas, realizar mediciones precisas y llevar a cabo un levantamiento planimétrico detallado de la zona. Esta fase sienta las bases necesarias para una implementación efectiva del filtro, asegurando que se tomen en consideración todas las variables físicas y estructurales del entorno.



**Ilustración 3-11:** Inspección del tanque de almacenamiento de agua para la comunidad

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

De las medidas tomadas se pudo construir la planimetría del proyecto misma que se indica en la ilustración 3-12



**Ilustración 3-12:** Esquema del sistema de agua potable.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.10.2. Fase 2

Como parte de la segunda fase se ha realizado una limpieza de toda la infraestructura existente: tanque de captación, tanque de almacenamiento, filtración. También se hizo una readecuación de los espacios libres mediante un recubrimiento de grava y colocación de plástico impermeabilizante, dejando las instalaciones listas para la implementación del proyecto.

#### 3.10.2.1. Limpieza de la fuente de agua

Consiste en retirar los sedimentos presentes en el tanque que captura el agua del ojo, de donde como se muestra en la ilustración 3-13 se retiró, arena, y solidos suspendidos.



**Ilustración 3-13:** Limpieza de la fuente de agua

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

#### 3.10.2.2. Colocación de capa de lastre de protección

En el proceso de instalación, se ha aplicado una capa de lastre de protección con un espesor de 5 cm alrededor del tanque de captación de agua. Esta capa abarca el trayecto tanto de ida como de vuelta hacia el tanque de almacenamiento.



**Ilustración 3-14:** Colocación de capa de lastre

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

#### *3.10.2.3. Protección del tanque de almacenamiento*

Alrededor del tanque de almacenamiento de agua se ha colocado una capa de lastre de 5 cm de espesor y un plástico de poliestireno para proteger de infiltración de aguas lluvia hacia el tanque.



**Ilustración 3-15:** Protección contra la infiltración.

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

#### *3.10.2.4. Readecuación del cerramiento*

Por último, se colocó una malla de púas con postes de hormigón para establecer una zona de protección para la captación.



**Ilustración 3-16:** Colocación de capa de lastre

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### **3.10.3. Fase 3**

La fase 3 comprende la instalación del filtro lento y las pruebas de análisis posteriores, para ello se revisó las tuberías que llegaban al tanque de almacenamiento, cortando el suministro de agua hacia este durante el tiempo de instalación.

#### **3.10.3.1. Instalación del filtro**

El siguiente paso es realizar la colocación del tanque en sitio e ir incorporando las capas de grava y material filtrante, para ello se utilizó un tanque de plástico de 2000 litros de capacidad indicado en la figura 3-14.



**Ilustración 3-17:** Tanque utilizado para la instalación del filtro

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.10.3.2. Instalación de tuberías

Se utilizó tubería PVC de 32 mm para conducción el agua cruda desde el tanque de captación hacia el tanque de filtración y una vez hecha la filtración llevar el agua potable hacia el tanque de almacenamiento.



**Ilustración 3-18:** Colocación tubería PVC para la conducción de agua

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.10.3.3. Colocación de las capas del filtro

Sobre la base se coloca una cama de grava gruesa que servirá como soporte de la tubería de agua que saldrá hacia el tanque de almacenamiento



**Ilustración 3-19:** Colocación de la capa de grava soporte

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

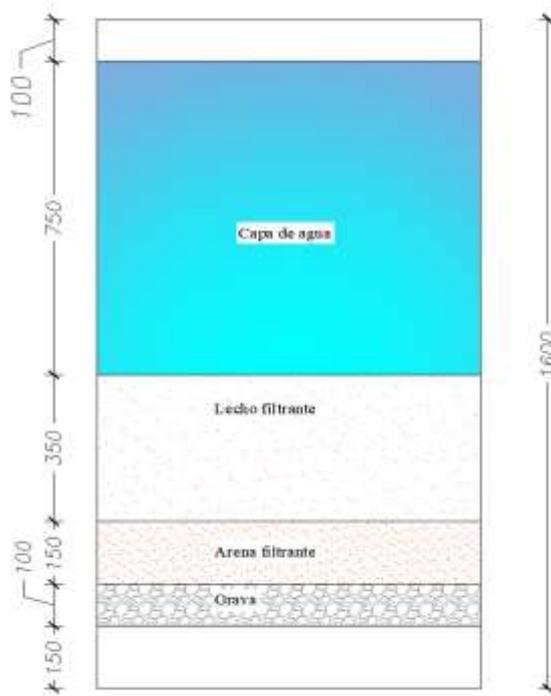
Las capas de filtración siguieron un orden para su colocación: primero se la grava con un diámetro nominal de entre 10 y 40 mm, la segunda capa está conformada por arena gruesa con un diámetro nominal entre 4 y 15 mm, la tercera capa se conforma por arena de filtro con un diámetro menor a 4 mm, por último, se coloca la capa de agua de filtro para impedir la turbulencia dentro del tanque.



**Ilustración 3-20:** Colocación de las capas de filtración

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

Posterior a ello se colocó la grava de soporte para la parrilla o soporte de las capas de filtración, sobre ella se procedió a conformar las capas filtrantes dejando 10 cm de grava filtrante y 15 cm de arena filtrante para mantener un lecho filtrante de 40 cm y una capa de agua superior de 75 cm. El esquema final del trabajo implementado se indica en la ilustración 3-21.



**Ilustración 3-21:** Esquema final de filtro lento

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

Inicialmente, se realizó el llenado del filtro por la tubería de salida con un flujo suave, esto evitando que se atrape aire en el lecho filtrante y se tenga caminos preferenciales dentro de las distintas capas.

Una vez se ha llenado, se procedió a dejar circular caudal desde la tubería superior y el filtro opera normalmente, pasados 24 horas desde la puesta en marcha, se ha iniciado con las pruebas y análisis del funcionamiento del filtro.

#### 3.10.3.4. Pruebas y ajustes

Transcurridas las 24 horas desde la instalación del filtro, se revisó su funcionamiento. Se notó la ausencia de partículas hacia el tanque de almacenamiento, y el caudal de ingreso disminuyó ligeramente, ahora registrado ahora 0,34 L/s en comparación con el valor inicial de 0,36 L/s medido mediante el método volumétrico.

Otro aspecto revisado fue la turbiedad del agua en el lecho filtrante y la capa de agua sobre el lecho, viendo que se ha estabilizado el flujo dentro del mismo.

Se compró también el correcto funcionamiento de las válvulas de cierre antes del ingreso al tanque de filtro lento y la colocada a la salida del tanque de filtración.

#### **3.10.4. Fase 4**

Se realizaron 3 rubros para corregir los defectos del sistema y lograr que llegue el caudal desde la primera vertiente con velocidad y presión adecuadas.

##### **3.10.4.1. Readecuación 1**

Se instaló un collarín para aprovechar la poca diferencia de cota entre el tanque de captación de la vertiente 1 y la ubicación del tanque de filtración.



**Ilustración 3-22:** Colocación de collarín PVC

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

##### **3.10.4.2. Readecuación 2**

Se incrementó la altura del tanque de captación de la vertiente 1 con el fin de optimizar la presión y velocidad del agua en la tubería de conducción que conecta dicha vertiente con el tanque de filtración. Esta modificación posibilita contar con una mayor reserva de agua.



**Ilustración 3-23:** Aumento de la capacidad del tanque de captación de la vertiente 1

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 3-24:** Colocación tubería PVC para la conducción de agua

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

#### 3.10.4.3. Cambio de diámetro en tubería de entrada

Se colocó una unión de aumento de diámetro de 25 a 50 mm, esto al tener la suficiente presión en la tubería de conducción permitió un aumento de caudal que garantiza el abastecimiento constante de agua en el tanque de almacenamiento.



**Ilustración 3-25:** Colocación tubería PVC para la conducción de agua

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

### 3.10.5. Fase 5

Se ha proporcionado al personal encargado del mantenimiento y operación del filtro una explicación detallada de los pasos necesarios para llevar a cabo su limpieza. Estos pasos están claramente indicados en el siguiente esquema:



**Ilustración 3-26:** Procedimiento de limpieza del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

También se debe indicar que el control y limpieza del filtro se debe hacer cada 3 meses, y el cambio de las capas filtrantes al menos una vez al año.

Se establecieron procesos para mantener una correcta operación del filtro adaptados del trabajo de (Cárdenas & Cuesta, 2017) de indicados a continuación:

**Tabla 3-10:** Procedimiento de operación normal y ajustes diarios.

Actividades	Parámetro de revisión
Regular el nivel del agua	Solo si existe sobre caudal de agua
Remover el material flotante	Utilizar una red para recoger el material, se debe ser al menos 4 días a la semana
Medir la velocidad de filtración	Revisar los valores mediante aforos
Regular la velocidad de filtración	Utilizar la válvula reguladora de caudales
Decidir la limpieza del lecho	Cuando la altura del agua alcance el nivel de la tubería de rebose, o exista presencia de turbiedad en el agua.

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

**Tabla 3-11:** Puesta fuera de servicio del filtro lento de arena.

Actividades	Parámetro de revisión
Suspender el flujo de agua hacia el filtro	Utilizar la válvula de caudal para cerrar el flujo de agua.
Extraer el material flotante	Utilizar una red para recoger el material flotante
Drenar el agua sobrenadante	Abrir la tubería de limpieza y permitir el paso del agua nuevamente para limpiar las paredes del tanque PVC.

**Realizado por:** Loor K & Pulla L, 2023.

## CAPÍTULO IV

### 4. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Del análisis de la calidad agua

Del primer análisis se puede extraer que las muestras de aguas resultan ser claras y transparentes, sin embargo, en los tanques de almacenamiento se observa una abundante cantidad de sólidos sedimentables correspondientes a tierra que deberían evitarse antes del ingreso

Se evidencia la presencia de coliformes totales y fecales que indican una condición vulnerable en el aspecto microbiológico.

Las muestras que presentan coliformes fecales ya no son aptas para el uso doméstico, por lo tanto, la recomendación es la implementación del sistema de desinfección (cloración) de los tanques de abastecimiento.

#### 4.2. De la implementación

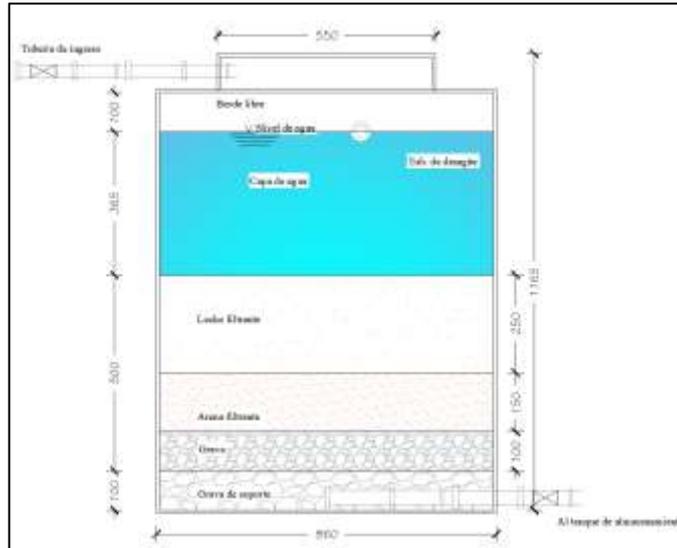
Los trabajos de adecuación se realizaron en conjunto con la comunidad y los miembros responsables del sistema, con los cuales se trabajó en 3 fines de semana en horarios de 8h00 a 18h00.

El costo total de implementación del proyecto fue de \$707,32 esto sin contar el material empleado en los arreglos iniciales.

Las capas de filtro después de 24 horas de iniciado flujo de agua hacia el lecho filtrante han logrado estabilizarse e iniciar el trabajo de forma adecuada.

Se instalaron 3 válvulas de cierre en el sistema de filtro lento de arena, una al ingreso de caudal de agua al filtro, y dos a la salida una para la tubería de drenaje y otra para el paso hacia el tanque de almacenamiento.

El filtro lento se colocado junto al tanque de almacenamiento mantiene sus 4 capas filtrantes, constituidas como se indica en la ilustración 4-1, dejando una capa de agua de 36,5 mm, la altura total del tanque es de 1165 mm y tiene una capacidad filtrante de 28,51 m<sup>3</sup>/día, con una capacidad.



**Ilustración 4-1:** Esquema final del filtro lento

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

#### 4.2.1. Ubicación del tanque de filtro lento.

El filtro lento se ubicó junto al tanque de almacenamiento, sobre una loseta de hormigón, para evitar el contacto directo del tanque PVC con el suelo del lugar.



**Ilustración 4-2:** Ubicación del filtro lento

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

#### 4.2.2. Readecuaciones

Las readecuaciones necesarias en el proyecto para que este pueda cumplir con los parámetros de caudal y presión de agua desde la vertiente 1 hacia el tanque de filtración incrementaron el presupuesto final de la alternativa seleccionada en \$151.25, esto sin contar con la mano de obra de la comunidad.

### 4.3. Análisis post implementación

El análisis detallado de los resultados del agua antes y después de la implementación del sistema de filtración revela una significativa mejora en la calidad del agua en múltiples parámetros. Estas mejoras son claramente atribuibles al funcionamiento eficaz del filtro, que ha demostrado ser una herramienta fundamental para la optimización de la calidad del agua potable.

Uno de los logros más destacados es la reducción drástica de los niveles de coliformes totales y fecales en las muestras M1, M2 y M3. Estos resultados demuestran la eficacia del filtro en la eliminación de contaminantes microbiológicos, cumpliendo con los estándares de seguridad para el consumo humano según las normas INEN 1108 y las directrices de diseño para sistemas de abastecimiento de agua potable en el área rural. Además, la disminución en la presencia de otros elementos indeseables, como la turbidez y la dureza, sugiere que el filtro también ha contribuido a la mejora general de la calidad del agua.

El filtro no solo ha demostrado ser eficiente en la reducción de contaminantes, sino que también ha mantenido propiedades como el pH en niveles aceptables, lo que es esencial para la calidad y la aptitud del agua para diversos usos.

Estos resultados subrayan la importancia de implementar soluciones tecnológicas adecuadas para la mejora de la calidad del agua potable. La inversión en sistemas de filtración y tratamiento adecuados puede tener un impacto significativo en la salud pública y en la calidad de vida de las comunidades. En este caso particular, la introducción del filtro ha sido un paso fundamental hacia la provisión de agua segura y confiable, alineándose con las normativas y estándares establecidos para la garantía de la salud y el bienestar de la comunidad de Ballagán.

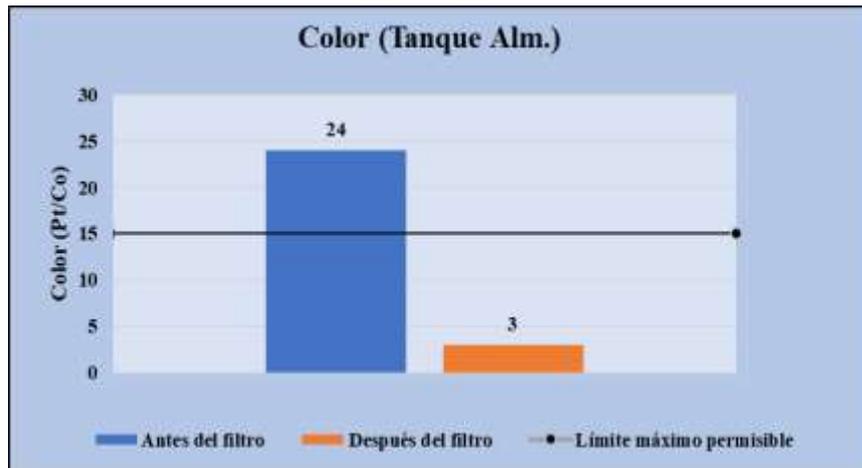
#### 4.3.1. Color

El color de lagua muestra una reducción de 21 tal como se indica en la tabla 4-1 y la ilustración 4-3 puntos posteriores a la colocación del filtro, con ello, el parámetro del color se mantiene dentro del límite máximo permisible por la normativa ecuatoriana.

**Tabla 4-1:** Color Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite máximo permisible
24	3	15

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-3:** Color Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

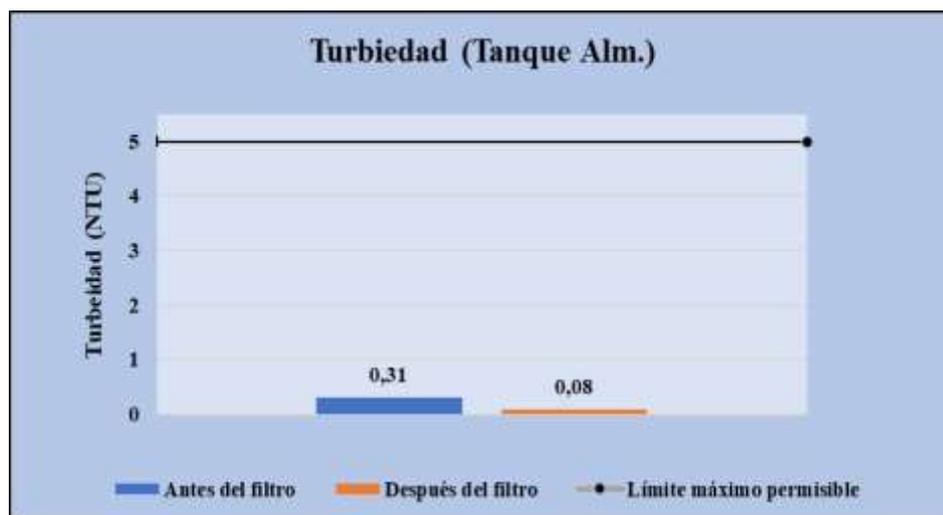
#### 4.3.2. Turbiedad

Los valores de turbiedad también se redujeron, y a pesar de estar dentro de los límites permisibles, la tabla 4-2 indica el cambio en los mismos.

**Tabla 4-2:** Turbiedad Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite máximo permisible
0,31	0,08	5

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-4:** Turbiedad Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

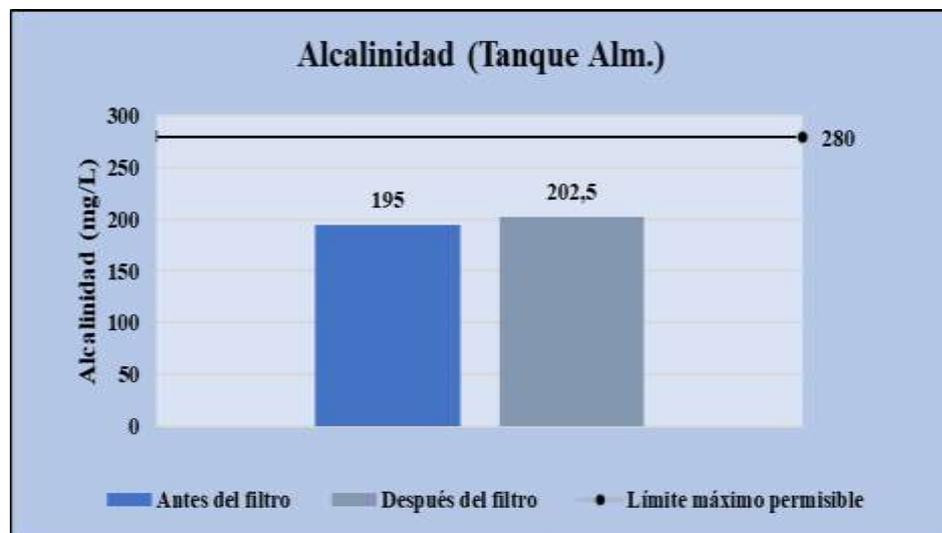
### 4.3.3. Alcalinidad

La alcalinidad del agua que indica la capacidad de neutralizar ácidos también ha visto un aumento en sus valores, tal como se muestra en la ilustración 4-5 está aún permanece por debajo de los límites permisibles

**Tabla 4-3:** Alcalinidad Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite máximo permisible
195	202,5	280

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-5:** Alcalinidad Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

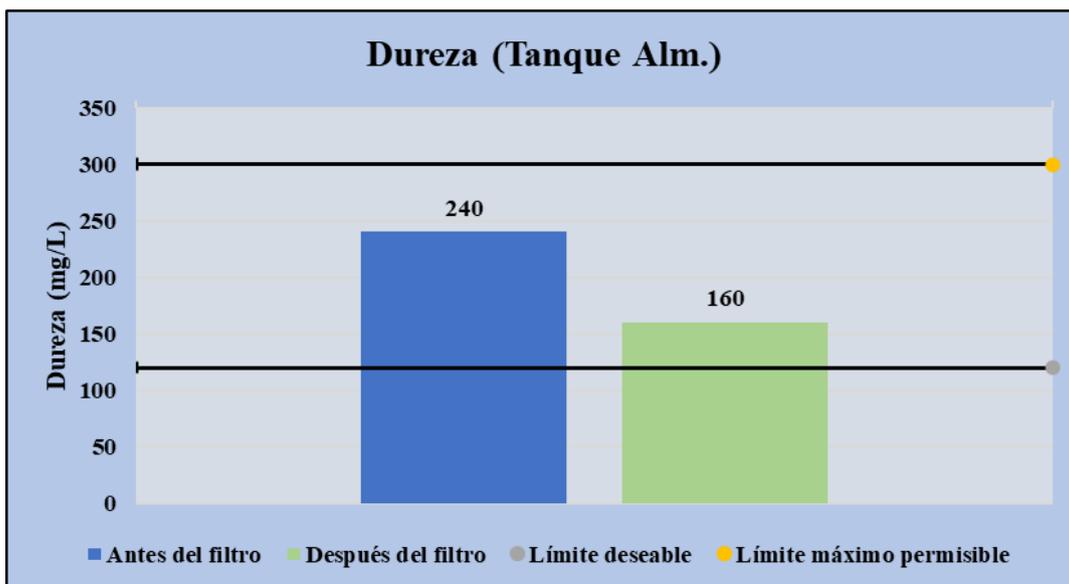
### 4.3.4. Dureza

La concentración de compuestos minerales que hay en el agua después de los analistas indica que se tiene un agua “dura” aún por debajo de los límites permisibles, pero no dentro de los límites deseables, la figura 4-6 y la tabla 4-4 indican estos valores

**Tabla 4-4:** Dureza Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite deseable	Límite máximo permisible
240	160	120	300

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-6:** Dureza Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

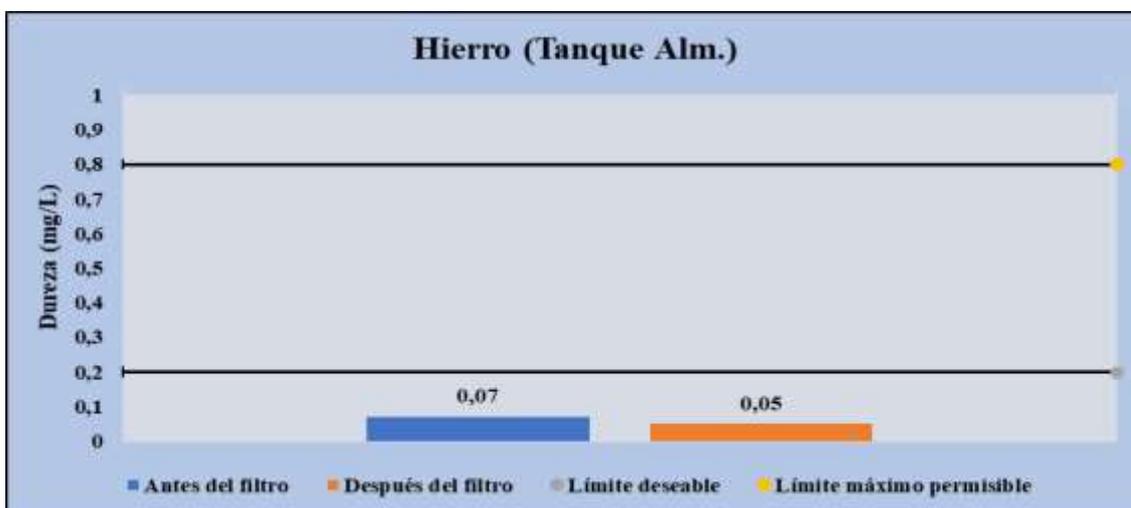
#### 4.3.5. Hierro

La presencia de hierro y manganeso disueltos en el agua sucede de forma natural en aguas de procedencia subterránea o mineral. La concentración actual está muy por debajo del límite deseable.

**Tabla 4-5:** Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite deseable	Límite máximo permisible
0,07	0,05	0,2	0,8

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-7:** Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

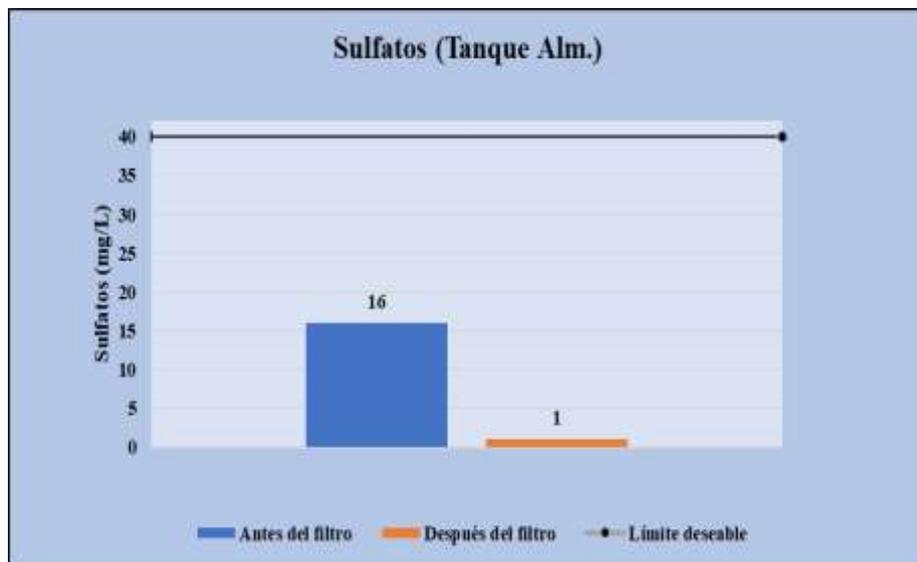
#### 4.3.6. Sulfatos

Los sulfatos pueden actuar como laxantes cuando se ingieren en cantidades elevadas, como se observa en la tabla 4-6 e ilustración 4-8 estos valores se han reducido drásticamente en el tanque de almacenamiento, pasando de 16 a 1 mg/l.

**Tabla 4-6:** Sulfatos Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite deseable
16	1	40

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-8:** Hierro Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

#### 4.3.7. Sólidos totales disueltos

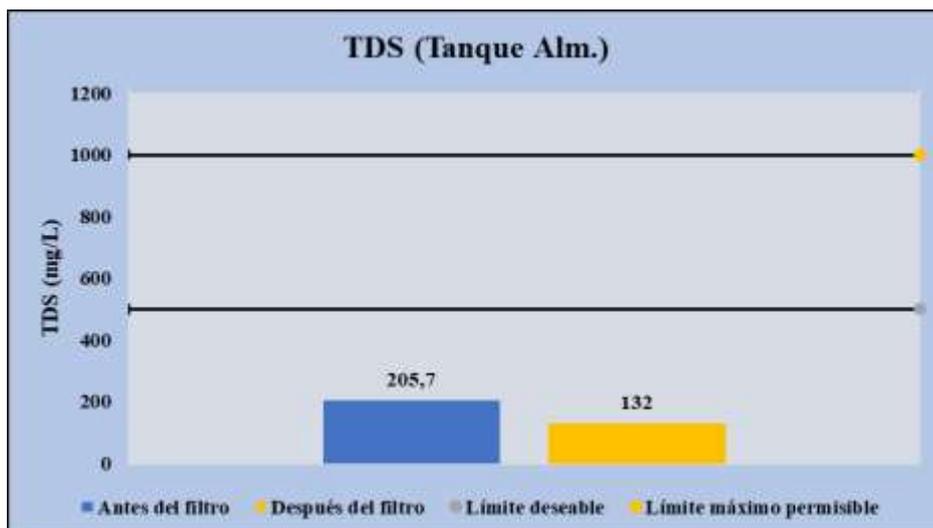
Los sólidos totales también han reducido su valor en más de 50 puntos, a pesar de que este parámetro ya se encontraba dentro de los límites deseables, reducir su valor aún más es indicador confiable del mejoramiento en la calidad del agua

**Tabla 4-7:** TDS Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro	Después del filtro	Límite deseable	Límite máximo permisible
205,7	132	500	1000

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

La ilustración 4-9 indica los valores anteriores y actuales a la colocación del filtro.



**Ilustración 4-9:** TDS Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

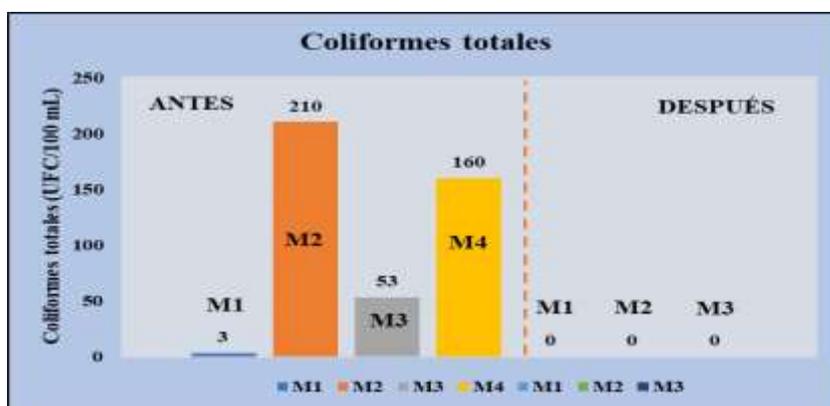
#### 4.3.8. Coliformes totales

Este parámetro se utiliza como indicador de que en el agua pueden estar presentes otros organismos potencialmente perjudiciales, como bacterias y virus, antes de la colocación del filtro existía la presencia de estos patógenos, sin embargo, en el análisis posterior se ha podido observar su desaparición

**Tabla 4-8:** Coliformes totales Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro		Después del filtro	
M1	210	M1	0
M2	3	M2	0
M3	53	M3	0
M4	0	M4	0

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-10:** Coliformes totales Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

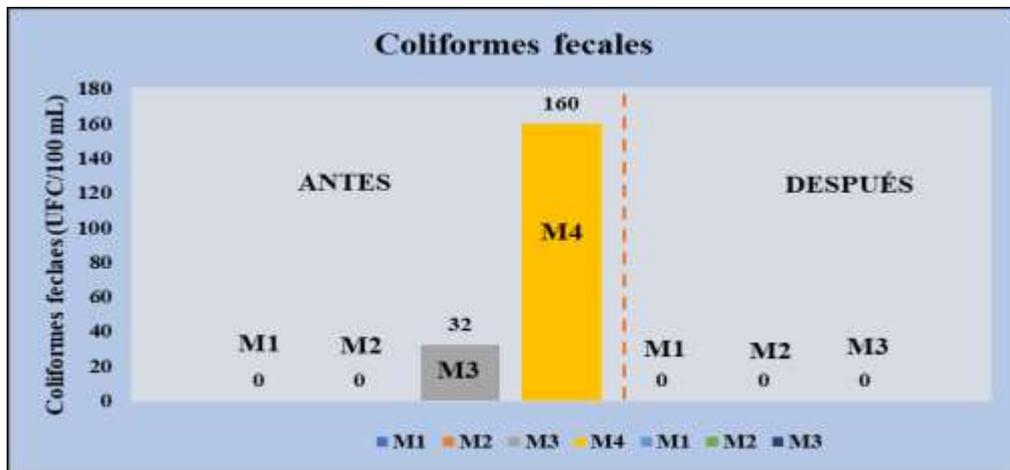
#### 4.3.9. Coliformes fecales

También se hicieron pruebas para detectar las E. coli, un grupo de bacterias potencialmente perjudiciales, antes de la colocación del filtro, existía presencia de las mismas, pero no se detectaron una vez implementado el mismo.

**Tabla 4-9:** Coliformes Fecales Antes vs Después del filtro lento de arena.

Antes del filtro		Después del filtro	
M1	0	M1	0
M2	0	M2	0
M3	32	M3	0
M4	160	M4	0

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.



**Ilustración 4-11:** Coliformes Fecales Antes vs Después del filtro lento de arena.

Realizado por: Loor K & Pulla L, 2023.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Se realizó un análisis de agua en la Comunidad de Ballagán, y los resultados revelaron una presencia de diversos contaminantes, como; la presencia de coliformes totales y fecales, así como la detección de una cantidad considerable de sedimentos en el suministro de agua.

Tras medir el caudal de agua en el tanque de distribución en la Comunidad de Ballagán, se observó un flujo de 0,36 litros por segundo (L/s) antes de la instalación del filtro. Después de implementarlo, dicho valor experimentó una reducción, alcanzando los 0,34 L/s.

El diseño y construcción del sistema de filtración de agua para la comunidad de Ballagán ha demostrado ser un logro significativo en la búsqueda de soluciones sostenibles para el abastecimiento de agua potable. Aunque la integración de materiales respetuosos con el medio ambiente presentó desafíos en términos de acople, el enfoque ingenieril aplicado permitió superar estas dificultades y lograr una adaptación efectiva con el tanque de distribución.

Las pruebas exhaustivas y el análisis detallado de la calidad del agua han demostrado una reducción significativa de contaminantes, especialmente aquellos vinculados a la actividad ganadera en las cercanías del tanque de distribución.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda efectuar análisis de agua en el tanque de almacenamiento con una frecuencia de 6 meses, como medida para mantener un control de calidad adecuado en el sistema.

Llevar a cabo mediciones del caudal en diferentes estaciones del año en las fuentes de agua de la comunidad para obtener un mejor entendimiento de los cambios en el suministro de agua y tomar las medidas necesarias para asegurar un suministro estable.

Proporcionar capacitación a la comunidad sobre el mantenimiento y la operación del sistema de filtración de agua. Esto ayudará a que los miembros de la comunidad comprendan cómo mantener el sistema en buen estado y cómo solucionar problemas básicos.

Seguir el plan de mantenimiento establecido para garantizar el correcto funcionamiento del filtro. Esto incluye realizar limpiezas periódicas y reemplazar los elementos del filtro según sea necesario.

Realizar la limpieza del tanque de almacenamiento cada 6 meses, así como también los tanques de los moradores. Esto ayudará a mantener la calidad del agua almacenada y evitar la acumulación de sedimentos y bacterias.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **AGUA INMACULADA DIVISIÓN LABORATORIO**, *Análisis microbiológico del agua*, México : Laboratorio de Agua Inmaculada.
2. **ÁVILA , I. & MORENO, M.**, *Diseño, propuesta e implementación de un filtro para tratamiento de agua de uso doméstico en tanques de reserva en la población del casco urbano de la inspección de San Antonio de Anapoima*. Bogotá D.C.: s.n.
3. **BEHAR, D.**, *Metodología de la Investigación*. s.l.:Shalom.
4. **BETETA, A.**, *E.D.A.R. para una población de más de 100.000 habitantes equivalentes*. [En línea] Available at: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.1/13058>
5. **BLACIO, D. & PALACIOS , J.**, *Filtros lentos de arena*. [En línea] Available at: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/751/1/ti878.pdf>
6. **BRUNI, M.**, *filtración-lenta-de-arena*. [En línea] Available at: <https://sswm.info/es/gass-perspective-es/tecnologias-de-agua-y-saneamiento/tecnologias-de-abastecimiento-de-agua/filtración-lenta-de-arena>
7. **CARBOTECNIA**, *¿Qué es un filtro de lecho profundo?*. [En línea] Available at: <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/filtros-de-lecho-profundo/>
8. **CÁRDENAS, J. & CUESTA, W.**, *Ampliación y mejoramiento del sistema de agua potable de la comunidad Nauchun, Chununcari, la unión de la Parroqui San Bartolomé del Cantón Sígsg, Provincia del Azuay*. Cuenca: Universidad del Azuay.
9. **CHAVES, H.**, *Análisis físico químico del agua [Blog]*. [En línea] Available at: <https://higieneyseguridadlaboral.com/blog/analisis-fisico-quimico-del-agua/>
10. **COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA**, *Desinfección para sistemas de agua potable y saneamiento*. En: *Manual de agua potable y alcantarillado*. s.l.:Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

11. **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, *Guía de Prácticas de Laboratorios, Talleres y centros de Simulación - Biorremediación* , Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
12. **GAD SAN JUAN**, *Actualización del plan de ordenamiento territorial del gobierno autónomo descentralizado rural de la parroquia San Juan*. [En línea]  
Available at: [https://gadsanjuanchimborazo.gob.ec/reports/pdot\\_2021.pdf](https://gadsanjuanchimborazo.gob.ec/reports/pdot_2021.pdf)
13. **GAD SAN JUAN**, *PDOT. Gobierno Parroquial De San Juan*, Parroquia San Juan. Chimborazo, Ecuador: s.n.
14. **GUÍA DE PURIFICADORES DE AGUA**, *Como funciona una planta para potabilizar agua..* [En línea]  
Available at: <http://www.guiapurificadoresdeagua.com/como-potabilizar-agua/>
15. **GUNT HAMBURG**, *Filtración*. [En línea]  
Available at: [https://www.gunt.de/images/download/filtration\\_water\\_spanish.pdf](https://www.gunt.de/images/download/filtration_water_spanish.pdf)
16. **HIDROAGUA**, *Filtros automáticos - Especificaciones Técnicas*. [En línea]  
Available at: <https://www.hidroagua.com.mx/assets/filtroscatalogo.pdf>
17. **INEN**, *Agua Potable Requisito. NTE INEN 1108 : 2011*. s.l.:Instituto Ecuatoriano de Normalización.
18. **LOGROÑO, P.**, *Diseño de un sistema de tratamiento de agua potable para el consumo humano para la comunidad de Nitiluisa*. Riobamba: Escuela Superior Politecnica de Chimborazo.
19. **MUÑOZ, C.**, *Metología de la investigación*. s.l.:Oxford University Press México.
20. **MVCS**, *Norma Técnica de Diseño: Opciones Tecnológicas para Sistemas de Saneamiento en el Ámbito Rural..* s.l.:Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
21. **OMS**, *Guías para la calidad del agua de consumo humano*. Ginebra: Organización Mundial de la Salud.

22. **OMS,** *Organización Mundial de la Salud.* [En línea]  
Available at: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>
23. **REA, G.,** *Plan v.* [En línea]  
Available at: [https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/chimborazo-la-desnutricion-no-se-controla-se-multiplica#:~:text=Una%20investigaci%C3%B3n%20de%20la%20Universidad,%25\)%20y%20Guano%20\(62%25\).](https://www.planv.com.ec/investigacion/investigacion/chimborazo-la-desnutricion-no-se-controla-se-multiplica#:~:text=Una%20investigaci%C3%B3n%20de%20la%20Universidad,%25)%20y%20Guano%20(62%25).)
24. **TORRES, C. & VILLANUEVA, S.,** *El filtro de arena lento* [En Línea]. Bogotá: Departamento de Publicaciones y Comunicación Gráfica de la UPC.
25. **ULPGC,** *Análisis microbiológico del agua..* [En línea]  
Available at:  
[https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/35/35550/analisis\\_de\\_aguas.pdf](https://www2.ulpgc.es/hege/almacen/download/35/35550/analisis_de_aguas.pdf)
26. **UNATSABAR,** *Guía para el diseño de sistemas de tratamiento de filtración en múltiples etapas.* [Enlínea] Available at:  
<http://www.elaguapotable.com/Guia%20diseño%20filtración%20en%20múltiples%20etapas.pdf>
27. **UNIVERSIDAD DE SEVILLA,** *Manual del carbon activo.* [En línea]  
Available at: <http://www.elaguapotable.com/Manual%20del%20carbón%20activo.pdf>
28. **ZARZA, L.,** *Qué es el agua cruda.* [En línea]  
Available at: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-agua-cruda>

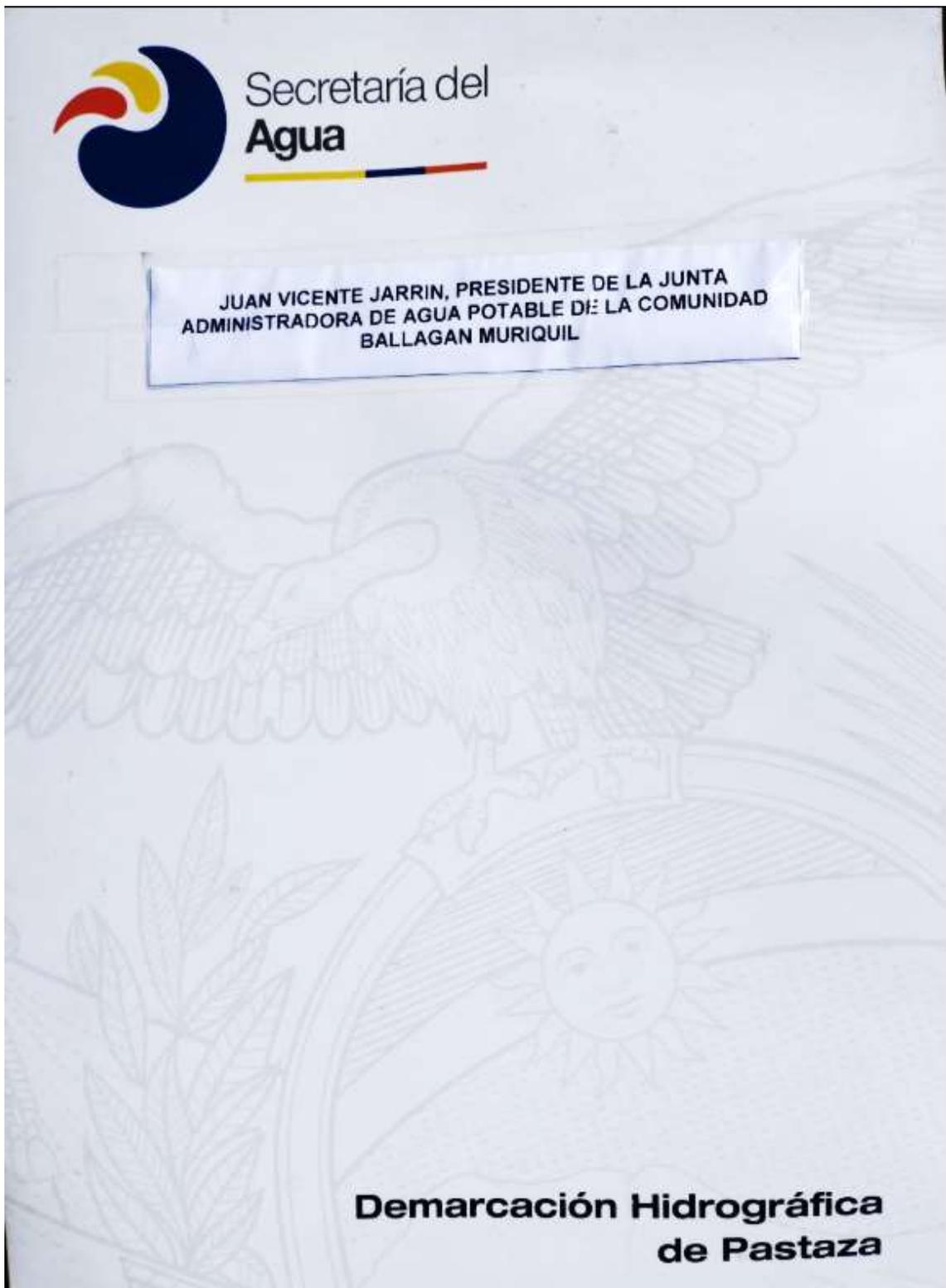


5-12-2023

2116-DBRA-UPT-2023

**ANEXOS**

**ANEXO A: RESOLUCIÓN DEL CAUDAL CONCESIONADO A LA COMUNIDAD**



REPÚBLICA DEL ECUADOR  
MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA  
DIRECCIÓN ZONAL CHIMBORAZO - OFICINA TÉCNICA RIOBAMBA

Riobamba, 07 de Septiembre de 2020

A: Juan Vicente Jarrín Lema      Ab. Patricio Morejón      Casilla: 417

En el proceso No. 608-2018-AT, que sigue Juan Vicente Jarrín Lema, hay lo siguiente:

**MINISTERIO DEL AMBIENTE Y AGUA. DIRECCIÓN ZONAL CHIMBORAZO-OFCINA TÉCNICA RIOBAMBA.-** Riobamba, 07 de septiembre de 2020.- las 10H00.- **VISTOS.-** Mediante Decreto Ejecutivo No. 1007 de 04 de marzo de 2020, reformado mediante Decreto Ejecutivo No. 1028 de 01 de mayo de 2020, el señor Presidente de la República del Ecuador, Lenin Moreno Garcés, dispuso que en el plazo de noventa días se fusionen el Ministerio del Ambiente y la Secretaría del Agua en una sola entidad denominada "Ministerio del Ambiente y Agua", de igual manera, en la disposición general primera del Decreto Ejecutivo No. 1007 se estableció que una vez concluido el proceso de fusión, en la ley y demás normativa vigente en donde se haga referencia al "Ministerio del Ambiente", a la "Autoridad Única del Agua" o a la "Secretaría del Agua" se leerá como "Ministerio del Ambiente y Agua". Así mismo, mediante Acuerdo Ministerial No. MAAE-2020-012 de 07 de julio de 2020 se levantó la suspensión del cómputo de plazos y términos en los procedimientos administrativos. Avoco conocimiento de la presente causa en calidad de Responsable de la Oficina Técnica Riobamba (E, Dirección Zonal Chimborazo-Ministerio del Ambiente y Agua conforme a la Acción de Personal N°009-dzt de 11 de agosto de 2020. En lo principal, dentro del Proceso No. 608-2018-AT, de fs. 7 a 9, comparece el señor Juan Vicente Jarrín Lema en calidad de Presidente de la Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad Ballagán Muruquil; quien manifiesta: Que mediante resolución de fecha 12 de septiembre de 1990 el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos Agencia de Aguas de Riobamba dentro del proceso 193-1975 resolvió "(...) Aceptar la demanda propuesta por Pedro Anaguarqui y continuada por Vicente Jarrín, en calidad de Presidente del Directorio de Aguas de la comuna Ballagán, por haber cumplido con la Ley de Aguas y su Reglamento (...)". Más es el caso que con el pasar de los años los moradores de nuestra comunidad han ido incrementándose y han procedido a construir sus hogares arriba de la cota de la vertiente Gualacpamba, por lo cual hace unos 30 años atrás hemos venido utilizando el recursos hídrico de la vertiente Anaguarquis, la misma que vienen aprovisionando a nuestros hogares, además cabe indicar que la vertiente Gualacpamba ha mermado su caudal por las condiciones climáticas actuales por lo cual solicitamos la autorización del recurso hídrico. Que el recurso hídrico proviene de la vertiente denominada Anaguarquis, ubicado en la comunidad Ballagán, jurisdicción de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Que el caudal que solicito es de 1.50 l/s proveniente de la vertiente anteriormente descrita, que será destinada para consumo doméstico. Se acepta la solicitud de autorización de uso de aguas a trámite mediante auto del 18 de diciembre de 2018 a las 12h00, y se dispone la fijación de carteles durante diez días consecutivos en tres de los lugares más concurridos de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, comisionando esta diligencia al señor Teniente Político

*Cere*

de dicha parroquia, diligencias que se han cumplido plenamente conforme consta de autos. Siendo el estado de la causa el de resolver, para hacerlo se considera: **PRIMERO.-** Esta Autoridad es competente para conocer y resolver el presente proceso, en atención a lo establecido en el Acuerdo Ministerial N° MAAE-2020-023 de 28 de agosto de 2020; así como también en los Arts. 313, 318 inciso cuarto de la Constitución de la República del Ecuador, artículo 123 inciso segundo de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua todo en estricto apego a los artículos 82 y 108 numeral 10 del Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. **SEGUNDO.-** A la solicitud se le ha dado el trámite en la Ley de la materia y su Reglamento sin omisión de solemnidad sustancial alguna que incida en su resolución, por lo que se declara la validez de todo lo actuado y del proceso. **TERCERO.-** De autos constan lo siguientes documentos: A fs. 1, copia simple de la cédula de ciudadanía y certificado de votación del compareciente; a fs. 2, copia simple del registro de la Directiva de 23 de octubre de 2018; a fs. 3, copia simple de la resolución emitida por el Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos Agencia de Aguas de Riobamba; de fs. 4 5, listado; a fs. 6, copia simple de la credencial del profesional del derecho. **CUARTO.-** El inciso primero del artículo 313 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que: *"El Estado se reserva el derecho de administrar, regular, controlar y gestionar los sectores estratégicos de conformidad con los principios de sostenibilidad ambiental, precaución, prevención y eficiencia"*; el artículo 318 ibidem dispone que: *"El agua es patrimonio nacional estratégico de uso público, dominio inalienable e imprescriptible del Estado, y constituye un elemento vital para la naturaleza y para la existencia de los seres humanos. Se prohíbe toda forma de privatización del agua"*, señalando en el segundo inciso del referido artículo que *"La gestión del agua será exclusivamente pública o comunitaria; el servicio público de saneamiento, el abastecimiento de agua potable y riego serán prestados únicamente por personas jurídicas estatales o comunitarias"* y en el inciso cuarto se hace constar que *"El Estado, a través de la Autoridad Única del Agua, será el responsable directo de la planificación y gestión de los recursos hídricos que se destinarán a consumo humano, riego que garantice la soberanía alimentaria, caudal ecológico y actividades productivas en ese orden de prelación"* en concordancia con el artículo 86 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. **QUINTO.-** De fs. 21 a 26, consta en memorando DHP.06.2020.122.DT del 22 de febrero de 2020, el informe del estudio técnico suscrito por la Ing. Johanna Chávez, en el que luego de hacer varias consideraciones de orden técnico recomienda: 1.- El Centro de Atención al Ciudadano Riobamba de la Demarcación Hidrográfica de Pastaza de la Secretaría del Agua PUEDE ATENDER FAVORABLEMENTE LA SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN DE USO DE AGUA presentada por el Sr. Juan Vicente Jarrin, de la parroquia San Juan del cantón Riobamba, provincia de Chimborazo dirigida a obtener la Autorización de Uso y Aprovechamiento de las aguas de la vertiente Anaguarquis que se encuentran ubicadas en la comunidad Ballagán, el caudal que se puede autorizar es de 0.67 l/s distribuidos de la siguiente manera: 0.47 l/s para consumo humano de una población de 329 personas con una tasa de crecimiento actual de 1.00 % y un requerimiento diario de 100 l/habitante/día; el caudal sobrante de 0.20 l/s para abrevadero de 346 animales con una dotación de 50 l/día/animal. Por este servicio los beneficiarios no deberán cancelar ningún valor a favor de la Secretaría del Agua. El presente proceso hace referencia a las aguas de la vertiente

Anaguarquis ubicada en la comunidad Ballagán de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Según la carta Topográfica Guaranda, la codificación hidrográfica del Ecuador las aguas motivo de estudio pertenecen al Sistema 28 Pastaza, cuenca 2876 Río Pastaza, Subcuenca 287604 Río Chambo, Microcuenca 28760415 dren al río Chibunga. Políticamente a la provincia 06 Chimborazo, cantón 01 Riobamba, parroquia 60 San Juan. Según la metodología de Pfastetter corresponde a la unidad hidrográfica 499686. Las coordenadas UTM del Datum WGS 84 que han sido referenciadas son de longitud 744996; Latitud 9817916 y Cota 3601 msnm. **SEXTO.**- El artículo 3 numeral 1 de la Constitución de la República del Ecuador, establece que es un deber del Estado "Garantizar sin discriminación alguna el efectivo goce de los derechos establecidos en la Constitución y en los instrumentos internacionales, en particular [...] el agua para sus habitantes", así también el artículo 12 ibidem, menciona que "El derecho al agua es fundamental e irrenunciable. El agua constituye patrimonio nacional estratégico de uso público, inalienable, imprescriptible, inembargable y esencial para la vida". **SÉPTIMO.**- El artículo 88 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua establece que "Se entiende por uso del agua su utilización en actividades básicas indispensables para la vida como el consumo humano, el riego, la acuicultura y el abrevadero de animales para garantizar la soberanía alimentaria en los términos establecidos en la Ley". **OCTAVO.**- Dentro de la presente causa no se ha presentado oposición alguna a la solicitud presentada por señor Juan Vicente Jarrín Lema en calidad de Presidente de la Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad Ballagán Muruquil, conforme se desprende de la razón sentada por la Actuario de este despacho y que consta a fs. 19 vta. del expediente. **NOVENO.**- El artículo 87 numeral primero de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos señala que "El otorgamiento, suspensión o cancelación de las autorizaciones es competencia de la Autoridad Única del Agua. Las autorizaciones según la naturaleza de su destino se clasifican en: 1. Autorizaciones para uso de agua. Es el acto administrativo expedido por la Autoridad Única del Agua por medio del cual atiende favorablemente una solicitud presentada por personas naturales o jurídicas, para el uso de un caudal del agua, destinado al consumo humano o riego que garantice la soberanía alimentaria, incluyendo también el abrevadero de animales y actividades de producción acuícola en la forma y condiciones previstas en esta Ley". Por las consideraciones expuestas y habiéndose evacuado todas las diligencias conforme obra de autos y siendo el estado de la causa el de resolver esta Autoridad, dentro de la tramitación del proceso signado con el No. 608-2018-A. T., **RESUELVE: 1. AUTORIZAR** a favor de la Junta Administradora de Agua Potable de la comunidad Ballagán Muruquil representada por el señor Juan Vicente Jarrín Lema en calidad de Presidente, el uso de las aguas provenientes de la vertiente Anaguarquis ubicada en la comunidad Ballagán de la parroquia San Juan, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, autorización que se la realiza de conformidad a lo establecido en el numeral 1 del artículo 3 de la Constitución de la República del Ecuador, artículo 12 ibidem; literales e) y f) del artículo 4 y 57, 86, 88, 89 y 90 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua e inciso primero del artículo 83 del Reglamento a la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. **2.-** La autorización del uso de agua se lo hace por un caudal de 0.67 l/s distribuidos de la siguiente manera: 0.47 l/s para consumo humano de una población de 329 personas con una tasa de crecimiento actual do 1.00 % y un requerimiento diario de 100 l/habitante/día; el caudal de 0.20 l/s con una dotación

de 50 l/día/animal para abrevadero de 346 animales. 3.- La presente Autorización para consumo humano y abrevadero de animales y se lo hace por un plazo de 20 años renovables en el caso de consumo doméstico y 10 años en caso de abrevadero de animales de conformidad a lo tipificado en el literal a y b del artículo 87 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua. 4.- En función del caudal autorizado de 0,67 l/s, proveniente de las vertientes Curtiembre 1, Curtiembre 2, Curtiembre 3, Curtiembre 4 y Curtiembre 5 se captará un volumen anual de 21129,12 m3. 5.- Considerando el uso del agua que se establece en la presente autorización, los beneficiarios quedan exentos de pago tarifario, conforme a lo establecido en el artículo 140 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua y artículo 2 del Acuerdo N° 2017-0010 del 28 de junio de 2017, expedido por el Secretario del Agua. 6.- Los beneficiarios de la presente autorización administrativa de uso de agua, dentro del plazo de 60 días contados a partir de la ejecutoria de la presente resolución, presentará a esta Oficina Técnica Riobamba los planos y diseños de las obras de captación del recurso hídrico que permitan derivar el caudal autorizado de 0.67 l/s, para lo cual se instalará un medidor de flujo (caudalímetro) en atención a lo dispuesto en el quinto inciso del artículo 93 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua, tercer inciso del artículo 90, 91 y artículo 92 de su Reglamento. 7.- Los beneficiarios de esta autorización tienen la obligación de conservar la fuente y el área de captación del recurso hídrico, manteniendo la vegetación nativa de la zona en condiciones naturales a fin de precautelar el recurso hídrico en su cantidad y calidad y la biodiversidad del ecosistema, de acuerdo a lo establecido en los artículos 12 y 13 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua y de manera obligatoria participarán en todas las actividades relativas a la gestión integral de la Unidad de la Unidad Hidrográfica a la que pertenecen. 8. Es obligación de los beneficiarios de la presente autorización dar estricto cumplimiento a todo lo dispuesto por esta Autoridad en el texto íntegro de esta resolución, caso contrario se procederá de oficio a la reversión de esta autorización de conformidad a lo establecido en el artículo 128 literal b) numeral 1 de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. 9.- Las aguas proviene de la vertiente Anaguarquis motivo de la presente autorización según la codificación Hidrográfica del Ecuador las aguas motivo de estudio pertenecen al Sistema 28 Pastaza, cuenca 2876 Río Pastaza, Subcuenca 287604 Río Chambo, Microcuenca 28760415 dren al río Chibunga, según la carta Topográfica Guaranda. Según la División Política corresponde a la provincia 06 Chimborazo, cantón 01 Riobamba, parroquia 60 San Juan. Según la metodología de Pfastetter corresponde a la unidad hidrográfica 499686; se ubica en las coordenadas UTM del Datum WGS 84; de Longitud 744996, Latitud 9817916 y Cota 3601 msnm. 10.- Ejecutoriada que sea la presente resolución, inscribese en el Registro Público del Agua, cuando se haya estructurado y puesto en vigencia, de conformidad a lo dispuesto en el literal a) del artículo 24 de la Ley Orgánica de los Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua. Actúe el Abogado Oscar Cevallos Ramos como Secretario del despacho. **CÚMPLASE Y NOTIFIQUESE.- Ing. Paul Aucancela, Responsable Oficina Técnica Riobamba (E).**

Ab. Oscar Cevallos Ramos  
**SECRETARIO**



Impreso en Ecuador - Imprenta Código postal 11003 - QUITO, ECUADOR  
Tel: +593 995 990 000 - www.gobnacional.gub.ec

**ANEXO B: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA ANTES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 LABORATORIO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA



**HOJA DE TRABAJO**

TABLA DE RESULTADOS					
PARÁMETROS	UNIDADES	M1	M2	M3	M4
MUESTRA					
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	12.4	10.4	10.9	12.5
COLOR	Pt/Co	24	16	15	17
SABOR	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable
PH		7.11	7.22	7.32	7.56
CONDUCTIVIDAD	µS/cm	341.2	328.9	337	334.8
TURBIEDAD	NTU	0.31	0.18	0.17	0.18
CLORUROS	mg/L	5.67	5.67	5.67	5.67
DUREZA	mg/L	240	230	200	200
CALCIO	mg/L	28.8	27.2	25.6	25.6
ALCALINIDAD	mg/L	195	210	260	290
SULFATOS	mg/L	16	<0.1	2	2
N. AMONICAL	mg/L	0.15	0.17	0.17	0.17
NITRITOS	mg/L	0.004	0.005	0.004	0.078
NITRATOS	mg/L	0.1	<0.01	<0.01	<0.01
FOSFATOS	mg/L	0.30	0.78	0.37	0.25
HIERRO	mg/L	0.07	0.08	0.05	0.03
MANGANESO	mg/L	<0.01	0.023	0.118	0.015
FLUOR	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
ALUMINIO	mg/L	<0.01	<0.01	0.036	<0.01
SOLID. TOTALES DISUELTOS	mg/L	205.7	200.3	205	204.9
COLIF. TOTALES	UFC/100 mL	210	3	53	160
COLIF. FECALES	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	32	160

ANALISTAS: Keyron Loor, Laura Pulla.



### **CONCLUSIONES**

Las muestras de agua presentan color y dureza fuera de los límites permisibles según la Norma INEN 1108. Además, es relevante señalar que, en los tanques de almacenamiento se observa una abundante cantidad de sólidos sedimentables correspondientes a tierra que deberían evitarse antes del ingreso al tanque mediante un proceso de filtración, lo cual, a su vez, mejoraría la condición y se podría bajar la frecuencia de mantenimiento del tanque cada 6 meses.

Existen presencia de coliformes totales y fecales que indican una condición vulnerable en el aspecto microbiológico. Las muestras que presentan coliformes fecales ya no son aptas para el uso doméstico, por lo tanto, es necesario la implementación de un sistema de desinfección del agua para eliminar la presencia de organismos en el tanque de abastecimiento.

### **REVISADO POR:**

**Dra. Gina Alvarez**

**Responsable del Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua**

**ANEXO C: ANÁLISIS DE LA CALIDAD DEL AGUA POST IMPLEMENTACIÓN DEL PROYECTO**



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**LABORATORIO DE ANÁLISIS DE CALIDAD DE AGUA**



**HOJA DE TRABAJO**

<b>TABLA DE RESULTADOS POST IMPLEMENTACIÓN DEL FILTRO</b>				
PARAMETROS				
MUESTRA	UNIDADES	M2	M3	M4
TEMPERATURA DE LA MUESTRA	°C	13.5	14.8	16.4
COLOR	Pt/Co	3	2.6	2.4
SABOR	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable	Inobjetable
PH		7.88	7.9	7.64
CONDUCTIVIDAD	μS/cm	243	267	252
TURBIEDAD	NTU	0.08	0.07	0.06
CLORUROS	mg/L	4.25	4.25	4.25
DUREZA	mg/L	160	172	160
CALCIO	mg/L	22.4	24.6	22.56
ALCALINIDAD	mg/L	202.5	220	265
SULFATOS	mg/L	1	1	<0.1
N. AMONIACAL	mg/L	<0.1	<0.1	<0.1
NITRITOS	mg/L	0.004	0.003	0.015
NITRATOS	mg/L	1.7	1.5	1.7
FOSFATOS	mg/L	0.46	0.32	0.27
HIERRO	mg/L	0.05	0.03	0.03
FLUOR	mg/L	0.41	0.42	0.44
ALUMINIO	mg/L	<0.01	<0.01	<0.01
SOLID. TOTALES DISUELTOS	mg/L	132	143	172
COLIF. TOTALES	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia
COLIF. FECALES	UFC/100 mL	Ausencia	Ausencia	Ausencia

ANALISTAS: Keyron Loor, Laura Pulla.



#### **CONCLUSIONES**

Las propiedades físicas del agua han experimentado mejoras notables, como lo demuestra el valor del color, que ahora se encuentra en conformidad con la norma INEN 1108. En cuanto a la composición química, los valores de amonio y sulfatos han disminuido y se encuentran dentro de los límites permisibles. Simultáneamente, se ha logrado un impacto sumamente positivo en las propiedades microbiológicas, logrando la ausencia total de coliformes tanto totales como fecales

Es importante mantener un programa regular de mantenimiento para el tanque de almacenamiento central, llevando a cabo revisiones cada seis meses. Además, se recomienda que cada usuario realice un mantenimiento periódico de los tanques individuales en sus hogares, a su vez, sería beneficioso considerar la sustitución de las tuberías que llevan un tiempo considerable sin cambios.

#### **REVISADO POR:**

**Dra. Gina Alvarez**  
**Responsable del Laboratorio de Análisis de Calidad de Agua**

## ANEXO D: FOTOGRAFÍAS DEL PROYECTO



Verificación de la colocación de grava en la captación



Limpieza de sedimentos en la captación



Control y limpieza del tanque de captación



Adecuación del tanque de almacenamiento



Realización de ensayos de calidad del agua



Toma de muestras para ensayos de calidad del agua



Colocación de una capa de pintura de protección al tanque de almacenamiento



Equipos de medición para ensayos in situ



Levantamiento planimétrico de infraestructura existente



Toma de muestras para ensayos en laboratorio



Ensayos al agua post implementación del tanque de filtración



Indicaciones a la comunidad del funcionamiento del tanque de filtración



Socialización de los resultados de ensayos post implementación del tanque filtración



Socialización del proyecto, funcionamiento del tanque de filtración y entrega de resultados a la comunidad.

## ANEXO E: CERTIFICADO DE CONFORMIDAD

 **SAN JUAN**  
Distrito del Chimborazo y el punto más alto de Ecuador

GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO  
PARROQUIAL RURAL SAN JUAN  
RUC: 0660823500001

Riobamba, 25 de Agosto del 2023

**CERTIFICADO DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

Por medio de la presente, certificamos al Sr. **KEYRON ANTONY LOOR VERGARA** con CL 210069959-0 y a la Srta. **LAURA DEL CARMEN PULLA QUEZADA** con CL 115069110-1, estudiantes de la Carrera de INGENIERÍA INDUSTRIAL de la **ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**, que han realizado de manera satisfactoria el trabajo de Integración Curricular: **"DISEÑO, IMPLEMENTACIÓN Y VALIDACIÓN DE UN SISTEMA DE FILTRACIÓN DE AGUA ÓPTIMO PARA EL CONSUMO EN LAS COMUNIDADES DE LA PARROQUIA DE SAN JUAN DEL CANTÓN RIOBAMBA"**, en el cual han demostrado responsabilidad, puntualidad y buen desempeño en las actividades encomendadas.

Particular que comunico para los fines pertinentes.

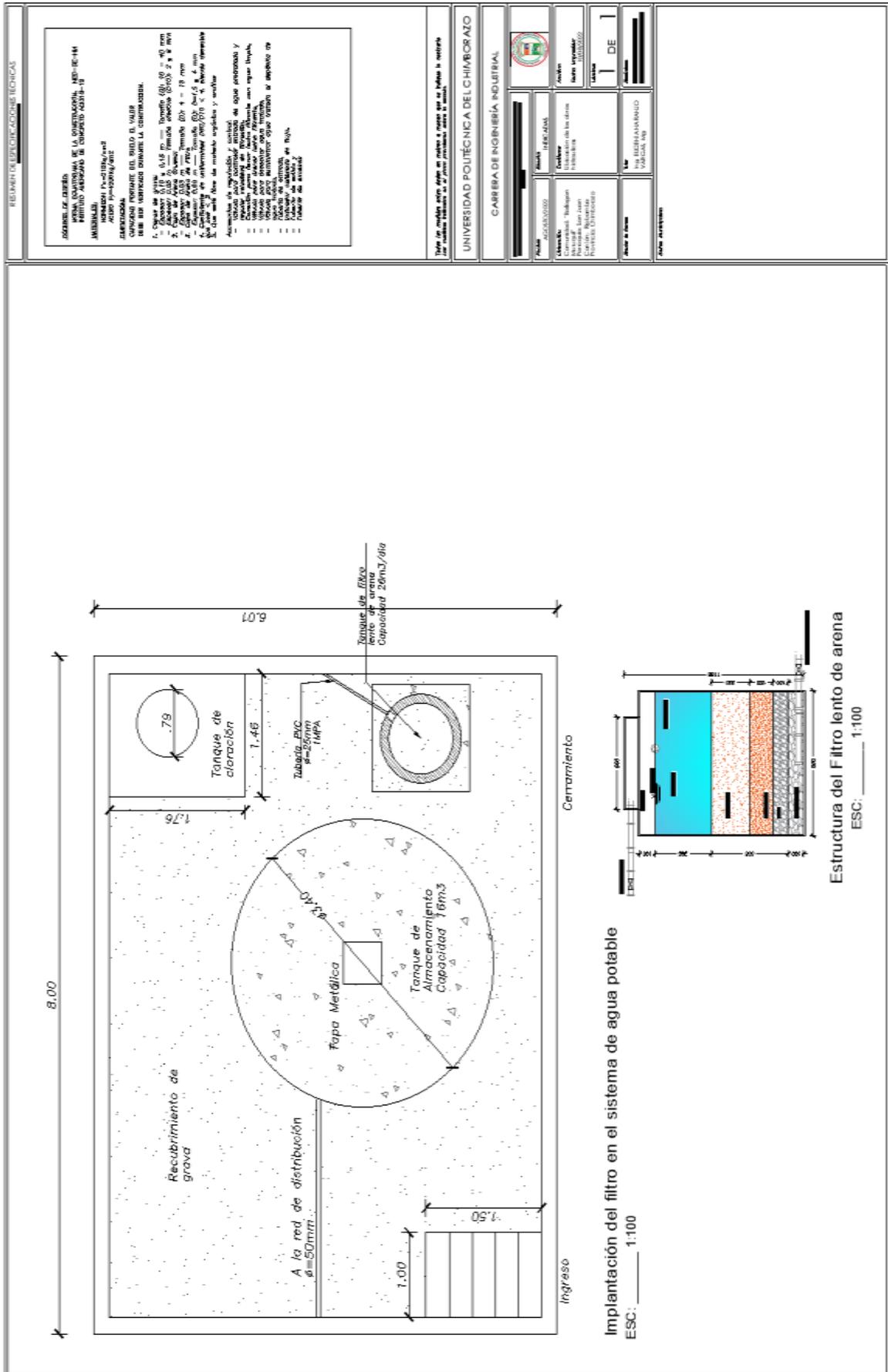
Atentamente;

  
Sr. Abraham Ali  
**PRESIDENTE DEL GAD SAN JUAN**  
C.I. 0604170282  
CEL: 0994942964  
Correo: atiabraham7@gmail.com



(03) 2933095    gpsanjuan@gmail.com  
Ak. Moisés Silva. / RIOBAMBA - CHIMBORAZO

# ANEXO F: PLANOS DEL PROYECTO





espoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL**

**REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA**

Fecha de entrega: 12 / 12 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
Nombres – Apellidos: KEYRON ANTONY LOOR VERGARA LAURA DEL CARMEN PULLA QUEZADA
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
Facultad: MECÁNICA
Carrera: INGENIERÍA INDUSTRIAL
Título a optar: INGENIERO/A INDUSTRIAL
f. Analista de Biblioteca responsable: Ing. CPA. <del>Jhonatan</del> Rodrigo Parreño Uquillas, MBA.

5-12-2023

2116-DBRA-UPT-2023