



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE CIENCIAS

ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

“REDISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE  
AGUA POTABLE EN LA PARROQUIA SAN PABLO DEL  
LAGO, CANTÓN OTAVALO, PROVINCIA DE  
IMBABURA”

TESIS DE GRADO

Previa la obtención del Título de:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTADO POR:

ANA GABRIELA FLORES HUILCAPI

RIOBAMBA – ECUADOR

2012

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco al Departamento de Agua Potable y Alcantarillado del Ilustre Municipio de Otavalo que auspicio esta investigación; de manera especial al Ing. Diego Benavides Jefe del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado y a la Química Verónica Vargas Encargada del Laboratorio de Agua Potable.*

*Al distinguido tribunal dirigido por el Ing. Gonzalo Sánchez y su colaborador Dr. Gerardo León por la contribución prestada para el desarrollo y término de este trabajo.*

## DEDICATORIA

*A Dios por ser mi amigo infalible y guía en mi diario vivir por haberme dado la existencia y permitido llegar al final de mi carrera.*

*A Marinita, mi madre, porque creyó en mí y me saco adelante, dándome dignos ejemplos de superación y entrega, porque en gran parte gracias a ella hoy puedo ver alcanzada mi meta, ya que siempre estuvo impulsándome en los momentos más difíciles de mi vida. Va por ella por lo que vale, porque admiro su fortaleza y por lo que ha hecho de mí. Ahora es parte de los ángeles del cielo y sé que desde ahí va seguir bendiciendo mi vida, todos mis logros siempre serán para ti mamita.*

**GABRIELA**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

**Dr. Silvio Álvarez**  
DECANO FAC. CIENCIAS

---

---

**Ing. Mario Villacrés**  
DIRECTOR ESC. ING. QUIM.

---

---

**Ing. Gonzalo Sánchez**  
DIRECTOR DE TESIS

---

---

**Dr. Gerardo León**  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

---

---

**Tlgo. Carlos Rodríguez**  
DIRECTOR CENTRO  
DOCUMENT.

---

---

**NOTA DE TESIS**

---

*Yo, Ana Gabriela Flores Huilcapi, soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este informe y el patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.*

.....  
*Ana Gabriela Flores Huilcapi*

## TABLA DE CONTENIDO

	Pp.
INDICE DE ABREVIATURAS .....	15
INTRODUCCION.....	17
ANTECEDENTES.....	18
JUSTIFICACION.....	19
OBJETIVOS.....	20

### CAPÍTULO I

#### PARTE TEORICA

1. Marco teórico:.....	21
1.1 Agua.....	22
1.1.1 Propiedades del agua.....	22
1.1.2 Aguas disponibles.....	23
1.1.2.1 Aguas subterráneas.....	23
1.1.2.2 Agua superficial.....	23
1.1.3 Utilizacion de aguas superficiales en el medio rural.....	25
1.1.5 Condiciones físicas, químicas y microbiológicas.....	27
1.1.5.1 Condiciones físicas: .....	27
1.1.5.2 Condiciones químicas .....	27
1.1.5.3 Condiciones microbiológicas.....	28
1.1.6 Calidad de agua potable .....	29
1.2 Sistemas de abastecimiento .....	30
1.2.1 Componentes de un sistema de abastecimiento.....	31
1.3 Diseño de una planta de tratamiento de agua .....	31
1.3.1 Consideraciones generales del diseño.....	31
1.4 Procesos y operaciones de tratamiento de las aguas superficiales.....	34

1.4.1 Desarenadores .....	36
1.4.2 Medidores de caudales .....	38
1.4.2.1 Medidores parshall .....	39
1.4.3 Sedimentación .....	43
1.4.3.1 Sedimentadores clásicos .....	44
1.4.4 Filtración .....	54
1.4.4.1 Filtración gruesa ascendente .....	54
1.4.4.2 Filtración lenta de arena .....	58
1.4.5 Desinfección química .....	61
1.4.5.1 Cloración .....	62
1.5 Normativa utilizada para el Rediseño .....	63
1.5.1 Normas INEN 1108 .....	63

## **CAPITULO II**

### **PARTE EXPERIMENTAL**

2.1 Muestreo .....	64
2.1.1 Area de investigación .....	66
2.1.2 Método de recolección de información .....	66
2.1.3 Procedimiento para la recolección de información .....	66
2.1.4 Plan de tabulación y análisis .....	67
2.2. Metodología .....	67
2.2.1 Metodología de trabajo .....	67
2.2.2 Tratamiento de muestras .....	68
2.3 Métodos y técnicas .....	68
2.3.1 Métodos .....	68
2.3.2 Técnicas .....	71
2.4 Datos experimentales .....	87
2.4.1 Descripción del sistema de agua potable existente .....	87
2.4.2 Población de diseño .....	91
2.5 Datos .....	92

2.5.1 Caracterización físico - química y microbiológica del agua en cada proceso del tratamiento de agua potable actual.....	92
2.5.1.1 Análisis de dureza total, alcalinidad y calcio.....	108
2.5.2 Análisis de la grava y arena del sistema de filtración.....	108
2.5.3 Caracterización físico – química del agua después de realizar las pruebas de tratabilidad (sedimentación y filtración lenta) a nivel de laboratorio:.....	109
2.5.4 Determinación del caudal: .....	112

### **CAPITULO III**

#### **REDISEÑO**

3. Rediseño del sistema de tratamiento.....	114
3.1 Consideraciones generales del diseño.....	114
3.2 Cálculos de ingeniería.....	114
3.2.1 Diseño de medidor de caudal parshall .....	114
3.2.1.1 Cálculo de altura de cresta .....	114
3.2.1.2 Cálculo de altura de garganta.....	115
3.2.1.3 Cálculo de pérdida de carga:.....	115
3.2.2 Diseño del sedimentador clásico .....	116
3.2.2.1 Cálculo del volumen del sedimentador: .....	116
3.2.2.2 Cálculo de la velocidad de sedimentación: .....	116
3.2.2.3 Determinación de la velocidad de sedimentación crítica.....	117
3.2.2.4 Cálculo de las dimensiones del sedimentador:.....	117
3.2.2.5 Dimensión constructiva .....	118
3.2.2.6 Cálculo de la velocidad de escurrimiento .....	119
3.2.2.7 Cálculo de la velocidad de arrastre .....	119
3.2.2.8 Determinación del volumen de lodos para el sedimentador .....	120
3.2.2.9 Dimensionamiento de la entrada al sedimentador .....	121
3.2.2.10 Dimensionamiento de la estructura de salida del sedimentador .....	125
3.2.3 Rediseño del prefiltro grueso ascendente .....	128
3.2.3.1 Cálculo del área de filtración. ....	128

3.2.4 Rediseño del filtro lento de arena.....	129
3.2.4.1 Cálculo del área de filtración .....	129
3.2.4.2 Cálculo del número de filtros.....	129
3.2.4.3 Cálculo del área para cada unidad.....	129
3.2.4.4 Cálculo de dimensiones de filtro .....	130
3.3 Resultados.....	131
3.3.1 Medidor de caudal parshall.....	131
3.3.2 Sedimentadores clásicos .....	131
3.3.3 Filtros gruesos ascendentes .....	132
3.3.4 Filtros lentos.....	132
3.4 Propuesta.....	133
3.5 Análisis y discusión de resultados .....	134

## **CAPITULO IV**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

4. Conclusiones y recomendaciones .....	153
4.1 Conclusiones.....	153
4.2 Recomendaciones .....	155

<b>BIBLIOGRAFIA</b> .....	155
---------------------------	-----

<b>ANEXOS</b> .....	157
---------------------	-----

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Pp.</b>
1-1	Propiedades del agua	22
1-2	Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas	24
1-3	Eficiencia en los procesos para la remoción de impurezas de tratamiento de agua	36
1-4	Grado de sumergencia de la garganta	41
1-5	Valores de K y m según el tamaño de la garganta W	42
1-6	Tasas de sedimentación para algunas partículas	44
1-7	Parámetros para el diseño de sedimentadores	46
1-8	Eficiencias típicas de tratamiento por Filtros Gruesos Ascendentes	55
1-9	Tabla Guía de diseño para filtros Gruesos Ascendentes	56
1-10	Lecho recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes	57
1-11	Criterios para diseñar un filtro lento	60
1-12	Lecho recomendado para Filtros Lentos de Arena	61
2-1	Recolección de muestras	66
2-2	Descripción de métodos de análisis	68
2-3	Determinación de Potencial de hidrógeno pH	71
2-4	Determinación de Color	72
2-5	Determinación de Turbiedad	73
2-6	Determinación de Conductividad	74
2-7	Determinación de Sólidos totales disueltos	75
2-8	Determinación de Fosfatos	76
2-9	Determinación de Hierro	77
2-10	Determinación de Manganeso	78
2-11	Determinación de Nitritos	79
2-12	Determinación de Nitratos	80
2-13	Determinación de Nitrógeno – amoniacal	81
2-14	Determinación de Sulfatos	82
2-15	Determinación de Calcio	83
2-16	Determinación de Alcalinidad total	84
2-17	Determinación de Dureza total	85
2-18	Determinación de Cloro residual	86
2-19	Descripción fuente que abastece a la red de distribución de la población de San Pablo del Lago	87
2-20	Conducción que alimenta a la red de distribución de la población de San Pablo del Lago	88
2-21	Unidades de tratamiento población de San Pablo del Lago	89
2-22	Unidades de almacenamiento de agua potable de San Pablo del Lago	90
2-23a	Caracterización físico-química del agua cruda (Semana 1)	92
2-23b	Análisis microbiológico (Semana 1)	92
2-24a	Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 1)	93

2-24b	Análisis microbiológico (Semana 1)	93
2-25a	Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 1)	94
2-25b	Análisis microbiológico (Semana 1)	94
2-26a	Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 1)	95
2-27a	Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 2)	96
2-27b	Análisis microbiológico (Semana 2)	96
2-28a	Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 2)	97
2-28b	Análisis microbiológico (Semana 2)	97
2-29a	Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 2)	98
2-29b	Análisis microbiológico (Semana 2)	98
2-30a	Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 2)	99
2-30b	Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 3)	100
2-31a	Análisis microbiológico (Semana 3)	100
2-32a	Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 3)	101
2-32b	Análisis microbiológico (Semana 3)	101
2-33a	Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 3)	102
2-33b	Análisis microbiológico (Semana 3)	102
2-34a	Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 3)	103
2-35a	Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 4)	104
2-35b	Análisis microbiológico (Semana 4)	104
2-36a	Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 4)	105
2-36b	Análisis microbiológico (Semana 4)	105
2-37a	Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 4)	106
2-37b	Análisis microbiológico (Semana 4)	106
2-38a	Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 4)	107
2-39b	Análisis de dureza, alcalinidad y calcio en los procesos de tratamiento de agua tratada	108
2-40	Peso de la grava del prefiltro ascendente a distintas profundidades para analizar	108
2-41	Determinación de parámetros de la grava seca de prefiltro ascendente	108
2-42	Determinación de parámetros de la grava húmeda de prefiltro ascendente	109
2-43	Peso de arena de filtro lento a distintas profundidades para analizar	109
2-44	Determinación de parámetros de la arena seca del filtro lento	109
2-45	Determinación de parámetros de la arena húmeda del filtro lento	109
2-46	Pruebas de tratabilidad parámetro turbiedad	110
2-47	Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos	111
2-48	Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos	111
2-49	Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos	111
2-50	Medición del caudal en la captación de agua	112
3-1	Componentes del Filtro Grueso Ascendente	128
3-2	Componentes del Filtro Lento de Arena	130

3-3	Resultados del Medidor Parshall	131
3-4	Resultados de sedimentadores clásicos	131
3-5	Resultados de filtros gruesos ascendentes	132
3-6	Lecho para filtros gruesos ascendente	132
3-7	Resultados de filtros lentos	132
3-8	Lecho para filtros lentos de arena	132
3-9	Resultados promedios de pH en las etapas de tratamiento	134
3-10	Resultados promedios de color en las etapas de tratamiento	135
3-11	Resultados promedios de turbiedad en las etapas de tratamiento	136
3-12	Resultados promedios de conductividad en las etapas de tratamiento	137
3-13	Resultados promedios de STD en las etapas de tratamiento	138
3-14	Resultados promedios de fosfatos en las etapas de tratamiento	139
3-15	Resultados promedios de hierro en las etapas de tratamiento	140
3-16	Resultados promedios de manganeso en las etapas de tratamiento	141
3-17	Resultados promedios de nitritos en las etapas de tratamiento	142
3-18	Resultados promedios de nitratos en las etapas de tratamiento	143
3-19	Resultados promedios de n-amoniaco en las etapas de tratamiento	144
3-20	Resultados promedios de sulfatos en las etapas de tratamiento	145
3-21	Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad después del Tratamiento de Sedimentación.	146
3-22	Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad	147
3-23	Resultados de los porcentajes de Remoción de Fosfatos	148

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>		<b>Pp.</b>
1-a	Para cálculo de la sumergencia máxima	40
1-b	Para altura del flujo de agua	41
1-c	Para altura de la cresta	42
1-d	Para altura del agua sobre la garganta	43
1-e	Para la pérdida de carga	43
1-f	Para velocidad de sedimentación	45
1-g	Para velocidad de sedimentación crítica	45
1-h	Para área total de sedimentador	46
1-i	Para área individual de sedimentador	46
1-j	Para velocidad de escurrimiento horizontal	47
1-k	Para velocidad de arrastre de las partículas	47
1-l	Para el volumen de lodos producidos	48
1-m	Para el volumen de la cámara de lodos	48
1-n	Para dimensiones de la cámara de lodos	49
1-o	Para la velocidad de paso de agua por la pantalla deflectora	50
1-p	Para área de cada orificio	50
1-q	Para el radio Hidráulico	50
1-r	Para el diámetro Hidráulico	50
1-s	Para el caudal que pasa por cada orificio	51
1-t	Para nivel piezométrico	51
1-u	Para variación de nivel piezométrico	51
1-v	Para variación del caudal de los orificios	52
1-w	Para carga del vertedero	53
1-x	Para caudal para cada vertedero	53
1-y	Para altura a la salida del sedimentador	53
1-z	Para altura del agua por encima de la cresta del vertedero	53
1-aa	Para Área de filtración (Prefiltros Ascendentes)	56
1-ab	Para área de filtración (Filtros Lentos de Arena)	59
1-ac	Para número de Filtros	59
1-ad	Para área de cada unidad de filtración	59
1-ae	Para dimensiones de los filtros	60
1-af	Para dimensiones de los filtros	60
2-a	Para caudal	112

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pp.</b>
1-1	Medidor de Caudal Parshall	39
1-2	Filtro Grueso Ascendente	55
1-3	Filtro Lento de Arena	58
2-1	Proyección de la población para el periodo 2001-2046	91
3-1	Resultados promedios de pH en las etapas de tratamiento	134
3-2	Resultados promedios de color en las etapas de tratamiento	135
3-3	Resultados promedios de turbiedad en las etapas de tratamiento	136
3-4	Resultados de conductividad en las etapas de tratamiento	137
3-5	Resultados de STD en las etapas de tratamiento	138
3-6	Resultados de fosfatos en las etapas de tratamiento	139
3-7	Resultados de hierro en las etapas de tratamiento	140
3-8	Resultados de manganeso en las etapas de tratamiento	141
3-9	Resultados de nitritos en las etapas de tratamiento	142
3-10	Resultados de nitratos en las etapas de tratamiento	143
3-11	Resultados de n-amoniacal en las etapas de tratamiento	144
3-12	Resultados de sulfatos en las etapas de tratamiento	145
3-13	Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad después del Tratamiento de Sedimentación	146
3-14	Resultados de los porcentajes de remoción de turbiedad	147
3-15	Resultados de los porcentajes de remoción de fosfatos	148

## INDICE DE ABREVIATURAS

NTU	Nephelometric Turbidity Unit
us/cm	Micro siemens por centímetro
FLA	Filtración Lenta Arena
UFC	Unidades Formadoras de Colonial
Q	Caudal de Diseño
S	Sumergencia Máxima
Ha	Altura de agua de la cresta
Hb	Altura de agua de la garganta
W	Ancho de la garganta
Ho	Altura del flujo de agua
V <sub>S</sub>	Velocidad de Sedimentación
$\eta$	Viscosidad cinemática
$\rho_s$	Densidad del Solido
$\rho_{H_2O}$	Densidad del Agua
g	Gravedad
d	Diámetro de la partícula
V <sub>SC</sub>	Velocidad de Sedimentación Critica
V <sub>h</sub>	Velocidad de Escurrimiento
V <sub>a</sub>	Velocidad de Arrastre
R <sub>H</sub>	Radio Hidráulica
D <sub>H</sub>	Diámetro Hidráulico
V <sub>Cl</sub>	Volumen de la Cámara de Lodos

$Q_i$	Caudal por cada orificio
$Z$	Nivel Piezométrico
$E$	Eficiencia Remocional
$d$	Separación entre la pared y la pantalla deflectora
$V_c$	Velocidad de paso por la pantalla deflectora
$F_i$	Área de Cada Orificio
$u$	Coefficientes de descarga
$\gamma$	Coefficiente de fricción
$\Delta q$	Variación del caudal de orificios
$W_1$	Carga del vertedero
$Q_w$	Caudal de Vertedero
$H_w$	Altura del agua por encima de la cresta del vertedero rectangular
$Q_d$	Caudal de cada unidad de filtrado
$V_f$	Velocidad de Filtración
$n$	Número de filtros

## INTRODUCCION

El Cantón Otavalo, está situado en la parte sur de la Provincia de Imbabura integrado por la ciudad del mismo nombre y por once parroquias, dos urbanas y nueve rurales.

La zona del proyecto comprende la población de San Pablo del Lago, cabecera Parroquial de la Parroquia San Pablo del Lago, perteneciente al cantón Otavalo, localizada a cuatro kilómetros del mismo la cual está ubicada al Sur - Este de la Ciudad de Otavalo.

La población de San Pablo del Lago se asienta desde las orillas del Lago San Pablo al Oeste hasta la Qda. Cusín al Este ocupando una franja de aproximadamente 1 Km. de ancho, el Clima del sector de proyecto, corresponde a una clasificación Templado Sub-Húmedo, clima que posee la zona durante todo el año, tanto en verano, como en invierno.

El sistema de abastecimiento de agua de la población de San Pablo del Lago es alimentado actualmente por los escurrimientos superficiales de la Quebrada La Compañía, mediante una obra de captación convencional cuyas aguas provienen de vertientes ubicadas aproximadamente a 2 Km aguas arriba de la captación.

Las aguas distribuidas son sometidas secuencialmente a un tanque de almacenamiento, prefiltros de grava, filtros lentos de arena, desinfección con hipoclorito de sodio y un tanque de almacenamiento. En términos generales el sistema de abastecimiento actual posee una cobertura actual aproximada de 66.2% de total de la población registrada en la cabecera parroquial de San Pablo del Lago.

## **ANTECEDENTES**

La construcción del sistema de distribución original de agua potable fue concluida en 1980 por parte del Ex IEOS (Instituto Ecuatoriano de Obras Sanitarias). Básicamente existe un solo sistema de distribución con un único punto de ingreso de caudales que constituye la Planta de Potabilización (sector Cusín).

El Departamento de Agua Potable y Alcantarillado es una dependencia que se ha constituido específicamente para llevar un control estricto y mejoramiento continuo del servicio que presta la Municipalidad del cantón Otavalo en el campo de agua potable a nivel rural.

Del total captado normalmente en las fuentes de la Quebrada La Compañía, que aproximadamente contabilizan alrededor de 24 L/s, son factibles de distribuir 20 L/s hacia la cabecera parroquial de San Pablo y que resultan insuficientes para la demanda.

La planta de tratamiento cuenta actualmente con 1 tanque de recepción, 2 prefiltros ascendentes, 3 filtros lentos de arena de los cuales solo se utiliza 1, y desinfección con hipoclorito de sodio.

## JUSTIFICACION

Al extraer aguas superficiales para el proceso de potabilización se debe realizar ciertos análisis para el tratamiento de la misma, con el fin de lograr la máxima eficiencia de los procesos de tratamiento de agua y por ende lograr una calidad de agua apta para el consumo humano, libre de elementos dañinos para la salud. La captación de agua para la parroquia de San Pablo del Lago proviene de vertientes superficiales ubicadas aproximadamente a 2 Km aguas arriba de la planta de tratamiento. Su transporte provoca el arrastre de sólidos suspendidos escenario que se vuelve crítico en invierno.

El agua con altos niveles de turbiedad pueden con rapidez obstruir la arena fina de los filtros ya que no existe un tratamiento previo a este, limitando la eficiencia del proceso de potabilización del agua y provocando la suspensión del servicio a la población. Los procesos de filtración no cumplen satisfactoriamente su objetivo lo que ocasiona que el agua potable suministrada no contenga una calidad óptima.

La constante tendencia de los procesos hacia la mejora de la calidad y las necesidades de toda parroquia de contar con un suministro de agua de excelentes características y sin interrupciones justifica la importancia del desarrollo de este tema de tesis ya que en la planta de tratamiento San Pablo del Lago no se han realizado investigaciones de esta índole.

Tomando en cuenta estas consideraciones el Departamento de Agua Potable y Alcantarillado del Municipio de Otavalo apoya y facilita los estudios para el Rediseño de la Planta de Tratamiento de agua de la parroquia San Pablo del Lago a través del diagnostico del estado actual y poder establecer los posibles cambios e implementaciones al sistema de tratamiento.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL:**

- ✓ Rediseñar el sistema de tratamiento de agua potable en la Parroquia San Pablo del Lago, Cantón Otavalo, Provincia de Imbabura.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS:**

- ✓ Caracterizar las aguas superficiales que abastecen al sistema de agua potable de la parroquia San Pablo del Lago.
- ✓ Analizar cada uno de los procesos de potabilización de agua en la parroquia San Pablo del Lago.
- ✓ Realizar pruebas de tratabilidad para reducir y/o eliminar la contaminación por sólidos suspendidos de las aguas superficiales.
- ✓ Rediseñar un sistema óptimo de tratamiento de aguas para la parroquia San Pablo del Cantón Otavalo, basados en los análisis, las pruebas de tratabilidad y mediciones realizadas.

# **CAPITULO I**

## **PARTE TEORICA**

## 1. MARCO TEORICO:

### 1.1 AGUA

El agua, al mismo tiempo que constituye el líquido más abundante en la Tierra, representa el recurso natural más importante y la base de toda forma de vida. No es usual encontrar agua pura en la naturaleza, aunque puede obtenerse en el laboratorio y separarse en sus componentes, Hidrógeno (H) y Oxígeno (O).

Cada molécula de agua está formada por un átomo de oxígeno y dos de hidrógeno.

#### H-O-H

En nuestro planeta las aguas ocupan una alta proporción en relación con las tierras emergidas y se presentan en diferentes formas:

- Mares y Océanos, que contienen una alta concentración de sales y que llegan a cubrir el 71 % de la superficie terrestre.
- Aguas superficiales que son ríos, lagunas y lagos.
- Aguas del subsuelo, también llamadas aguas subterráneas, por fluir por debajo de la superficie terrestre.

#### 1.1.1 PROPIEDADES DEL AGUA

**TABLA 1-1**

#### **Propiedades del agua**

<b>Propiedades de Físicas</b>	<b>Propiedades de Químicas</b>
Es un cuerpo líquido, incoloro, inodoro e insípido.	Se combina con metales y a metales dando oxido
En grandes cantidades toma una coloración azul- verdosa.	Se combina con óxidos metálicos y las bases.
Su densidad es igual a 1gr/cm <sup>3</sup> cuando se	Se combina con óxidos no metálicos y de

determina a 40 C y al nivel del mar.	ácidos oxácidos
Hierve a la temperatura de 100 C al nivel del Mar	Se descomponen por electrolisis de hidrogeno y oxigeno
Su punto de solidificación es de 0 C (forma hielo)	Para descomponerse por otro procedimiento necesita temperatura superiores a 27 C.
Tiene gran poder disolvente por lo que le llama “disolvente universal”	

Fuente: <http://www.ehu.es/biomoleculas/agua/agua.htm>

## **1.1.2 AGUAS DISPONIBLES**

### **1.1.2.1 Aguas Subterráneas**

Son las más mocionadas a tratamientos de potabilización, sin embargo, estas también son susceptibles a contaminación, especialmente durante periodos de fuertes precipitaciones, en los que pueden enturbiarse considerablemente y aún contaminarse por la influencia de la capa freática de algún río próximo. La contaminación puede proceder también del suelo, debido a fenómenos naturales o causada por el hombre.

La contaminación del agua por fenómenos naturales es un factor muy importante a estudiar, previo a la potabilización y distribución del agua a la comunidad.

### **1.1.2.2 Agua Superficial**

El agua superficial está formada de escurrimientos directos y del flujo “básico”, es decir, aquella porción de la descarga de una corriente obtenida de la aportación de aguas del subsuelo o de otras fuentes independientes.

Más preocupante aún es la contaminación de las aguas superficiales, ya que además de fenómenos naturales a las que están obviamente expuestas por ser superficiales, existe, la contaminación de manera directa causada por el hombre. Además de ser fácilmente

contagiadas por un sin número de bacterias y virus, debido a esto deben desinfectarse con más intensidad que las aguas subterráneas.

Los defectos de las aguas superficiales son más aparentes que en las aguas subterráneas, de modo que se debe tratar de manera diferente cada una, de acuerdo a las características y propiedades de las mismas. Es importante saber la composición de cada una de las aguas para así determinar un tratamiento óptimo. En la tabla se muestran las diferencias entre aguas subterráneas y superficiales.

**TABLA 1-2**

**Principales diferencias entre aguas superficiales y aguas subterráneas**

<b>Características Examinadas</b>	<b>Aguas Superficiales</b>	<b>Aguas Subterráneas</b>
<b>Temperatura</b>	Variable, según las estaciones del año.	Relativamente constante.
<b>Turbiedad, materias en suspensión</b>	Variable, a veces elevada.	Bajas o nulas.
<b>Mineralización</b>	Variable en función de los terrenos, precipitaciones, vertidos, etc.	Sensiblemente constante, generalmente mayor que en las aguas de superficie de la misma región.
<b>Hierro y Magnesio divalentes (en estado disuelto)</b>	Generalmente ausente, salvo en el fondo de cauces de agua, en estado de eutrofización.	Generalmente presente.
<b>Gas carbónico agresivo</b>	Generalmente ausente.	Normalmente presente en gran cantidad.
<b>Oxígeno Disuelto</b>	Normalmente próximo a saturación ente próximo.	Ausencia total en la mayoría de los casos.
<b>Amoniaco</b>	Presente solo en aguas contaminadas.	Presencia frecuente, sin ser un índice sistemático de

		contaminación.
<b>Sulfuro de Hidrógeno</b>	Ausente	Normalmente presente.
<b>Sílice</b>	Contenido moderado	Contenido normalmente elevado.
<b>Nitratos</b>	Poco abundante en general	Contenido a veces elevado, riesgos de metemoglobinemia
<b>Elementos vivos</b>	Bacterias(algunas de ellas patógenas), virus, plancton	Frecuentes ferro bacterias

Fuente: Guerrero J. (1991). Manual de Tratamiento de Aguas

### 1.1.3 UTILIZACION DE AGUAS SUPERFICIALES EN EL MEDIO RURAL

La selección y utilización de fuentes de agua superficial para sistemas particulares de abastecimiento de agua requieren que se tomen en consideración otros factores que no están, por lo general, asociados con las fuentes de agua del subsuelo.

Como regla general las aguas superficiales deben utilizarse solamente en los casos en que no se disponga de fuentes de agua de subsuelo o que esta sea de calidad inadecuada.

El agua cristalina no siempre es potable, por lo que no es verdadero aquel viejo dicho que establece que las aguas corredizas se purifican por si solas en el trayecto de una distancia determinada, hasta convertirse en agua potable para el consumo humano.

La contaminación física y bacteriológica de las aguas superficiales, con la excepción de zonas de poca densidad de población, obliga a considerar tales fuentes de abastecimiento como inseguras para usos domésticos a menos que se proporcione procesos de potabilización dignos de confianza que incluyan filtración y desinfección en caso necesario.

Las principales fuentes de agua superficial que pueden explotarse incluyen, embalses o lagos, corrientes superficiales y canales para irrigación. Excepto en el caso de canales para irrigación cuyas descargas dependen de las actividades de riego, las fuentes mencionadas obtienen el agua de precipitaciones directas sobre la zona de escurrimiento.

Debido a la complejidad de los factores hidrológicos, geológicos y meteorológicos que afectan a las fuentes de agua superficial, se recomiendan obtener la asesoría de profesionales. Para poder estimar el rendimiento de la fuente, es necesario que se tome en cuenta la información que a continuación se menciona.

- ✓ Precipitación anual
- ✓ Distribución de la precipitación por estaciones
- ✓ Variaciones anuales o mensuales de la lluvia, con respecto a niveles normales
- ✓ Información sobre aforos de escurrimientos

#### **1.1.4 AGUA POTABLE**

Llamamos agua potable al agua que podemos consumir o beber sin que exista peligro para nuestra salud. El agua potable no debe contener sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades o perjudicar nuestra salud.

Por eso, antes de que el agua llegue a nuestras casas, es necesario que sea tratada en una planta potabilizadora. En estos lugares se limpia el agua y se trata hasta que está en condiciones adecuadas para el consumo humano.

Desde las plantas potabilizadoras, el agua es enviada hacia nuestras casas a través de una red de tuberías que llamamos red de abastecimiento o red de distribución de agua.

## **1.1.5 CONDICIONES FÍSICAS, QUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS**

### **1.1.5.1 CONDICIONES FÍSICAS:**

El agua que se destina a la bebida humana no debe presentar ni color, ni olor, ni materias en suspensión que le confiera turbiedad o aspecto desagradable. No se trata de que un agua con color o con materias en suspensión, o de gusto desagradable, pueda perjudicar la salud del que la utilice, se trata de que el consumidor, por los caracteres físicos desagradables, pueda considerarla algo repugnante, rechazándola.

Hay una consideración o factor predominante que siempre hace reflexionar sobre la posibilidad de mejorar las instalaciones, cual es la parte económica de la explotación. Se justifica todas las mejoras o modificaciones posibles en una instalación de purificación de agua, a fin de suministrarla de óptimas condiciones, especialmente físicas.

### **1.1.5.2 CONDICIONES QUÍMICAS:**

El análisis químico del agua permite conocer la cantidad y calidad de las sales disueltas. Estas sales disueltas pueden encontrarse en gran cantidad o en mínimas proporciones. Para calificar el agua como potable, sus condiciones químicas deben ser tales que resulte, de gusto agradable y con una cantidad de sales disueltas que no sean ni excesivas, ni escasas.

En cuanto a la naturaleza de estas sales, no debe originar perjuicios ni trastornos a la salud humana. En este sentido se define como agua potable, el agua que no contiene sustancias perjudiciales ni tóxicas, con respecto a la fisiología humana. Se han establecido especificaciones o límites para los distintos componentes de las

aguas, pero con cierta tolerancia de los mismos, los que se mantienen mientras no se demuestre por la experiencia que son perjudiciales.

### **1.1.5.3 CONDICIONES MICROBIOLÓGICAS:**

Significa esto que: el agua potable para ser considerada como tal, debe estar exenta de toda bacteria u organismo patógeno.

La naturaleza de esta bacteria u organismo patógeno varía según el origen de la fuente o material contaminante del agua, pues habitualmente no es el agua medio propicio para el desarrollo o cultivo de estos gérmenes, los que generalmente provienen de las materias fecales (portadores), desechos animales, etc. que entran en contacto con el agua.

Aclaremos que en el análisis bacteriológico no se efectúa habitualmente la investigación de estos organismos patógenos específicos o alguno determinado, pues sería una tarea muy complicada. Se sigue entonces un camino indirecto, para lo cual se efectúan dos clases de determinaciones:

- ✓ Contar el número de bacterias que contiene el agua en examen, para lo cual se siembra la muestra en un medio nutritivo sólido apropiado y se incuba a 37C durante 24 horas. A ese término el número de colonias que se han desarrollado se considera como el número de bacterias que contiene el agua.
  
- ✓ Determinación del índice de coliformes, que consiste en investigar la presencia de bacterias coliformes que como sabemos son características de la flora intestinal (por contaminación fecal).

La investigación de bacterias coliformes puede hacerse en las aguas en forma cuali o cuantitativamente, la determinación cuantitativa es la que tiene más significación y se funda en sembrar en medios nutritivos especiales, volúmenes crecientes de agua y determinar con que volumen mínimo del agua original, el resultado es positivo. En las aguas profundas no encontraremos bacterias coliformes, pero si en las superficiales, es decir todas las fuentes superficiales se consideran como contaminadas.

En lo que se refiere a la calidad microbiológica, no debe hacerse concesión alguna, el agua deberá ser siempre la más pura y segura posible.

Es siempre bueno tener presente que es preferible suministrar poco agua, pero microbiológicamente insospechada y no mucha o abundante, de cuya pureza no se tengan suficientes garantías en todos los instantes del suministros.

#### **1.1.6 CALIDAD DE AGUA POTABLE**

La calidad del agua, es un estado caracterizado por su composición físico-química y biológica. Este estado deberá permitir su empleo sin causar daño, para lo cual deberá reunir dos características:

- ✓ Estar exenta de sustancias y microorganismos que sean peligrosos para los consumidores.
- ✓ Estar exenta de sustancias que le comuniquen sensaciones sensoriales desagradables para el consumo (color, turbiedad, olor, sabor).

El criterio de potabilidad del agua depende fundamentalmente del uso al que se la destina (humano, industrial, agrícola, etc.)

El análisis del agua en su origen, nos proporciona los primeros datos respecto a su calidad, orientándonos en la selección de su captación y facilitando el tratamiento que hemos de aplicarle posteriormente.

Un agua potable destinada al consumo humano, debe cumplir ante todo con una calidad sanitaria apta, tanto inmediatamente después de su proceso de tratamiento, como presentar una estabilidad biológica en la red de distribución.

Éste término es relativo a la composición del agua en la medida en que ésta es afectada por la concentración de sustancias ya sea tóxicas o producidas por procesos naturales.

## **1.2 SISTEMAS DE ABASTECIMIENTO**

Los sistemas de abastecimiento de agua potable se pueden clasificar por la fuente del agua, del que se obtienen:

- ✓ Agua de lluvia almacenada en aljibes.
- ✓ Agua proveniente de manantiales naturales, donde el agua subterránea aflora a la superficie;
- ✓ Agua subterránea, captada a través de pozos o galerías filtrantes;
- ✓ Agua superficial (lleva un previo tratamiento), proveniente de ríos, arroyos, embalses o lagos naturales, quebradas
- ✓ Agua de mar (esta debe necesariamente ser desalinizada).

Según el origen del agua, para transformarla en agua potable deberá ser sometida a tratamientos, que van desde la simple desinfección y filtración, hasta la desalinización.

### **1.2.1 COMPONENTES DE UN SISTEMA DE ABASTECIMIENTO**

El sistema de abastecimiento de agua potable más complejo, que es el que utiliza aguas superficiales, consta de cinco partes principales:

- Captación
- Almacenamiento de agua bruta
- Tratamiento (Sedimentación, Filtración)
- Almacenamiento de agua tratada
- Red de distribución abierta

### **1.3 DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA**

El diseño de una planta de tratamiento eficiente y económico requiere un estudio de ingeniería cuidadoso basado en la calidad de la fuente y en la selección apropiada de los procesos y operaciones de tratamiento más adecuados y económicos para producir agua de la calidad requerida. Como no existe una norma o una fórmula que permita determinar el tipo de planta requerido para tratar un agua, es necesario realizar los estudios de tratabilidad.

#### **1.3.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL DISEÑO**

El objetivo básico del diseño de una planta de purificación de agua es el de integrar, de la manera más económica, los procesos y operaciones de tratamiento para que, cuando sea operada adecuadamente, pueda proveer sin interrupción el caudal de diseño y satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable. Por lo tanto, la planta de purificación debe tener máxima confiabilidad y flexibilidad, mínima operación y mantenimiento, y solamente los controles e instrumentación indispensables.

Las condiciones locales predominantes determinan la importancia de los factores previamente mencionados y su incidencia en cada diseño particular. En general se recomienda tener en cuenta, entre otros, los siguientes preceptos de diseño:

- No existe un problema típico de diseño de una planta de purificación. En la práctica los proyectos varían desde una pequeña adición a un sistema existente hasta el diseño de un sistema completo.
- Aunque la planta de tratamiento juegue, en muchos casos, el papel primordial en el mejoramiento de la calidad del agua, en el diseño debe considerarse además la fuente y el sistema de distribución, si se quiere lograr la “producción económica” de una agua de buena calidad.
- El ingeniero diseñador debe familiarizarse con todas las normas, leyes y requerimientos oficiales aplicables al proyecto.
- El tipo de tratamiento depende de la calidad de la fuente de suministro y de la calidad deseada en agua producida. Por lo tanto una información adecuada de la fuente es prerequisite del diseño. Esto supone un análisis completo del agua cruda y, cuando la fuente no es de características uniformes, el conocimiento de las variaciones de sus características y una evaluación de los cambios posibles de calidad de la fuente durante la vida útil de la planta.
- Cuando no existe información suficiente sobre la calidad de la fuente, además de un programa de muestras y análisis, debe recogerse información proveniente de plantas en operación de fuentes semejantes en el área.
- En fuentes superficiales la bocatoma o captación debe localizarse en tal forma que provea una adecuada protección contra cualquier fuente de polución. En

embalses profundos, las captaciones en la selección del agua y en la calidad de la misma es diferentes condiciones. En fuentes subterráneas, la profundidad y localización de los pozos son condicionadas por la adecuada protección de los mismos contra fuentes de polución y por la obtención de agua de calidad favorable.

- La capacidad nominal de diseño de una planta es generalmente mayor que la demanda máxima diaria proyectada para el período de diseño.
- En la selección del período de diseño de los componentes de la planta se debe tener en cuenta la vida útil de la estructura y el equipo, la facilidad de expansión, la tasa de crecimiento del área de servicio, la tasa de interés sobre los préstamos, los cambios del poder adquisitivo de la moneda durante el período de deuda y la operación de las estructuras y los equipos durante los años iniciales. En, general, se proveen desde el principio aquellas estructuras que no pueden construirse económicamente por etapas, ejemplo: Edificios y estaciones de bombeo.
- Es necesario que la planta de purificación puede operar continuamente con uno o más equipos fuera de servicio por mantenimiento. Esto supone un mínimo de unidades de tratamiento, por ejemplo: tanque de sedimentación, floculadores o filtros, dosificadores de coagulantes, cloradores, si existe bombeo debe haber una unidad de reserva. Solo debe usarse la instrumentación esencial, y la utilización de equipo automático debe restringirse para prevenir que falla del mismo pueda dejar sin suministro de agua potable a la población.
- Para la localización de la planta se debe tener en cuenta los siguientes aspectos: área futura de servicio, costo bajo del terreno, ubicación con respecto a la fuente

de distribución, topografía, disponibilidad de energía eléctrica, facilidades de acceso, facilidad de disposición de residuos, actitud de la comunidad, defensa civil, y protección contra atentados, belleza natural y paisajista.

- Las especificaciones respectivas deben garantizar una construcción económica, pero durable, teniendo en cuenta que las plantas son usadas por mucho más tiempo que el de su período de diseño.

#### **1.4 PROCESOS Y OPERACIONES DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS SUPERFICIALES**

El tratamiento de agua tiene por finalidad producir los cambios necesarios para acondicionarla a los patrones de calidad recomendados para el consumo humano y esto se logra a través de la instalación de plantas de tratamiento de aguas.

“Las plantas de tratamiento de agua pueden considerarse como fábricas que reciben materia prima siempre cambiante (agua cruda) y tienen que entregar un producto manufacturado (agua tratada), que este en concordancia con las normas de Salud Pública”.<sup>1</sup>

Es decir, tienen que entregar un agua cuyas características físicas, químicas y microbiológicas estén enmarcadas dentro de las normas vigentes y además, entregarla en cantidad suficiente, con la continuidad requerida, para satisfacer las necesidades de la población servida.

El desarrollo de la sociedad reclama cada vez más agua, pero no solo a veces escasea el agua sino que su calidad en los puntos donde se encuentra y capta, desgraciadamente se ha ido deteriorando día a día con el propio desarrollo, esto obliga a un tratamiento cada

---

<sup>1</sup><http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/criteriosAS.pdf>

vez más amplio y complejo técnicamente. La eliminación de materias en suspensión y en disolución que deterioran las características físico- químicas y organolépticas así como la eliminación de bacterias y otros microorganismos que pueden alterar gravemente nuestra salud son los objetivos perseguidos y conseguidos en la estaciones de tratamiento a lo largo de todo un proceso que al final logra suministrar un agua transparente y de una calidad sanitaria garantizada.

Los principales componentes de una planta de tratamiento dependen principalmente de las características del agua a tratar y del tamaño poblacional que se pretende atender. Los factores a tomar en cuenta para decidir el o los procesos de tratamiento del agua son los siguientes:

- Remoción de contaminantes.
- Calidad del agua en la fuente de origen.
- Parámetros de calidad.
- Grados de tratamientos de agua

Las principales operaciones y procesos unitarios aplicables en el tratamiento de las aguas para poblaciones menores o iguales a 10000 habitantes son:

- Medidores de Caudales
- Transferencia de gases (Aireación)
- Transferencia de sólidos(desarenación, sedimentación, pre filtración, filtración)
- Transferencia de iones, mezcla rápida y floculación.
- Desinfección.

**TABLA 1-3**  
**Eficiencia en los procesos para la remoción de impurezas de tratamiento de agua**

Parámetros de calidad	Tratamiento						
	Aireación	Pre-sedimentación	Sedimentación	Filtración			Desinfección (cloración)
				Pre-filtración	Rápida	Lenta	
Contenido de O2 disuelto	(+++)	0	0	(-)**	(-)**	(-)**	(+)
Remoción de CO2	(+++)	0	0	(+)	(+)	(++)	(+)
Reducción de turbiedad	0	(+)	(+)	(++)	(+++)	(++++)	0
Reducción del color	0	(+)	(+)	(++)	(+)	(++)	(++)
Remoción de olor y sabor	(++)	(+)	(+)	(+)	(++)	(++)	(+)
Remoción de microorganismos	0	(+++)	(++)	(++)	(++)	(++++)	(++++)
Remoción de hierro y manganeso	(++)*	(+)	(+)	(+)	(++++)	(++++)	0

Fuente: CINARA 1999

(+): Efecto favorable

(-): Efecto no favorable

0: No causa efecto

#### **1.4.1 DESARENADORES**

Los desarenadores son unidades que tienen por objeto extraer del agua cruda, la gravilla, arena y partículas minerales más o menos finas evitando la producción de sedimentos en los canales y conducciones. Protegen los equipos de bombeo y equipos mecánicos contra abrasión.

El desarenado tiene como objetivo eliminar partículas más pesadas que el agua, que no se hayan quedado retenidas en el desbaste, y que tienen un tamaño superior a 200 micras, sobre todo arenas pero también otras sustancias como cáscaras, semillas, etc.

Con este proceso se consiguen proteger los equipos de procesos posteriores ante la abrasión, atascos y sobrecargas.

Existen tres tipos de desarenadores fundamentales:

- ✓ Desarenadores de flujo horizontal,
- ✓ Desarenadores de flujo vertical
- ✓ Desarenadores de flujo inducido.

La separación de las arenas puede ser manual o por medio de hidrocución, en plantas de pequeño tamaño. En plantas mayores se instalan sistemas de separación mediante tornillos de Arquímedes o mediante clasificadores alternativos de rastrillos o de vaivén. Estos dos últimos lavan las arenas y vuelven a disminuir su contenido en materia orgánica.

El diseño del desarenador se realiza en base al análisis de los fenómenos de sedimentación de partículas granuladas no floculantes las cuales sedimentan independientemente unas de otras, no existiendo interacción significativa entre las más próximas. El estudio de las velocidades de sedimentación se puede realizar utilizando las fórmulas de Stokes (en régimen laminar), de Newton (en régimen turbulento) de Allen (en régimen transitorio). Deben aplicarse algunas correcciones para tener en cuenta:

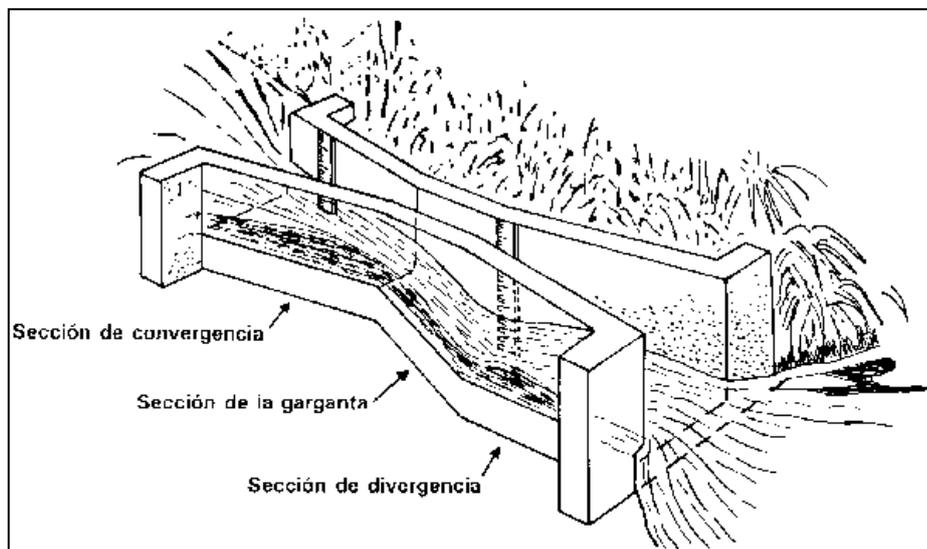
- ✓ La forma de las partículas (factor esfericidad)
- ✓ La concentración de sólidos en suspensión
- ✓ La velocidad de flujo horizontal
- ✓ La temperatura del agua residual

El diseño del desarenador será efectivo si además de lograr la extracción de las arenas descritas con suficiente rendimiento, consigue que éstas sean realmente elementos minerales, cuyo contenido en materia orgánica sea ínfimo. Para evitar que la materia orgánica de granulometría similar a la de las arenas sedimente con ellas se diseñan los desarenadores de forma que se asegure en ellos un "barrido o limpieza de fondo". Este fenómeno, se explica por el hecho de que existe una velocidad crítica del flujo a través de la sección, por encima de la cual las partículas de un tamaño y una densidad determinadas, una vez sedimentadas, pueden de nuevo ser puestas en movimiento y reintroducidas en la corriente. Para partículas de 0,200 mm de diámetro y peso específico de 2,65, la velocidad crítica de barrido es 0,25 m/s, adoptándose en la práctica a efectos de diseño una velocidad de 0,30 m/s. Manteniendo esta velocidad, se consigue que las arenas extraídas tengan un contenido en materia orgánica menor del 5%.

**1.4.2 MEDIDORES DE CAUDALES:** Los medidores de caudales permite conocer con precisión el caudal ingresado a la planta, suelen ser denominados también como aforador de caudales, los sistemas que podemos utilizar son varios, sin embargo los más usados son sistemas basados en canales abiertos. La medición de caudales en plantas cuya capacidad nominal sea menor a  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$  podrá realizarse a través de dispositivos preferentemente hidráulicos, pudiendo utilizar medidores parshall, vertederos calibrados y otros dispositivos tales como los Venturi.

**1.4.2.1 MEDIDORES PARSHALL:** El canal parshall es una estructura hidráulica que permite medir la cantidad de agua que pasa por una sección de un canal. Consta de cuatro partes principales:

- ✓ Transición de entrada
- ✓ Sección Convergente
- ✓ Garganta
- ✓ Sección Divergente



**Fig.1-1 Medidor de Caudal Parshall**

Fuente: <http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.html>

En la transición de entrada, el piso se eleva sobre el fondo original del caudal, con pendiente suave y las paredes se van cerrando ya sea en línea recta o circular. En la sección convergente, el fondo es horizontal y el ancho va disminuyendo. En la garganta el piso vuelve a bajar para terminar con otra pendiente ascendente en la sección divergente.

En cualquier parte del canal, desde el inicio de la transición de entrada hasta la salida, el aforador tiene una sección rectangular.

Junto a la estructura del aforador se tienen dos pozos laterales o tanques con la misma profundidad o mayor, que la parte más baja del aforador.

“El agua que se escurre por el aforador pasa a estos tanques por medio de unas perforaciones colocadas en la pared de la sección convergente y en la garganta”.<sup>2</sup>

El medidor de caudales Parshall ofrece varias ventajas como son:

- ✓ Pérdida de carga menores.
- ✓ Tiene la capacidad a medir tanto con flujo libre como moderadamente sumergido.
- ✓ El agua tiene velocidad suficiente para limpiar los sedimentos.
- ✓ Opera en un rango amplio de flujos.

Para el diseño de un medidor parshall se toma en cuenta los siguientes parámetros:

- a) Grado de Sumergencia (m/m):** Para que la unidad no trabaje ahogada debe cumplir la condición de la Tabla 1-4.

$$S = \frac{H_b}{H_a} \quad (\text{Ec.1-a})$$

**Donde:**

S: Sumergencia máxima (m/m).

Ha: Altura de agua de la cresta (m).

Hb: Altura de agua de la garganta (m).

---

<sup>2</sup>[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal\\_parshall.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal_parshall.pdf)

**Tabla 1-4**

**Grado de Sumergencia (S) de la Garganta**

<b>Ancho de la garganta (W)</b>		<b>Máxima Sumergencia (Hb/Ha)</b>
<b>Pulgada –Pie</b>	<b>cm</b>	
3 a 9 pulgadas	7,5 -22,9	0,6
1 -8 pies	30,5 -244	0,7
10 – 50pies	305 - 1525	0,8

Fuente: Arboleda J. (2000). Teoría y Práctica de la purificación de las aguas

La relación **Ha/W** deberá estar entre 0,4 y 0,8 para que la turbulencia del resalto no penetre en la profundidad dentro de la masa de agua, dejando una capa bajo el resalto en que el flujo se transporta con un mínimo de agitación.

$$\mathbf{Ha/W \approx 0,4 \text{ y } 0,8}$$

**b) Cálculo del Canal Parshall**

$$H_0 = K * Q^m \quad (\text{Ec.1-b})$$

**Donde:**

Ho: Altura del flujo de agua (m).

Q: Caudal en m<sup>3</sup>/s.

K y m: Constantes a dimensionales se obtienen de la Tabla 1-5.

**Tabla: 1-5**

**Valores de K y m según el tamaño de la garganta W**

Ancho de la garganta (W)		K	M
Pulgada -Pie	Metros		
3"	0,075	3,704	0,646
6"	0,15	1,842	0,636
9"	0,229	1,486	0,633
1'	0,305	1,276	0,657
1,5'	0,46	0,966	0,65
2'	0,61	0,795	0,645
3'	0,915	0,608	0,639
4'	1,22	0,505	0,634
5'	1,525	0,436	0,63
6'	1,83	0,389	0,627
8'	2,44	0,324	0,623

Fuente: CEPIS, 1992; Criterios de Diseño de Plantas Potabilizadoras de agua, Tomo V.

**c) Cálculo de altura de cresta**

$$H_a = \frac{\frac{1}{Q^{1,57 * w^{0,026}}}}{(0,3716W)^{\frac{1}{1,57w^{0,026}}} * 3,281} \quad (\text{Ec.1-c})$$

**Donde:**

Ha: Altura de cresta (m).

Q: Caudal de agua (m<sup>3</sup>/s).

W: Ancho de la garganta (m).

**d) Cálculo de la altura del agua sobre la garganta**

$$S = \frac{H_b}{H_a} \quad (\text{Ec.1-d})$$

**Donde:**

S: Sumergencia máxima.

Ha: Altura de cresta (m).

Hb: Altura de garganta (m).

**e) Cálculo de pérdida de carga**

$$P = \frac{5,072}{(W+4,57)^{1,46}} (1 - S)^{0,72} * Q^{0,67} \quad (\text{Ec.1-e})$$

**Dónde:**

P: Pérdida de carga (m).

Q: caudal de agua (m<sup>3</sup>/s).

W: Ancho de la garganta (m).

### **1.4.3 SEDIMENTACIÓN**

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueve las partículas sólidas de una suspensión mediante la fuerza de gravedad, en algunos casos se denomina clarificación o espesamiento. Dos son las formas de sedimentación usadas en la purificación del agua: sedimentación clásica y sedimentación después de la coagulación y floculación o ablandamiento.

**TABLA 1-6**  
**Tasas de sedimentación para algunas partículas**

Diámetro Partículas (mm)	Partícula representativa	Tiempo requerido para una profundidad de asentamiento de 0,3 m
		Sedimentables
10	Grava	0,3 s
1	Arena gruesa	3 s
0,1	Arena fina	38 s
0,01	Limo	33 min
		No Sedimentables
0,001	Bacterias	55 horas
0,0001	Color	230 días
0,00001	Coloides	6,3 años
0,000001	Coloides	63 años

Fuente: Arboleda J. (2000). Teoría y Práctica de Purificación de Agua

#### **1.4.3.1 SEDIMENTADORES CLASICOS**

Los sedimentadores clásicos son unidades de tratamiento que tienen por objeto separar las partículas solidas de un líquido; estas partículas no deben ser de origen coloidal. Los diámetros están comprendidos entre 0,01 mm y 0,20 mm. Los sedimentadores son de sección rectangular compuestos por:

- ✓ Zona de entrada
- ✓ Zona de sedimentación
- ✓ Zona de Lodos

✓ Zona de Salida

Para el diseño de un sedimentador clásico se toma cuenta los siguientes parámetros:

a) **Velocidad de Sedimentación:** Para el cálculo de la velocidad de sedimentación teórica procedemos a utilizar la Ley de Stokes:

$$V_S = \frac{1}{18} g \left\langle \frac{\rho_s - \rho_{H_2O}}{n} \right\rangle d^2 \text{ (Ec.1-f)}$$

**Dónde:**

$V_S$ : Velocidad de Sedimentación (m/s).

$d$ : Diámetro de la partícula (cm).

$n$ : Viscosidad Cinemática del agua (cm<sup>2</sup>/s).

$\rho_s$ : Densidad del sólido (g/cm<sup>3</sup>).

$\rho_{H_2O}$ : Densidad del Agua (g/cm<sup>3</sup>).

b) **Velocidad Sedimentación Crítica:**

$$V_{sc} = \frac{V_S}{f} \text{ (Ec.1-g)}$$

**Donde:**

$V_{sc}$ : Velocidad de sedimentación crítica en m/s.

$f$ : Factor de seguridad que contempla aspectos climáticos (gradientes de temperatura), oleaje, corto circuitos, y zonas muertas. Este factor se considera según observaciones de campo.

En la tabla 1-7, indica los valores que podrán adoptarse y comprobarse con las pruebas que se realicen en campo o laboratorio.

**TABLA 1-7**

**Parámetros para el diseño de sedimentadores**

<b>Parámetro de diseño</b>	<b>Unidades</b>	<b>Valores</b>
Tiempo de retención	Horas	1,5 – 3,0
Carga Superficial	$\frac{m^3}{m^2d}$ (mm/s)	24,2 – 60,5 (0,28 -0,70)
Velocidad Horizontal	mm/s	<10
Carga Lineal	L/ms	<10

Fuente: Sedimentación; Huisman 1992

**c) Cálculo de las dimensiones del sedimentador:**

➤ **Calculo del Área del sedimentador:**

$$A = \frac{V}{H} \quad (\text{Ec.1-h})$$

Por razones de limpieza y mantenimiento se procede a diseñar 2 tanques

$$A_i = \frac{A}{2} \quad (\text{Ec.1-i})$$

**Dimensión Constructiva:** Considerando la relación:  $\frac{L}{B} = 4$

➤ **El ancho del tanque será:**  $B = \sqrt{\frac{A_i}{4}}$

➤ **La longitud del tanque será:**  $L = 4 * B$

**d) Velocidad de escurrimiento horizontal:** Debe ser menor a la velocidad de arrastre de las partículas:

$$V_h = \frac{Q}{B \cdot H} \quad (\text{Ec.1-j})$$

**Donde:**

$V_h$ : Velocidad de escurrimiento horizontal (m/s).

Q: Caudal de diseño ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

B: Ancho del sedimentador (m).

H: Profundidad del sedimentador (m).

**e) Velocidad de arrastre de las partículas**

$$V_a = \sqrt{40 * (\rho_s - \rho_w) * g * d / (3 * \rho_w)} \quad (\text{Ec.1-k})$$

**Donde:**

$V_a$ : Velocidad de arrastre de las partículas (m/s).

g : Gravedad ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

$\rho_s$  : Densidad de partículas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$\rho_w$ : Densidad del agua ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

d : Tamaño o diámetro de las partículas (m).

<b>CONDICION <math>V_a &gt; V_h</math></b>
--

**f) Producción de Lodos:**

Es necesario contar con valores obtenidos en campo o laboratorio que señalen la concentración volumétrica C de las partículas por litro de agua en (mL/L). El volumen de lodos será  $V_1$ .

$$V_1 = E * C * Q \text{ (Ec.1-1)}$$

**Dónde:**

$V_1$ : Volumen de lodos producidos ( $m^3$ ).

E: Eficiencia remocional de lodos (%).

C: Concentración volumétrica de partículas mL/L medidas en un cono inhoff. Después de una hora de sedimentación en el laboratorio.

Q: Caudal de diseño ( $m^3/s$ ).

La eficiencia E asume el proyectista en función a la calidad de obra y rutinas de operación de la planta de tratamiento. Como valor razonable para buena condiciones de operación se asume como  $E = 80\%$ .

**g) Volumen de la Cámara de Lodos:** Se calculara en función al tiempo entre cada purga, de acuerdo a la producción de los lodos

$$V_{cl} = V_1 * t \text{ (Ec. 1-m)}$$

**Donde:**

$V_{cl}$ : Volumen de la cámara de lodos ( $m^3$ ).

$V_1$ : Volumen de los lodos producidos ( $m^3$ ).

t : Tiempo de retención (s).

- **Dimensiones de cámara de lodos:** La dimensión de la cámara de lodos está en función a su geometría rectangular se recomienda no exceder el tiempo de purga mayor a 24 horas.

$$V = B \times L \times h \quad (\text{Ec. 1-n})$$

**Donde:**

B: Ancho de cámara (m)

L: Longitud de cámara (m)

h: Altura de cámara (m)

- h) Estructura de entrada:** Permite distribuir el flujo de manera uniforme en el área transversal de la zona de sedimentación. Permite regular el régimen hidráulico, proporcionando menores velocidades de escurrimiento a partir de la pérdida de energía debió a la pérdida de carga que se produce en sus dispositivos.

Consiste en un canal cuya longitud es igual al ancho del Sedimentador y que tiene provisto en su base orificios de sección circular que permiten al flujo ingresar de forma vertical y de manera sumergida con velocidades de 0,2 m/s a 0,3 m/s.

La estructura de entrada consiste en una pantalla deflectora colocada a 1.00 m de la pared, provista de orificios distribuidos sobre el 90% de su altura.

La velocidad de paso a través del deflector está dada por la expresión:

$$V_C = \frac{Q}{n*d*0.9*H} \quad (\text{Ec. 1-o})$$

**Dónde:**

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

n: Numero de sedimentadores.

d: Separación entre la pared y la pantalla deflectora (m).

H: Altura del sedimentador en la zona de entrada (m).

➤ **Orificios para pantalla deflectora:** La distancia horizontal y vertical utilizada entre orificios se asume un valor de 0,30 m

**Numero de orificios horizontales:**  $\frac{B}{0.3}$

**Numero de orificios verticales:**  $\frac{H}{0,3}$

**Número Total de orificios = Numero de orificios horizontales \* Números de orificios verticales**

➤ **Área de cada orificio:**

$$F_i = \Pi * r^2 \quad (\text{Ec. 1-p})$$

➤ **Determinación del radio hidráulico**

$$R_H = \frac{d*h}{d*2*h} \quad (\text{Ec. 1-q})$$

➤ **Determinación del diámetro hidráulico:**

$$D_H = \frac{4*R_H}{4*0.2} \quad (\text{Ec. 1-r})$$

➤ **Determinación del caudal por cada orificio**

$$Q_i = \frac{Q}{2 * \text{Numero total de orificios}} \quad (\text{Ec. 1-s})$$

➤ **Determinación de nivel piezométrico:**

$$Z = \left( \frac{Q_i}{u * F_i} \right) * \frac{1}{2 * g} \quad (\text{Ec. 1-t})$$

**Dónde:**

$Q_i$  : Caudal por orificios ( $\text{m}^3/\text{s}$ ).

$u$  : Coeficientes de descarga.

$F_i$  : Área de cada orificio ( $\text{m}^2$ ).

$Z$  : Nivel Piezométrico (m).

➤ **Determinación de Variación de Nivel Piezométrico**

$$\Delta Z = \frac{V_c^2}{2g} \left( 1 - \frac{\gamma B}{3 * \Delta H} - \frac{1}{n} \right) \quad (\text{Ec. 1-u})$$

**Dónde:**

$\Delta Z$  : Variación del Nivel Piezométrico (m).

$V_c$  : Velocidad del paso del agua por la pantalla deflectora (m/s).

$\gamma$  : Coeficiente de fricción.

$B$  : Dimensión Constructiva (m).

$D_H$  : Diámetro Hidráulico (m).

$n$  : Número total de orificios.

➤ **Determinación de Variación del caudal de los orificios:**

$$\Delta q = \sqrt{\frac{Z + (\Delta Z/2)}{Z - (\Delta Z/2)}} - 1 \quad (\text{Ec. 1 - v})$$

**Dónde:**

$\Delta Z$  : Variación del nivel piezométrico (m).

Z: Nivel Piezométrico (m).

**Condición:** La variación de caudal de los orificios  $\Delta q$  de la parte superior y de la inferior debe ser menor al 5%

$$\Delta q \leq 5\%$$

- i) **Estructuras de Salida:** Las estructuras de salida recolectan el agua de manera uniforme. Se utilizarán canaletas de rebose a las cuales se les practicará vertederos rectangulares en número tal que evacuen el caudal de diseño presenten crestas de no más de 0.02m para evitar la re suspensión de los sólidos en la zona de salida.

Se asumirán la longitud y número de canaletas provistas de vertederos en número también asumido considerando que en cada canaleta se recolecta el agua a través de los vertederos por ambos lados.

La carga del vertedero está dada por la siguiente expresión:

$$W_1 < 5H'V_{sc}$$

$$W_1 = \frac{Q}{N_c * a * l} \text{ (Ec. 1 - w)}$$

**Donde:**

$W_1$ : Carga del vertedero ( m<sup>3</sup>/ms)

$N_c$ : Numero de canaletas

➤ **Determinación del caudal de cada vertedero:**

$$Q_w = \frac{Q}{N_c * N_w} \text{ (Ec. 1 - x)}$$

$N_w$ : Numero de vertederos por canaleta

$H'$  Corresponde a la altura a la salida del Sedimentador para una pendiente de fondo del 2%:

$$H' = (H - 0,02 * L) \text{ (Ec. 1 - y)}$$

**Condición:** “ $W_1$  debe ser menor a  $5H'V_{sc}$  y se verifica que el número de canaletas, así como el número y dimensiones del vertedero es el correcto.”

➤ **Determinación de la altura del agua por encima de la cresta del vertedero rectangular:**

$$H_w = \left( \frac{Q_w}{1.83 * b} \right)^{2/3} \text{ (Ec. 1 - z)}$$

#### **1.4.4 FILTRACION**

La filtración es el proceso de separar un sólido del líquido en el que está suspendido al hacerlos pasar a través de un medio poroso (filtro) que retiene al sólido y por el cual el líquido puede pasar fácilmente.

Se emplea para obtener una mayor clarificación, generalmente se aplica después de la sedimentación para eliminar las sustancias que no salieron del agua durante su decantación.

En general, se considera la filtración como el paso de un fluido a través de un medio poroso que retiene la materia que se encuentra en suspensión. En las principales instalaciones de filtración, los filtros suelen ser abiertos, mientras los filtros cerrados suelen utilizarse para instalaciones pequeñas (menor de 40m<sup>3</sup>/h).

La filtración en múltiples etapas será aplicada en sistemas de tratamiento para poblaciones rurales o de pequeñas localidades.

En las instalaciones de filtración de las estaciones de tratamiento de agua, el medio poroso suele ser generalmente arena, arena + antracita o bien carbón activo en grano, y la materia en suspensión está constituida por flóculos o microflóculos procedentes de la etapa anterior de decantación o bien formados expresamente cuando se sigue el proceso conocido como micro floculación sobre filtro o filtración directa.

##### **1.4.4.1 FILTRACION GRUESA ASCENDENTE**

Estas unidades favorecen la acumulación de sólidos en el fondo del filtro, donde se encuentra localizado el sistema de drenaje.

**Tabla 1-8**

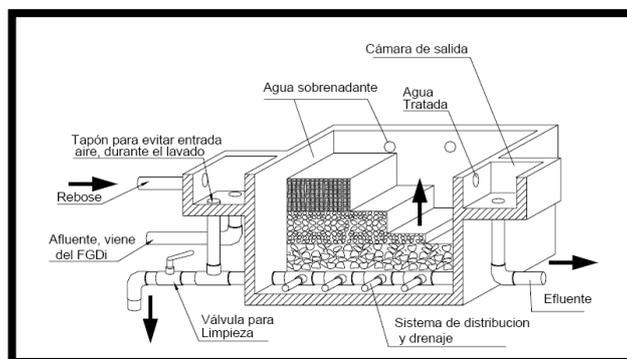
**Eficiencias típicas de tratamiento por Filtros Gruesos Ascendentes**

PARAMETRO	REDUCCION TIPICA
Sólidos Suspendidos	Alcanza hasta el 95% es el valor comúnmente reportado en fuentes con altos contenidos de material suspendido (50 a 200 mg/l), en fuentes con material suspendido en el rango entre (5 a 50 mg/l), se reporta remociones del 50 al 90 %
Turbiedad	Entre 50 a 80 % en Fuentes superficiales de valle, siendo mayores para los FGAS en fuentes superficiales de ladera la remoción esta en el rango de 50 y 90 %
Color Real	Entre el 20 y 50 %

Fuente: CINARA 1999

**1.4.4.1.1 CARACTERISTICAS DEL FILTRO GRUESO ASCENDENTE**

- La eficiencia de estos filtros es mayor que la de los descendentes debido a que el flujo penetra en el lecho filtrante en el sentido decreciente de la granulometría, aprovechándose íntegramente todo el lecho de arena.
- El crecimiento de la pérdida de carga durante la filtración es menor que en los filtros de flujo descendente, obteniéndose carreras más largas



**Fig. 1-2 Filtro Grueso Ascendente**

Fuente: Manual Técnico del Agua. Degremont, Cuarta Edición

Para el diseño de un Filtro Ascendente se realiza el cálculo del área de filtración. Por razones de operación, mantenimiento y lavado se realiza el diseño de 2 unidades de filtrado.

$$A = \frac{Q_d}{V_f} \quad (\text{Ec. 1-aa})$$

**Donde:**

A : Área de cada unidad (m<sup>2</sup>).

Q<sub>d</sub>: Caudal de cada unidad (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>f</sub>: Velocidad de Filtración (m/h).

Los filtros gruesos de flujo ascendente constituyen la segunda etapa de tratamiento y minimizan el número de partículas gruesas. Se realiza una descripción sintetizada de las partes que constituyen un filtro grueso ascendente con valores recomendados y el lecho idóneo. Véase en la tabla 1-9, 1-10.

**TABLA 1-9**

**Tabla Guía de diseño para filtros Gruesos Ascendentes**

<b>Criterio</b>	<b>Valores recomendados</b>
Periodo de diseño (años)	8 -12
Periodo de operación (h/d)	24
Velocidad de filtración (m/h)	0,3 -0,6
Número mínimo de unidades en serie	
FGAC	1
FGAS	2 – 3

Área de filtración por unidad (m <sup>2</sup> )	
<b>Lecho filtrante</b>	
Longitud total (m)	
FGAC	0,6 – 0,90
FGAS	1,15 – 2,35
Lecho soporte total	
Longitud	0,30 – 1,25
Altura del sobrenadante de agua (m)	0,10 a 0,20
Carga estática mínima de agua para lavado en contraflujo (m)	3,0

Fuente: CINARA 1999

**TABLA 1-10**

**Lecho recomendado para Filtros Gruesos Ascendentes**

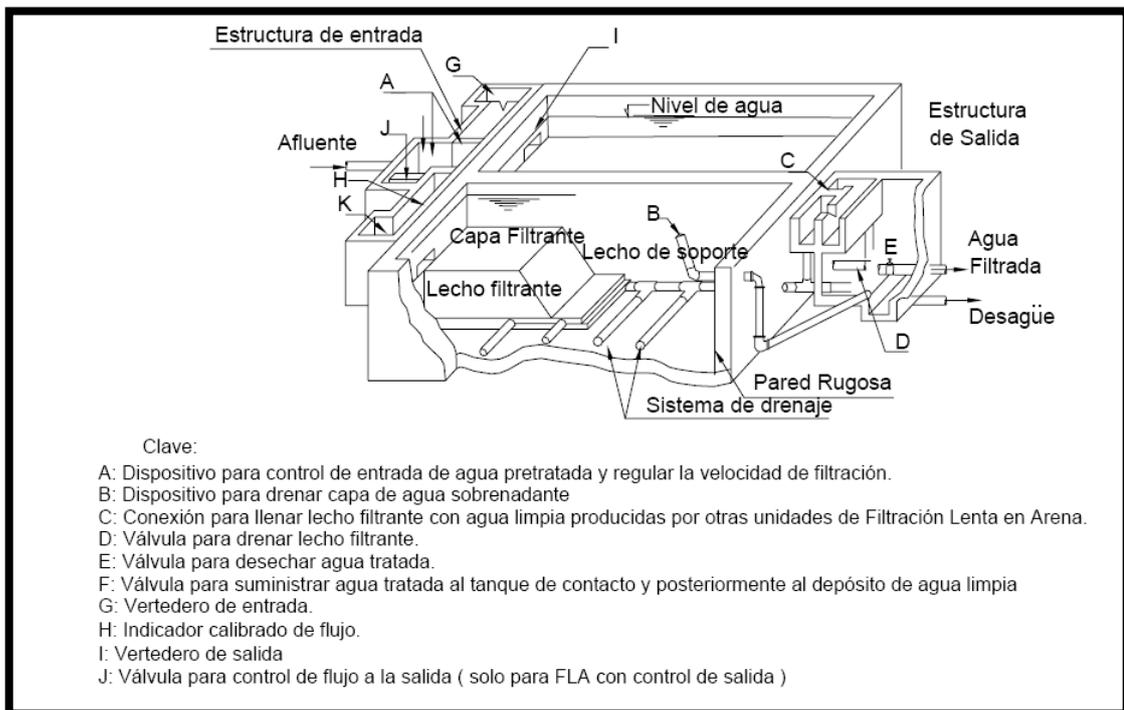
<b>GRAVA (mm)</b>	<b>ALTURA DEL LECHO (m)</b>
19 – 25	0,30
13 -19	0,15 – 0,20
6 -13	0,15 – 0,20
3 – 6	0,15 – 0,20
1,6 – 3	0,10 – 0,20
Soporte	0,30

Fuente: CINARA 1999

#### 1.4.4.2 FILTRACION LENTA DE ARENA

Son unidades de baja velocidad de filtración que no requieren sustancias químicas y permiten reducir virus, bacterias, protozoarios dañinos para la salud pública.

Dichas unidades reducen materia fina orgánica e inorgánica, la cual es retenida en el lecho de arena. Compuestos orgánicos disueltos son más o menos degradados, dependiendo de su naturaleza.



**Fig. 1-3 Filtro Lento de Arena**

Fuente: Manual Técnico del Agua. Degremont, Cuarta Edición

Para el diseño de un Filtro Lento de Arena se toma en cuenta los siguientes parámetros:

**a) Área de filtración:**

$$A = \frac{Q}{V_f} \quad (\text{Ec. 1- ab})$$

**Donde:**

A : Área de unidad (m<sup>2</sup>).

Q<sub>d</sub>:Caudal de cada unidad (m<sup>3</sup>/s).

V<sub>f</sub>: Velocidad de Filtración (m/h).

**b) Determinación del número de Filtros:**

$$n = 0,5 * \sqrt[3]{A} \quad (\text{Ec. 1- ac})$$

**c) Determinación del área para cada unidad:**

$$A_i = \frac{A}{n} \quad (\text{Ec. 1- ad})$$

**Dónde:**

A: Área total de unidad (m<sup>2</sup>).

n : Número de filtros calculado.

**d) Determinación de las dimensiones del filtro:**

✓ **Calculo de la longitud de la pared común por unidad (m):**

$$a = \left( \frac{2 \cdot n \cdot A_i}{2 \cdot 1} \right)^{0.5} \text{ (Ec. 1- ae)}$$

**Dónde:**

$A_i$ : Área individual de cada unidad ( $m^2$ ).

$n$ : Número de filtros calculado.

✓ **Ancho de la unidad en (m)**

$$b = \left( \frac{(n+1)A_i}{2 \cdot n} \right)^{0.5} \text{ (Ec. 1- af)}$$

La altura total se determinara en base a las alturas parciales, indicadas en la Tabla 1-11

**TABLA 1-11**

**Criterios para diseñar un filtro lento**

Criterio de Diseño	Recomendación
	CINARA IRC 1997
Periodo de Diseño	8-12
Periodo de Operación	24
Velocidad de Filtración	0,1 -0,3
Altura de arena	
Inicial	0.8
Mínima	0.5
Diámetro efectivo	0,15 – 0,30
Coefficiente de Uniformidad	
Aceptable	< 4
Deseable	>2
Altura del Lecho de Soporte incluye drenaje (m)	0,25

Altura del Agua Sobrenadante (m)	0,8
Borde Libre (m)	0,1
Área Superficial máxima por modulo (m <sup>2</sup> )	<100

Fuente: CINARA IRC 1997

El lecho que se recomienda para los Filtros lentos de arena se observa en la Tabla 1-12.

**TABLA 1-12**

**Lecho recomendado para Filtros Lentos de Arena**

Capa de grava	Espesor	0,12m
	Tamaño Efectivo	14mm
Capa de arena gruesa	Espesor	0,05m
	Tamaño Efectivo	1,2mm
Capa de arena de filtro	Espesor	0,8m
	Tamaño Efectivo	0,22mm

Fuente: CINARA 1999

#### **1.4.5 DESINFECCION QUIMICA**

El proceso que reviste mayor importancia en la potabilización del agua es el de desinfección. La desinfección es necesaria para la destrucción de todas las bacterias patógenas o de otros organismos dañinos que se encuentren en el agua para bebidas. Después de la desinfección para evitar que el agua se vuelva a contaminar, es necesario almacenarla en tanques adecuados o en instalaciones que reúnen buenas condiciones de almacenamiento.

Las propiedades que se buscan en un desinfectante químico deben reunir ciertas condiciones:

- ✓ Alto poder germicida
- ✓ Estabilidad

- ✓ Solubilidad
- ✓ Confiabilidad
- ✓ Efecto Residual
- ✓ No toxico
- ✓ Fácil de dosificar

Los compuestos de cloro son los que más satisfactoriamente cumplen con las propiedades antes enunciadas de un desinfectante químico. Por lo anterior el cloro que es un agente oxidante, es el que comúnmente se emplea como desinfectante de agua.

La cantidad necesaria de cloro para proporcionar una protección adecuada debe satisfacer la demanda de cloro de la materia ya sea orgánica o de otra naturaleza, que sea oxidable mientras se encuentra en el agua, proporcionando a la vez una concentración de cloro residual que asegure una desinfección perfecta después de un tiempo especificado de contacto.

#### **1.4.5.1 CLORACIÓN**

La cloración es el procedimiento de desinfección de aguas mediante el empleo de cloro o compuestos clorados. Se puede emplear gas cloro, pero normalmente se emplea hipoclorito de sodio (lejía) por su mayor facilidad de almacenamiento y dosificación.

El cloro es una opción de tratamiento de bajo costo que se utiliza para mejorar el sabor y la claridad a la vez que eliminan muchos microorganismos como bacterias y virus. Sin embargo, el proceso tiene sus limitaciones, Giardia y Criptosporidian son usualmente resistentes al cloro, a menos que este se use en dosis más elevadas que aquellas preferidas usualmente para el tratamiento. La presencia de estos parásitos puede requerir el tratamiento previo del agua fuente.

El cloro elimina además sustancias como el manganeso, hierro y ácido sulfhídrico, el cual puede alterar el sabor del agua.

La cloración puede escalarse para adaptarse a la capacidad del sistema. El uso del cloro es también relativamente sencillo, y los sistemas de tratamiento no requieren experiencia técnica extensa.

La cloración se puede lograr con diferentes productos, El cloro se almacena como líquido en recipientes presurizadores y se inyecta como gas directamente en el agua fuente. Este proceso debe ser regulado e implementado cuidadosamente, debido a que el gas de cloro es un toxico peligroso, incluso letal.

Otra opción de cloración, de mayor costo, es el tratamiento con solución hipoclorito de sodio. Esta solución es corrosiva pero mucho menos peligrosa y más fácil de manejar. El líquido se diluye simplemente y después se mezcla con el agua fuente para realizar la desinfección.

Todos estos métodos de cloración requieren de algún tiempo para funcionar la desinfección no ocurre instantáneamente. Las dosis necesarias cambian también con las variaciones en la calidad del agua de manera que el monitoreo del agua fuente, particularmente de las aguas superficiales, es una parte importante del proceso de tratamiento.

El tratamiento con cloro tiene algunos efectos residuales. Entre los más notorios se encuentra el sabor desagradable en el agua tratada. Pero otros efectos posteriores pueden ser más significativos. Quedan cantidades residuales de cloro en los suministros de agua tratada. Este contenido químico continúa protegiendo el agua tratada contra la

reinfección, y puede ser beneficioso para el agua sujeta a largos periodos de almacenamiento para la lenta distribución en áreas extensas.

Infortunadamente, demasiado cloro residual puede producir también subproductos químicos, algunos de los cuales pueden ser carcinógenos. Sin embargo, estos riesgos para la salud usualmente se consideran menores, comparados con los efectos de los patógenos en el agua sin tratamiento.

## **1.5 NORMATIVA UTILIZADA PARA EL REDISEÑO**

1.5.1 NORMAS INEN 1108: Esta norma establece los requisitos que debe cumplir el agua potable para consumo humano. Se aplica al agua potable de los sistemas de abastecimiento públicos y privados a través de redes de distribución y tanqueros.

Se observa los parámetros que se debe cumplir el agua para que sea considerada como en el ANEXO F.

**CAPITULO II**

**PARTE**

**EXPERIMENTAL**

## **2.1 MUESTREO**

### **2.1.1 AREA DE INVESTIGACION**

El Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “San Pablo del Lago” se va a realizar en la parroquia San Pablo del Lago de la ciudad de Otavalo, provincia de Imbabura.

### **2.1.2 METODO DE RECOLECCION DE INFORMACION**

El método de investigación que se utilizara para el presente trabajo es de tipo comparativo utilizando datos estadísticos los mismos que al relacionarlos con los datos obtenidos durante la elaboración del proyecto nos permitirán dimensionar y rediseñar el sistema de tratamiento de agua potable.

### **2.1.3 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCION DE INFORMACION**

Se realizó un muestreo sistemático simple, las muestras fueron tomadas en el tanque de recepción (agua cruda) y a la finalización de cada proceso del sistema de potabilización actual, durante cuatro semanas.

**TABLA 2-1**

#### **Recolección de muestras**

<b>LUGAR DE MUESTREO</b>	<b>DIAS DE MUESTREO SEMANALES</b>	<b>NUMERO DE MUESTRAS DIARIAS</b>	<b>TOTAL DE MUESTRAS EN LA SEMANA</b>	<b>TOTAL DE MUESTRAS EN EL MES</b>
Tanque de Recepción	3	1	3	12
Filtros Ascendentes	3	1	3	12
Filtros Lentos	3	1	3	12
Desinfección	3	1	3	12

Fuente: Autor

- ✓ Se contó para el muestreo y análisis con la colaboración de la encargada del Laboratorio del Departamento de Agua Potable y Alcantarillado, y con el Operador de la Planta de Tratamiento de San Pablo del Lago.
- ✓ Se revisó con el director de tesis y miembro del tribunal los datos obtenidos en los análisis correspondientes de las muestras con la finalidad de realizar el rediseño de la planta y verificar cuál de los tratamientos no está funcionando eficazmente.

#### **2.1.4 PLAN DE TABULACION Y ANALISIS**

Con todos los datos recolectados se procederá a registrarlos en cuadros diferentes para cada paso del proceso de potabilización, en cada periodo de tiempo de esta manera podremos realizar un análisis comparativo entre cada uno de estos y poder dimensionar y rediseñar efectivamente la planta.

### **2.2. METODOLOGIA**

#### **2.2.1 METODOLOGIA DE TRABAJO**

Se tomó diariamente muestras de agua en el tanque de recepción, en los prefiltros ascendentes, en los filtros lentos, y en una casa en la parroquia de San Pablo del Lago, obteniendo 4 muestras de aguas diarias, se escogió 3 días a la semana por 4 semanas consecutivas, la primera semana fue de lluvias constantes, y las 3 semanas siguientes tuvieron un clima moderado sin presencia de lluvias, esto nos permitirá observar mediante los resultados que obtengamos el efecto que produce las lluvias en el agua que va ser tratada.

Se trasladaron las muestras el mismo día al Laboratorio del Departamento de Agua Potable del Municipio de Otavalo y se procedió a realizar los análisis físico – químicos y microbiológicos.

## 2.2.2 TRATAMIENTO DE MUESTRAS

Se tomo una muestra diaria a la que se le realizo la caracterización físico – químico del agua que consta de 17 parámetros: pH, color, turbiedad, conductividad, STD, temperatura, fosfatos, hierro, manganeso, nitritos, nitratos, n- amoniacal, sulfatos, alcalinidad, dureza total, calcio, cloro residual. Además se realiza análisis microbiológico a cada una de las muestra excepto a las de agua tratada que se encuentran dentro del límite permisible con respecto al cloro.

## 2.3 METODOS Y TECNICAS

### 2.3.1 METODOS

**Método Experimental.-** El método experimental aplicado al tema, se define por:

El planteamiento del problema y las posibles soluciones del mismo, observar el estado actual del Sistema de Agua Potable en la parroquia de San Pablo, Cantón Otavalo, plantear la metodología adecuada para la reducción de la turbiedad y mejora de la calidad del agua, en la planta de tratamiento de agua potable de la parroquia de San Pablo.

**TABLA 2-2**

**Descripción de métodos de análisis**

<b>DETERMINACIONES</b>	<b>TECNICA</b>	<b>UNIDAD MEDIDA</b>	<b>METODOS</b>
FISICAS	Ph	—	Potenciométrico
	Temperatura	°C	Termómetro
	Turbiedad	NTU	Turbidímetro
	Conductividad	us/cm.	Conductímetro

	Sólidos Totales Disueltos	mg/L	Conductímetro
	Color	Pt-Co	Fotómetro Hach
	Caudal	m <sup>3</sup> /s	Volumétrico
	Tiempo	s	Cronómetro
QUIMICAS	Fosfatos	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Hierro	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Manganeso	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Amonio	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Nitritos	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Nitratos	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Sulfatos	mg/L	Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Cálcio	mg/L	Volumétricos y/o Espectrofotómetro Hach DR/2010
	Alcalinidad Total	mg/L	Volumétricos y/o Espectrofotómetro Hach DR/2010

	Dureza Total	mg/L	Volumétricos y/o Espectrofotómetro Hach DR/2010
MICROBIOLOGICAS	Coliformes Totales	UFC/100 ml	Método por Filtro de Membrana
	Coliformes Fecales	UFC/100 ml	Método por Filtro de Membrana

Fuente: Autor

### 2.3.2 TECNICAS

**TABLA 2-3**

**Determinación de Potencial de hidrógeno pH**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La calidad del agua y el pH son a menudo mencionados en la misma frase. El pH es un factor muy importante, porque determinados procesos químicos solamente pueden tener lugar a un determinado pH.</p> <p>El pH es un indicador de la acidez de una sustancia. Está determinado por el número de iones libres de hidrógeno (H<sup>+</sup>) en una sustancia.</p>	<p>- Vaso de Precipitación de 50 ml.</p>	<p>- Soluciones buffer, pH 4, 7, 10.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calibramos el pH metro con las soluciones buffer respectivos (pH: 4, 7,10).</li><li>- Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo.</li><li>- Realizamos la lectura.</li></ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-4**

**Determinación de Color**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
No tiene color, si aparece color es debido a sustancias en suspensión o en solución. Color verde se debe a algas, color amarillo a pardo puede ser por presencia de hierro y manganeso, también desechos de cromato dan color amarillo. Siempre que hay color la calidad es deficiente.	- Colorímetro  HACH  - 2 Celdas	- Agua destilada	- Tomamos dos celdas, en la una colocamos agua destilada y en la otra colocamos la muestra.  - Ubicamos en el equipo, la celda con agua destilada en el lado derecho y la muestra en el lado izquierdo  - Observamos, y vamos comparando el color y verificando el valor que se obtiene.	Lectura Directa

STANDARD METHODS

**TABLA 2-5**

**Determinación de Turbiedad**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La turbidez es una medida del grado en el cual el agua pierde su transparencia debido a la presencia de partículas en suspensión. Cuantos más sólidos en suspensión haya en el agua, más sucia parecerá ésta y más alta será la turbidez.</p> <p>La turbidez es considerada una buena medida de la calidad del agua.</p>	<p>- Vaso de precipitación de 50 ml.</p>	<p>- Agua destilada</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Encendemos el equipo.</li><li>- Calibramos el equipo con el patrón primario de turbiedad</li><li>- Calibramos con el patrón o solución estándar secundaria</li><li>- Tomamos una celda y colocamos 10 ml de muestra.</li><li>- Nos aseguramos que este bien seca y realizamos la lectura.</li></ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-6**

**Determinación de Conductividad**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La medida de conductividad depende de la actividad y tipos de iones del agua. Por medio de la conductividad conocemos de forma global el grado de mineralización del agua, y podemos detectar infiltraciones de aguas superficiales de mineralización diferente, o detectar la infiltración de aguas contaminadas</p>	<p>Vaso de precipitación de 50 ml.</p>	<p>Solución Patrón  (100 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>, 1000 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>).</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Calibramos el equipo con las soluciones patrones respectivas (100 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>, 1000 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>).</li> <li>- Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-7**

**Determinación de Sólidos totales disueltos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
Es la cantidad total de sólidos disueltos en el agua. Está relacionada con la Conductividad Eléctrica.	Vaso de Precipitación de 50 ml.	Agua destilada	<ul style="list-style-type: none"><li>- Calibramos el equipo con las soluciones patrones respectivas (100 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>, 1000 <math>\mu\text{S}/\text{cm}</math>).</li> <li>- Colocamos la muestra de agua problema en un vaso de precipitación y colocamos el electrodo.</li>  <li>- Realizamos la lectura.</li></ul>	Lectura Directa

STANDARD METHODS

**TABLA 2-8**

**Determinación de Fosfatos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El fósforo, como el nitrógeno, es nutriente esencial para la vida. Su exceso en el agua provoca eutrofización.</p> <p>El fósforo total incluye distintos compuestos como diversos ortofosfatos, polifosfatos y fósforo orgánico. La determinación se hace convirtiendo todos ellos en ortofosfatos que son los que se determinan por análisis químico.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Dos sobres de Fosfato Reactivo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el espectrofotómetro para analizar Fosfatos</li> <li>- En dos Erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos el sobre respectivo de fosfato reactivo tanto al blanco como a la muestra y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 2 minutos.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda de 10 ml y procedemos a encerrar el equipo</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-9**

**Determinación de Hierro**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>Es un constituyente de tipo inorgánico que está presente en las aguas de formación por lo tanto en las aguas provenientes de estas. El oxido de los tubos de hierro o acero aumentan considerablemente la cantidad de hierro</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Dos sobres de FerroverIron.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Hierro que es 290 Enter y 510 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos los dos sobres de Ferro ver tanto al blanco como a la muestra y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 3 minutos.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-10**

**Determinación de Manganeso**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El magnesio junto al calcio sirven para calibrar la dureza del agua. La cantidad de magnesio depende de los terrenos que el agua atraviesa.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Pan Indicador</li> <li>Solución 0.1%</li> <li>- Solución de cianuro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Manganeso que es 290 Enter y 560 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos 15 gotas de solución cianuro y 21 gotas de Pan Indicador solución al 10% y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 2 minutos.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**TABLA 2-11**

**Determinación de Nitritos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>Los nitritos son indeseables en aguas potables de consumo público, algunas aguas debido a terrenos por donde discurren o a las condiciones de almacenamiento, pobre en oxígeno, pueden presentar cierto contenido en nitritos. La presencia de nitritos es indicador de contaminación</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Dos sobres de solución de Nitriver 3</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Nitrito que es 371 Enter y 507 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos los sobres de la solución de Nitriver 3 tanto al blanco como a la muestra y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 20 minutos.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2.-12**

**Determinación de Nitratos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La OMS incluye a los nitratos entre los componentes del agua nocivos para la salud, si su concentración es superior a 45 mg/l. Los nitratos pasan a nitritos en el estomago, luego a sangre y forman metahemoglobina, con lo cual la absorción del oxígeno por la sangre disminuye, produciendo asfixia interna.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Dos sobres de solución Nitra-ver</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Nitratos que es 353 Enter y 400 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos los sobres de Nitra-ver 5 tanto al blanco como a la muestra y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 1 minuto.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-13**

**Determinación de Nitrógeno – amoniacal**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El amoniaco es uno de los componentes transitorios en el agua, ya que es parte del ciclo del nitrógeno y se ve influido por la actividad biológica. Es un producto natural de la descomposición de los compuestos orgánicos nitrogenados.</p> <p>Las aguas superficiales no deben contener normalmente amoniaco. En general, la presencia de amoniaco libre o ion amonio se considera como una prueba química de contaminación reciente y peligrosa. Si el medio es aerobio, el nitrógeno amoniacal se transforma en nitritos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 25 ml.</li> <li>- Celda de 25 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Mineral Estabilizador</li> <li>- Alcohol</li> <li>- Solución de Nessler</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Nitrógeno Amoniacal que es 380 Enter y 425 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos al blanco y a la muestra, 3 de gotas de Mineral Estabilizador.</li> <li>- A la solución que tenemos con el estabilizador le añadimos 2 gotas de alcohol y posteriormente 1ml. de reactivo de Nessler.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 1 minuto.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-14**

**Determinación de Sulfatos**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El sulfato (SO<sub>4</sub>) se encuentra en casi todas las aguas naturales. La mayor parte de los compuestos sulfatados se originan a partir de la oxidación de las menas de sulfato, la presencia de esquistos, y la existencia de residuos industriales. El sulfato es uno de los principales constituyentes disueltos de la lluvia.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 Erlenmeyer de 250 ml.</li> <li>- 2 Pipetas de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Agua destilada</li> <li>- Dos sobres Sulfaver</li> </ul> <p style="text-align: center;">4.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Sulfatos que es 680 Enter y 450 nm.</li> <li>- En dos erlenmeyer colocamos 10 ml de blanco y 10 ml de muestra.</li> <li>- Añadimos los sobres de Sulfaver 4 tanto al blanco como a la muestra y agitamos.</li> <li>- Programamos el tiempo de reacción por 5 minutos.</li> <li>- Colocamos el blanco en una celda.</li> <li>- Ponemos la celda con el blanco en el equipo y encerramos.</li> <li>- Colocamos la muestra problema en la celda.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura Directa</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-15**

**Determinación de Calcio**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>El calcio es el quinto elemento de orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe a su paso sobre depósitos de piedra, caliza, yeso. La cantidad de calcio puede variar desde 0 hasta varios cientos de mg/L, dependiendo de la fuente y del tratamiento de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bureta</li> <li>- Pipeta de 1 ml.</li> <li>- Vaso de Precipitación de 250ml.</li> <li>- Erlenmeyer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cianuro de potasio</li> <li>- Hidróxido de sodio 1 N.</li> <li>- Murexida</li> <li>- EDTA 0.02M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocar 25 ml de muestra.</li> <li>- Adicionar 1ml de KCN + 1ml de Na (OH) + Indicador Murexida</li> <li>- Titular con EDTA (0.02M)</li> </ul>	<p>Multiplicar por el factor correspondiente</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-16**

**Determinación de Alcalinidad total**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CALCULOS
<p>La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar los ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medido puede variar significativamente con el pH. Depende del contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos por lo que se puede tomar como una medida directa de la concentración de estos</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probeta de 50 ml.</li> <li>- Pipeta de 1 ml.</li> <li>- Vasos de precipitados de 250 ml.</li> <li>- Agitador Magnético.</li> <li>- Magnetor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestra Problema</li> <li>- Anaranjado de Metilo</li> <li>- Ácido Sulfúrico 0,02 N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar 50 ml de muestra</li> <li>- Agregar 4 gotas de anaranjado de metilo</li> <li>- Valorar con acido sulfúrico 0,02 N</li> <li>- Leer el valor de titulación.</li> </ul>	<p>ml valorados por 20</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-17**

**Determinación de Dureza total**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>La dureza total mide la capacidad del agua para consumir jabón. Las aguas duras son usualmente menos corrosivas que las blandas. Contienen sales de calcio y magnesio que están disueltas generalmente en forma de carbonatos que por calentamiento pueden formar bicarbonatos que son la causa de incrustaciones en los sistemas de transporte de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Probeta de 100 ml.</li> <li>- Pipeta de 1 ml.</li> <li>- Vaso de Precipitación de 250 ml.</li> <li>- Agitador magnético</li> <li>- Magnetor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Muestra Problema</li> <li>- Buffer de dureza</li> <li>- Negro de eriocromo T</li> <li>- Solución de EDTA.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tomar 50 ml de agua.</li> <li>- Adicionar 1 ml de buffer de dureza</li> <li>- Agregar una pequeña porción de negro de eriocromo T.</li> <li>- Valorar con la solución de EDTA</li> <li>- Leer el valor de la titulación</li> </ul>	<p>ml. Valorados por 20</p>

STANDARD METHODS

**Tabla 2-18**

**Determinación de Cloro residual**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CALCULOS</b>
<p>Cloro libre residual: Es la cantidad de cloro en forma activa que permanece en el agua el cloro se añade para:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a) Desinfección</li> <li>b) Prevenir la formación de limo y crecimiento de algas</li> <li>c) Control de sabor y olor</li> <li>d) Oxidación del hierro y manganeso</li> <li>e) Eliminación del sulfuro de hidrogeno</li> <li>f) Eliminación del color</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pipeta de 10 ml.</li> <li>- Celda de 10 ml.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Un sobre de DPD</li> <li>Cloro Libre</li> <li>- Agua destilada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Programamos el equipo para Cl<sub>2</sub> que es 80 Enter.</li> <li>- Tomamos una celda y colocamos el blanco que es agua destilada y ponemos en el equipo respectivamente y enceramos.</li> <li>- Votamos el agua del blanco y lavamos la celda con agua destilada</li> <li>- Colocamos la primera muestra recolectada en la ciudad en la celda respectiva 10ml.</li> <li>- Colocamos el Reactivo DPD CLORO LIBRE.</li> <li>- Colocamos la celda en el espectrofotómetro y dejamos pasar 3 minutos.</li> <li>- Realizamos la lectura.</li> </ul>	<p>Lectura directa</p>

STANDARD METHODS

## 2.4 DATOS EXPERIMENTALES

### 2.4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE EXISTENTE

El sistema de abastecimiento de agua de la población de San Pablo del Lago es alimentado actualmente por los escurrimientos superficiales de la Quebrada La Compañía, mediante una obra de captación convencional cuyas aguas provienen de vertientes ubicadas aproximadamente a 2 Km. aguas arriba de la captación.

Las aguas distribuidas son sometidas a los procesos de filtración mediante 2 prefiltros ascendentes, 3 módulos de filtros lentos de los cuales solo se utiliza 1 de los 3 y desinfección a través de una solución hipoclorito de sodio.

#### 2.4.1.1 FUENTE

En la Tabla 2-19 se presenta una descripción de la fuente que actualmente alimenta el sistema.

**Tabla 2-19**

**Descripción fuente que abastece a la red de distribución de la población de San Pablo del Lago**

No.	Tipo de Fuente	Ubicación	Caudal (L/s)	Observaciones
1	Captación Superficial proveniente de la Qda. La Compañía	Aproximadamente 2 Km. Aguas Arriba de la Captación	24,0	Suministro directo a la planta de tratamiento ubicado en el sector de Cusín.

Fuente: Autor

No existe un registro histórico continuo de la calidad del agua que ingresa a la planta de Potabilización que permita evaluar el incremento de la Turbiedad y su frecuencia, sin embargo, esta situación es ratificada por la constancia del Operador de la planta y por propios moradores que sufren la interrupción del sistema debido a estas causas.

### 2.4.1.2 SISTEMA DE MACROMEDICIÓN

No existe un sistema de macro medición en funcionamiento que permita estimar el volumen de agua producida o distribuida. Actualmente no son realizados aforos periódicos para el cómputo mensual del volumen producido.

### 2.4.1.3 CONDUCCION

Debido a las sobrepresiones producidas en la conducción instalada inicialmente, las cuales producían continuas roturas, se instaló una conducción nueva que alimente de caudales a la planta de Potabilización y por ende la Planta actualmente se abastece mediante 2 conducciones. En la tabla 2-20 se indica el diámetro y material de las tuberías de la conducción.

**TABLA 2-20**

**Conducción que alimenta a la red de distribución de la población de San Pablo del Lago**

<b>Denominación</b>	<b>Fecha Construcción</b>	<b>Material</b>	<b>Diámetro</b>	<b>Observaciones</b>
Línea Vieja	26/Jul./1980	Asbesto – Cemento	160 mm	Eventualmente se rompe – Línea a Presión
Línea Nueva	Año 2002	PVC	200 mm 160 mm 110 mm	Varios diámetros en la conducción, el mayor al inicio – Línea a Presión

Fuente: Autor

La tubería que conforma la red de distribución no se encuentra en buen estado, ya que su periodo de vida útil ya se cumplió, por lo que frecuentemente se producen roturas.

#### 2.4.1.4 PLANTA DE TRATAMIENTO

El método de tratamiento empleado consiste en la filtración mediante 2 pre-filtros ascendentes (1 m de lecho de grava de entre 10 y 20 mm de granulometría) y 3 filtros lentos, con lechos de 0,8 m de arena fina y 0,75 m de grava fina como soporte de entre 5 a 10 mm proveniente del río Toachi, y posterior desinfección mediante la aplicación de hipoclorito de sodio a través de un tanque de contacto. En la Tabla 2-21, se presenta un resumen de las unidades que componen el tratamiento en esta planta.

**Tabla 2-21**

**Unidades de tratamiento población de San Pablo del Lago**

<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Observaciones</b>
Pre-filtros ascendentes	2	3,40 x 2,3 m	Lecho de grava
Filtros Lentos	1	10 x 9,95 m	Filtros con lechos de arena
	1	11 x 6 m	
	1	19 x 10,2 m	

Fuente: Autor

Una solución de sulfato de cobre de aproximadamente 3 mL/s es aplicada continuamente sobre los filtros lentos con la finalidad de eliminar e impedir el crecimiento de algas en estos.

**Tanques de reserva:** La capacidad de reserva del sistema de agua de la población de San Pablo del Lago es de aproximadamente 779 m<sup>3</sup>. La reserva se compone de 2 tanques cuyas características se detallan en la Tabla 2-22.

**Tabla 2-22**

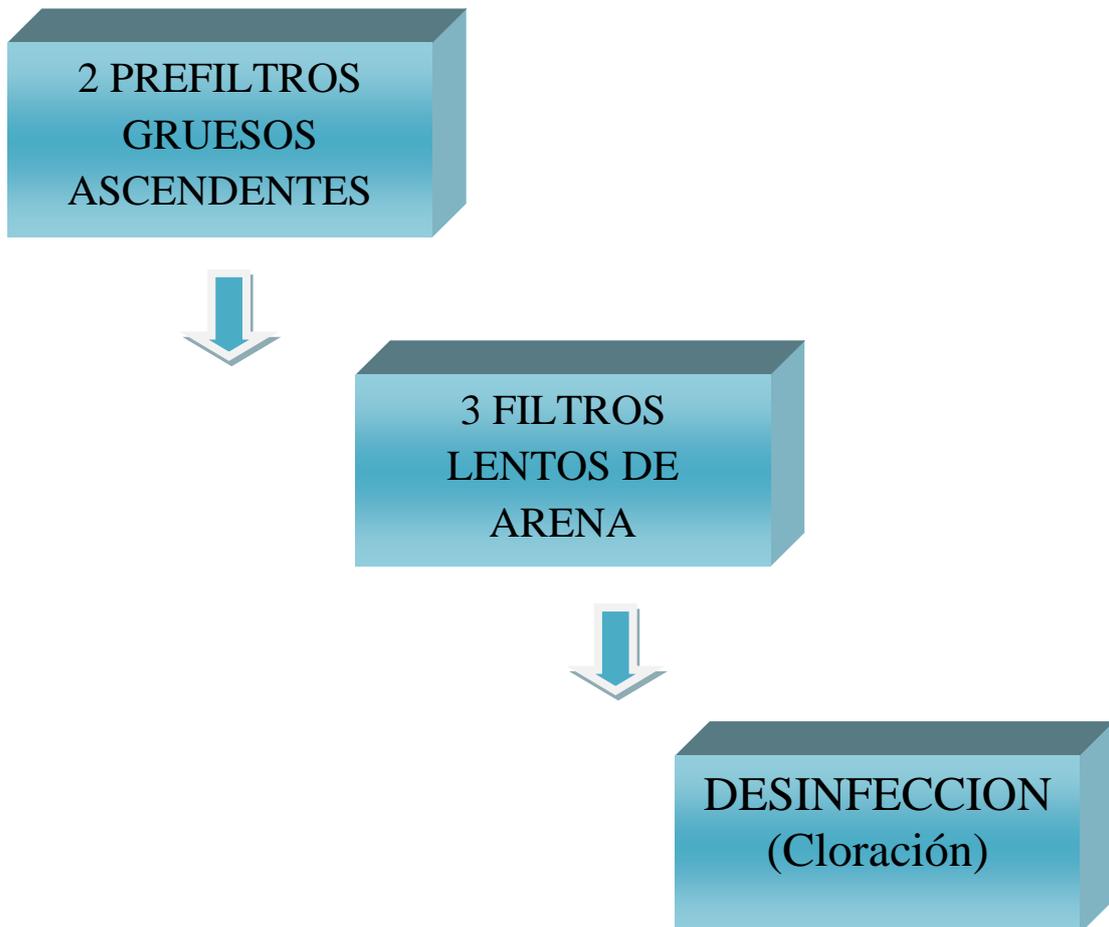
**Unidades de almacenamiento de agua potable de San Pablo del Lago**

<b>Tanque</b>	<b>Material</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Volumen</b>
Rectangular	Mampostería de Piedra	8,0 x 12,5 x 2,4 m	240 m <sup>3</sup>
Circular	Hormigón armado	D = 14 m H = 3,5 m	539 m <sup>3</sup>

Fuente: Autor

El diámetro de la salida de los tanques hacia la red de distribución es de 150 mm, con una tubería de asbesto – cemento.

**DIAGRAMA DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ACTUAL**



### 2.4.1.5 CALIDAD DEL AGUA DE LA FUENTE

La calidad del agua utilizada por los habitantes de la Parroquia de San Pablo, es el resultado del estado, manejo y uso de la cuenca hidrográfica hasta el sitio de captación. Una vez ingresada a la planta de tratamiento el agua recibe un tratamiento de filtración y cloración previo a su distribución.

Existe actualmente deficiencia en la operación de la planta de tratamiento, ya que no existe un tratamiento previo a la filtración provocando que los filtros se obstruyan considerando que las 2 unidades de prefiltrado no cuentan con dimensiones acorde al caudal de alimentación y el lecho de grava no se encuentra clasificado en capas conforme a su granulometría.

### 2.4.2 POBLACION DE DISEÑO

En la Fig. 2-1, se presenta un resumen de la proyección de la población de la parroquia San Pablo del Lago de acuerdo al último censo de población, este es un parámetro muy importante para el rediseño de una planta de tratamiento de agua potable.

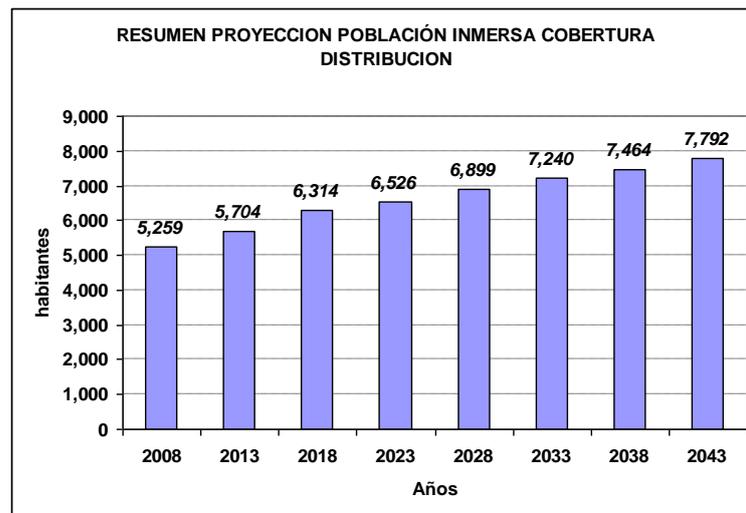


Fig. 2-1 Proyección de población para el periodo 2001 - 2046

Fuente: Inec

## 2.5 DATOS

### 2.5.1 CARACTERIZACION FÍSICO - QUÍMICA Y MICROBIOLÓGICA DEL AGUA EN CADA PROCESO DEL TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE ACTUAL

**TABLA 2-23a**

**Caracterización físico-química del agua cruda (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012	PROMEDIO SEM 1
PH		6,5-8,5	7,49	7,81	7,62	7,64
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	5,6	6,4	5,2	5,73
Conductividad	uS/cm		728	803	679	736,67
STD	mg/L	1000	355	406	350	370,33
Temperatura	C		20,1	17	17,4	18,17
Fosfatos	mg/L	0,1	0,13	0,1	0,12	0,12
Hierro	mg/L	0,3	0,2	0,01	0,01	0,07
Manganeso	mg/L	0,1	0,001	0,001	0,001	0
Nitritos	mg/L	0	0,003	0,001	0	0
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0
N- Amoniacal	mg/L	1	0,004	0,004	0,03	0,01
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8

Fuente: Autor

**TABLA 2-23b**

**Análisis microbiológico (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012
CT	UFC/100ml	< 2	222	298	196
CF	UFC/100ml	< 2	98	96	71

Fuente: Autor

**TABLA 2-24a**  
**Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012	PROMEDIO SEM 1
PH		6,5-8,5	7,54	7,59	7,76	7,63
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	5,6	6,7	5,8	6,03
Conductividad	uS/cm		728	849	704	760,33
STD	mg/L	1000	364	465	389	406,00
Temperatura	C		20,2	18	17	18,4
Fosfatos	mg/L	0,1	0,21	0,23	0,2	0,21
Hierro	mg/L	0,3	0,01	0,02	0,01	0,01
Manganeso	mg/L	0,1	0,002	0,001	0,001	0
Nitritos	mg/L	0	0,002	0,001	0	0
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0
N- Amoniacal	mg/L	1	0,01	0,01	0,003	0,01
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8

Fuente: Autor

**TABLA 2-24b**  
**Análisis microbiológico (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012
CT	UFC/100 ml	<2	219	294	194
CF	UFC/100 ml	<2	92	93	52

Fuente: Autor

**TABLA 2-25a**  
**Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012	PROMEDIO SEM 1
PH		6,5-8,5	7,63	7,6	7,54	7,59
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	5,4	6,2	4,8	5,47
Conductividad	uS/cm		712	798	634	714,67
STD	mg/L	1000	298	316	236	283,33
Temperatura	C		19,9	18	18,2	18,7
Fosfatos	mg/L	0,1	0,5	0,6	0,4	0,5
Hierro	mg/L	0,3	0,11	0,02	0,02	0,05
Manganeso	mg/L	0,1	0,001	0,001	0,001	0
Nitritos	mg/L	0	0,002	0	0	0
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0
N- Amoniacal	mg/L	1	0,02	0,02	0,002	0,01
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8

Fuente: Autor

**TABLA 2-25b**  
**Análisis microbiológico (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012
CT	UFC/100 ml	<2	97	125	92
CF	UFC/100 ml	<2	43	62	56

Fuente: Autor

**TABLA 2-26a**  
**Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 1)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	23/04/2012	24/04/2012	25/04/2012	PROMEDIO SEM 1
PH		6,5-8,5	7,62	7,6	7,66	7,63
Color	NTU	15	<5	<5	<5	<5
Turbiedad	NTU	5	5,20	6,30	4,70	5,40
Conductividad	uS/cm		709,00	802,00	626,00	712,33
STD	mg/L	1000	274,00	317,00	229,00	273,33
Temperatura	C		20,3	20,6	19,2	20,45
Cloro	mg/L	0,3 - 1,5	0,57	0,62	0,58	0,59
Absorbancia			0,301	0,376	0,321	0,33
Transmitancia	%		50,1	48,2	49,8	49,37
Fosfatos	mg/L	0,1	0,22	0,26	0,23	0,24
Hierro	mg/L	0,3	0,07	0,02	0,01	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0	0,001	0,001	0
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0
N- Amoniacal	mg/L	1	0	0	0,001	0
Sulfatos	mg/L	200	7	8	7	7,33

Fuente: Autor

**Análisis Microbiológico:** No se realizó análisis microbiológico en esta etapa debido que el análisis de cloro realizado en el laboratorio al agua tratada se encuentra dentro del rango permitido.

**TABLA 2-27a**  
**Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012	PROMEDIO SEM 2
PH		6,5-8,5	7,78	7,83	7,8	7,80
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,8	1,5	1,6	1,63
Conductividad	uS/cm		113,7	110,6	111,4	111,90
STD	mg/L	1000	54	52,6	53,2	53,27
Temperatura	C		16,2	17,5	17,1	16,93
Fosfatos	mg/L	0,1	0,34	0,27	0,31	0,31
Hierro	mg/L	0,3	0,08	0,04	0,05	0,06
Manganeso	mg/L	0,1	0,001	0,003	0,001	0,00
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0,001	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,04	0,02	0,02	0,03
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-27b**  
**Análisis microbiológico (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012
CT	UFC/100 ml	<2	132	249	116
CF	UFC/100 ml	<2	28	125	12

Fuente: Autor

**TABLA 2-28a**  
**Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012	PROMEDIO SEM 2
PH		6,5-8,5	7,72	7,79	7,73	7,75
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,87	1,83	1,85	1,85
Conductividad	uS/cm		114,7	111,9	112,6	113,07
STD	mg/L	1000	54,5	51,2	52,3	52,67
Temperatura	C		16,3	16,8	17	16,70
Fosfatos	mg/L	0,1	0,79	0,1	0,2	0,36
Hierro	mg/L	0,3	0,31	0,14	0,11	0,19
Manganeso	mg/L	0,1	0,009	0,003	0,001	0,00
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0,001	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,03	0,14	0,02	0,06
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-28b**  
**Análisis microbiológico (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012
CT	UFC/100 ml	< 2	123	241	128
CF	UFC/100 ml	< 2	21	121	17

Fuente: Autor

**TABLA 2-29a**  
**Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012	PROMEDIO SEM 2
PH		6,5-8,5	7,78	7,77	7,71	7,75
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,8	1,8	1,8	1,80
Conductividad	uS/cm		112,9	111,9	113,9	112,90
STD	mg/L	1000	53,6	53,2	53,8	53,53
Temperatura	C		16,2	16,9	16,5	16,53
Fosfatos	mg/L	0,1	0,19	0,1	0	0,10
Hierro	mg/L	0,3	0,08	0,01	0,02	0,04
Manganeso	mg/L	0,1	0,001	0,053	0,051	0,04
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,03	0,08	0,07	0,05
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-29b**  
**Análisis microbiológico (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012
CT	UFC/100 ml	<2	121	234	105
CF	UFC/100 ml	<2	19	116	12

Fuente: Autor

**TABLA 2-30a**  
**Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 2)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	30/05/2012	02/05/2012	03/05/2012	PROMEDIO SEM 2
PH		6,5-8,5	7,82	7,8	7,7	7,77
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,9	1,2	1,9	1,67
Conductividad	uS/cm		116,6	115,8	117,4	116,60
STD	mg/L	1000	55,4	55	56,2	55,53
Temperatura	C		16,8	17,2	17,4	17,13
Cloro	mg/L	0,3 - 1,5	0,47	0,58	0,48	0,51
Absorbancia			0,242	0,304	0,262	0,27
Transmitancia	%		56,8	49,6	53,2	53,20
Fosfatos	mg/L	0,1	0,42	0	0	0,14
Hierro	mg/L	0,3	0,03	0,01	0,01	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0,001	0,05	0,0031	0,02
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,03	0,03	0,04	0,03
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**Análisis Microbiológico:** No se realizó análisis microbiológico en esta etapa debido que el análisis de cloro realizado en el laboratorio al agua tratada se encuentra dentro del rango permitido.

**TABLA 2-31a**  
**Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012	PROMEDIO SEM 3
PH		6,5-8,5	7,62	7,82	7,63	7,69
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	2	1,6	1,5	1,70
Conductividad	uS/cm		124,4	123,8	124,2	124,13
STD	mg/L	1000	59,2	58,9	59	59,03
Temperatura	C		18,7	16,9	18	17,87
Fosfatos	mg/L	0,1	0,6	0,03	0,38	0,34
Hierro	mg/L	0,3	0,02	0,02	0,01	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0,05	0	0,001	0,02
Nitritos	mg/L	0	0,04	0,003	0	0,01
Nitratos	mg/L	10	0	0	0,1	0,03
N- Amoniacal	mg/L	1	0,03	0,05	0,05	0,04
Sulfatos	mg/L	200	8	7	8	7,67

Fuente: Autor

**TABLA 2-31b**  
**Análisis microbiológico (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012
CT	UFC/100 ml	<2	275	70	365
CF	UFC/100 ml	<2	28	2	6

Fuente: Autor

**TABLA 2-32a**  
**Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012	PROMEDIO SEM 3
PH		6,5-8,5	7,59	7,62	7,79	7,67
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	2	1,6	1,9	1,83
Conductividad	uS/cm		124,4	123,6	124,9	124,30
STD	mg/L	1000	59	58,7	59,4	59,03
Temperatura	C		18,6	17	17,2	17,60
Fosfatos	mg/L	0,1	0,75	0,71	0,6	0,69
Hierro	mg/L	0,3	0,13	0,02	0	0,05
Manganeso	mg/L	0,1	0,01	0,001	0,012	0,01
Nitritos	mg/L	0	0,01	0,001	0,001	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0,1	0,03
N- Amoniacal	mg/L	1	0,03	0,04	0,05	0,04
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-32b**  
**Análisis microbiológico (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012
CT	UFC/100 ml	< 2	214	170	319
CF	UFC/100 ml	< 2	12	29	0

Fuente: Autor

**TABLA 2-33a**  
**Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012	PROMEDIO SEM 3
PH		6,5-8,5	7,58	7,64	7,65	7,62
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,5	1,3	1,2	1,33
Conductividad	uS/cm		124,2	125,9	125,8	125,30
STD	mg/L	1000	59,1	59,9	59,9	59,63
Temperatura	C		18,9	16,4	17,2	17,50
Fosfatos	mg/L	0,1	0,6	0,12	0,91	0,54
Hierro	mg/L	0,3	0,01	0,04	0	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0,038	0,001	0,001	0,01
Nitritos	mg/L	0	0,003	0	0,001	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,08	0,01	0,03	0,04
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-33b**  
**Análisis microbiológico (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012
CT	UFC/100 ml	< 2	210	147	270
CF	UFC/100 ml	< 2	8	13	0

Fuente: Autor

**TABLA 2-34a**  
**Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 3)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012	PROMEDIO SEM 3
PH		6,5-8,5	7,6	7,63	7,72	7,65
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,5	1,3	1,2	1,33
Conductividad	uS/cm		127,6	127,7	128,1	127,80
STD	mg/L	1000	60,7	60,8	60,9	60,80
Temperatura	C		18,9	17,2	17,6	17,90
Cloro	mg/L	0,3 - 1,5	0,6	0,37	0,44	0,47
Absorbancia			0,311	0,19	0,23	0,24
Transmitancia	%		48,8	64,5	58,9	57,40
Fosfatos	mg/L	0,1	0,37	0,12	0,65	0,38
Hierro	mg/L	0,3	0,07	0	0	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0,027	0,001	0,013	0,01
Nitritos	mg/L	0	0,001	0	0,001	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0,1	0,03
N- Amoniacal	mg/L	1	0,02	0	0,06	0,03
Sulfatos	mg/L	200	7	7	9	7,67

Fuente: Autor

**Análisis Microbiológico:** No se realizó análisis microbiológico en esta etapa debido que el análisis de cloro realizado en el laboratorio al agua tratada se encuentra dentro del rango permitido.

**TABLA 2-35a**  
**Caracterización físico-química de agua cruda (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	14/05/2012	15/05/2012	16/05/2012	PROMEDIO SEM 4
PH		6,5-8,5	6,64	7,64	7,47	7,25
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,6	1,7	1,6	1,63
Conductividad	uS/cm		128,8	129,4	127,5	128,57
STD	mg/L	1000	61,3	61,6	60,7	61,20
Temperatura	C		18,6	17,5	18,3	18,13
Fosfatos	mg/L	0,1	0,81	0,64	0,43	0,63
Hierro	mg/L	0,3	0	0	0,04	0,01
Manganeso	mg/L	0,1	0	0,001	0,001	0,00
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0,3	0,3	0	0,20
N- Amoniacal	mg/L	1	0,05	0	0	0,02
Sulfatos	mg/L	200	7	8	8	7,67

Fuente: Autor

**TABLA 2-35b**  
**Análisis microbiológico (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	14/05/2012	15/05/2012	16/05/2012
CT	UFC/100 ml	<2	461	403	308
CF	UFC/100 ml	<2	60	12	36

Fuente: Autor

**TABLA 2-36a**  
**Caracterización físico-química de prefiltros ascendentes (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	14/05/2012	15/05/2012	16/05/2012	PROMEDIO SEM 4
PH		6,5-8,5	7,56	7,6	7,23	7,46
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,6	1,6	1,6	1,60
Conductividad	uS/cm		125,6	125,5	127,9	126,33
STD	mg/L	1000	59,8	59,7	60,8	60,10
Temperatura	C		18	17,1	18	17,70
Fosfatos	mg/L	0,1	0,75	0,68	0,51	0,65
Hierro	mg/L	0,3	0,09	0,02	0	0,04
Manganeso	mg/L	0,1	0,017	0,001	0,001	0,01
Nitritos	mg/L	0	0	0	0	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0	0,05	0,05	0,03
Sulfatos	mg/L	200	8	8	9	8,33

Fuente: Autor

**TABLA 2-36b**  
**Análisis microbiológico (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	14/05/2012	15/05/2012	16/05/2012
CT	UFC/100 ml	< 2	454	365	248
CF	UFC/100 ml	< 2	58	9	204

Fuente: Autor

**TABLA 2-37a**  
**Caracterización físico-química de filtros lentos (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012	PROMEDIO SEM 3
PH		6,5-8,5	7,58	7,64	7,65	7,62
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,5	1,3	1,2	1,33
Conductividad	uS/cm		124,2	125,9	125,8	125,30
STD	mg/L	1000	59,1	59,9	59,9	59,63
Temperatura	C		18,9	16,4	17,2	17,50
Fosfatos	mg/L	0,1	0,6	0,12	0,91	0,54
Hierro	mg/L	0,3	0,01	0,04	0	0,02
Manganeso	mg/L	0,1	0,038	0,001	0,001	0,01
Nitritos	mg/L	0	0,003	0	0,001	0,00
Nitratos	mg/L	10	0	0	0	0,00
N- Amoniacal	mg/L	1	0,08	0,01	0,03	0,04
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**TABLA 2-37b**  
**Análisis microbiológico (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	07/05/2012	08/05/2012	09/05/2012
CT	UFC/100 ml	< 2	214	313	192
CF	UFC/100 ml	< 2	0	2	0

Fuente: Autor

**TABLA 2-38a**  
**Caracterización físico-química de agua tratada (Semana 4)**

PARAMETRO	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	14/05/2012	15/05/2012	16/05/2012	PROMEDIO SEM 4
PH		6,5-8,5	6,64	7,64	7,04	7,11
Color	NTU	15	5	5	5	5
Turbiedad	NTU	5	1,6	1,7	1,3	1,53
Conductividad	uS/cm		128,8	129,4	133,4	130,53
STD	mg/L	1000	61,3	61,6	63,5	62,13
Temperatura	C		18,6	17,5	18,2	18,10
Cloro	mg/L	0,3 - 1,5	1,28	0,98	0,86	1,13
Absorbancia			0,668	0,52	0,483	0,59
Transmitancia	%		21,5	30,2	27,4	26,37
Fosfatos	mg/L	0,1	0,81	0,64	0,54	0,66
Hierro	mg/L	0,3	0	0	0	0,00
Manganeso	mg/L	0,1	0	0,001	0,001	0,00
Nitritos	mg/L	0	0	0	0,002	0,00
Nitratos	mg/L	10	0,3	0,3	0,1	0,23
N- Amoniacal	mg/L	1	0,05	0	0,03	0,03
Sulfatos	mg/L	200	8	8	8	8,00

Fuente: Autor

**Análisis Microbiológico:** No se realizó análisis microbiológico en esta etapa debido que el análisis de cloro realizado en el laboratorio al agua tratada se encuentra dentro del rango permitido.

**2.5.1.1 Análisis de Dureza Total, Alcalinidad y Calcio:** Se realizó análisis en todos los procesos para verificar si el agua a tratar tiene dureza total, alcalinidad y calcio. De acuerdo a los resultados se verifica que no existen concentraciones importantes de estos parámetros por lo que el estudio se enfoca directamente en la turbiedad.

**TABLA 2-39**

**Análisis de dureza, alcalinidad y calcio en los procesos de tratamiento de agua tratada**

PARAMETROS	UNIDAD	LIMITE PERMISIBLE	AGUA CRUDA	PREFILTRO ASCENDENTE	P. FILTROS LENTOS	AGUA TRATADA
<b>DUREZA</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	200	120	104	80	104
<b>ALCALINIDAD</b>	mg/L Ca	250-300	80	100	120	80
<b>CALCIO</b>	mg/L CaCO <sub>3</sub>	70	32	41,6	32	41,6

Fuente: Autor

**2.5.2 Análisis de la Grava y Arena del Sistema de Filtración:** Se realiza análisis pH, alcalinidad y calcio a distintas profundidades de los lechos de grava y arena de los filtros.

**TABLA 2-40**

**Peso de la grava del prefiltro ascendente a distintas profundidades para analizar**

MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	PESO MUESTRA HUMEDA	PESO DE LA MUESTRA SECA
<b>1</b>	2	20,0688	18,8456
<b>2</b>	20	20,1254	18,0012
<b>3</b>	50	20,2315	17,4578

Fuente: Autor

**TABLA 2-41**

**Determinación de parámetros de la grava seca de prefiltro ascendente**

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
<b>Ph</b>	6,8	7,75	7,9
<b>Conductividad</b>	56,3	25,4	32,6
<b>Alcalinidad</b>	28	23	21

Fuente: Autor

**TABLA 2-42**  
**Determinación de parámetros de la grava húmeda de prefiltro ascendente**

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA3</b>
<b>pH</b>	6,97	7,83	8,2
<b>Conductividad</b>	17,82	26,9	29,3
<b>Alcalinidad</b>	22	18	17

Fuente: Autor

**TABLA 2-43**  
**Peso de arena de filtro lento a distintas profundidades para analizar**

<b>ARENA</b>			
<b>MUESTRA</b>	<b>PROFUNDIDAD</b>	<b>PESO MUESTRA HUMEDA</b>	<b>PESO DE LA MUESTRA SECA</b>
1	0	10,0109	9,9799
2	20	10,0165	9,8744
3	40	10,0130	9,9663

Fuente: Autor

**TABLA 2-44**  
**Determinación de parámetros de la arena seca del filtro lento**

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA3</b>
<b>pH</b>	6,4	6,7	6,8
<b>Conductividad</b>	59,7	22,6	19,3
<b>Alcalinidad</b>	28	19	17

Fuente: Autor

**TABLA 2-45**  
**Determinación de parámetros de la arena húmeda del filtro lento**

	<b>MUESTRA 1</b>	<b>MUESTRA 2</b>	<b>MUESTRA3</b>
<b>pH</b>	6,9	7,14	7,33
<b>Conductividad</b>	19,28	17,43	26,56
<b>Alcalinidad</b>	26	13	16

Fuente: Autor

### **2.5.3 CARACTERIZACION FÍSICO – QUÍMICA DEL AGUA DESPUES DE REALIZAR LAS PRUEBAS TRATABILIDAD (SEDIMENTACION Y FILTRACION LENTA) A NIVEL DE LABORATORIO:**

Se realizó pruebas de sedimentación y filtración a nivel de laboratorio, utilizando la grava y arena de los filtros de la planta de tratamiento actual, la misma fue sometida a un lavado posteriormente se dejó secar y la arena se realizó un tamizado.

Los análisis que se realizaron fueron los que se encontraban fuera del límite permisible en la NORMA INEN 1108 como son turbiedad, Fosfatos.

- **TURBIEDAD:** Se realizó pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio el parámetro a medirse fue la turbiedad ya que este parámetro suele estar fuera del límite permisible de la Norma INEN 1108 y de esta manera ocasionar problemas en la planta de tratamiento.

**TABLA 2-46**  
**Pruebas de Tratabilidad prueba turbiedad**

<b>N. DE PRUEBA</b>	<b>MUESTRA (Agua Cruda)</b>	<b>Volumen Litros</b>	<b>TURBIEDAD (Agua Cruda) NTU</b>	<b>TURBIEDAD (Agua Tratada) NTU</b>
1	1	8	5,6	0,41
2	1	8	6,8	0,5
3	1	8	4,3	0,31
4	1	8	5,2	0,38
5	1	8	6,1	0,45

Fuente: Autor

- **FOSFATOS:** En el laboratorio se realizó pruebas de tratabilidad para reducir los fosfatos que existían en el agua cruda, ya se encontraban fuera del límite permisible de la Norma INEN 1108.

Se añadió Sulfato de Cobre en diferentes dosis 3, 4, 5 mL/s en el proceso de filtración, la primera es la dosis que se usa actualmente por lo tanto se usó dos dosis superiores para ver su efecto. Esto se puede verificar en las tablas siguientes:

**TABLA 2-47****Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos**

<b>N. DE PRUEBA</b>	<b>Volumen Litros</b>	<b>FOSFATOS (Agua Cruda) mg/L</b>	<b>Solución de Sulfato de Cobre (mL/s)</b>	<b>FOSFATOS (Agua Tratada) mg/L</b>
1	1	0,18	3	0,12
2	1	0,23	3	0,14
3	1	0,12	3	0,11
4	1	0,14	3	0,11
5	1	0,25	3	0,15

Fuente: Autor

**TABLA 2-48****Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos**

<b>N. DE PRUEBA</b>	<b>Volumen Litros</b>	<b>FOSFATOS (Agua Cruda) mg/L</b>	<b>Solución de Sulfato de Cobre (4 mL/s)</b>	<b>FOSFATOS (Agua Tratada) mg/L</b>
1	1	0,18	4	0,08
2	1	0,23	4	0,09
3	1	0,12	4	0,08
4	1	0,14	4	0,07
5	1	0,25	4	0,09

Fuente: Autor

**TABLA 2-49****Pruebas de tratabilidad parámetro fosfatos**

<b>N. DE PRUEBA</b>	<b>Volumen Litros</b>	<b>FOSFATOS (Agua Cruda) mg/L</b>	<b>Solución de Sulfato de Cobre (5 mL/s)</b>	<b>FOSFATOS (Agua Tratada) mg/L</b>
1	1	0,18	5	0,032
2	1	0,23	5	0,037
3	1	0,12	5	0,024
4	1	0,14	5	0,027
5	1	0,25	5	0,026

Fuente: Autor

**2.5.4 Determinación del Caudal:** Para realizar rediseño de la planta de tratamiento de agua potable, se realiza la medición de caudal directamente en la captación, ya que la tubería que va de la captación a la planta de tratamiento se encuentra destruida en unos tramos lo que provoca fugas de agua considerable

**TABLA 2-50**

**Medición del caudal en la captación de agua**

<b>Volumen (mL)</b>	<b>Tiempo(s)</b>
5000	0,210
4800	0,190
5000	0,220
4700	0,160
4900	0,240
<b>Promedio : 4880</b>	<b>Promedio: 0,204</b>

Fuente: Autor

**Cálculo del caudal de agua captada**

$$Q = \frac{\text{Volumen}}{\text{Tiempo}} \quad (\text{Ec. 2- a})$$

$$Q = \frac{4,8 \text{ L}}{0,204 \text{ s}}$$

$$Q = 23,53 \text{ L/s}$$

Se adopta un caudal de: **24 L/s.**

# **CAPITULO III**

## **REDISEÑO**

## **CAPITULO III: REDISEÑO**

### **3. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO**

#### **3.1 CONSIDERACIONES GENERALES DEL DISEÑO**

En base a las caracterizaciones físicas – químicas y microbiológicas del agua se determina que el tratamiento necesario para que el agua sea apta para el consumo humano es un tratamiento convencional de una planta de potabilización que sea capaz de remover: Turbiedad, Color, Coliformes termoresistentes y Fosfatos.

Para el Rediseño se consideró el número de habitantes en la población de San Pablo de Lago considerando una proyección de 12 años.

#### **3.2 CALCULOS DE INGENIERÍA**

##### **3.2.1 DISEÑO DE MEDIDOR DE CAUDAL PARSHALL**

###### **3.2.1.1 Cálculo de altura de cresta (H<sub>a</sub>):**

$$H_a = \frac{Q^{\frac{1}{1,57 * w^{0,026}}}}{(0,3716W)^{\frac{1}{1,57w^{0,026}}} * 3,281}$$

**Se asume W = 0,229 m y Q = 0,024**

$$H_a = \frac{0,024^{\frac{1}{1,57 * 0,229^{0,026}}}}{(0,3716 * 0,229)^{\frac{1}{1,570,229^{0,026}}} * 3,281}$$

$$H_a = 0,132 \text{ m}$$

**3.2.1.2 Cálculo de altura de garganta (Hb):** Tomando  $W = 0,229$  m y de acuerdo a

Tabla 1-4,  $S = 0,6$

$$H_b = S * H_a$$

$$H_b = 0,079 \text{ m}$$

**Verificación de condición:**  $\frac{H_a}{W} \approx 0,4 \text{ y } 0,8$

$$\frac{0,132}{0,229} = 0,57 \quad \text{Se cumple la condición}$$

**3.1.2.3 Cálculo de pérdida de carga:**

$$P = \frac{5,072}{(W + 4,57)^{1,46}} (1 - S)^{0,72} * Q^{0,67}$$

$$P = \frac{5,072}{(0,229 + 4,57)^{1,46}} (1 - 0,6)^{0,72} * 0,024^{0,67}$$

$$P = 0,022 \text{ m}$$

Para  $W = 0,229$  m, se tiene dimensiones estandarizadas para canal parshall. Ver

Anexo H.

### 3.2.2 DISEÑO DEL SEDIMENTADOR CLASICO

**3.2.2.1 Cálculo del volumen del sedimentador:** El sedimentador a diseñarse corresponde a la figura de un rectángulo

$$V = Q * t$$

Se asume un valor dentro del rango establecido en la tabla 1-7, tiempo de retención de 2,5 horas.

$$t = 2,5 \text{ h} = 9000 \text{ s}$$

$$V = 0,024 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * 9000\text{s}$$

$$V = 216 \text{ m}^3$$

**3.2.2.2 Cálculo de la Velocidad de Sedimentación:** Para el cálculo de la velocidad de sedimentación teórica procedemos a utilizar la Ley de Stokes:

$$V_s = \frac{1}{18} g \left( \frac{\rho_s - \rho_{H_2O}}{n} \right) d^2$$

✓  $\rho_s = 2,65 \text{ gr/cm}^3$

---

<sup>3</sup><http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3438/12/55861-12.pdf>

- ✓ Del Anexo G obtenemos el valor de la viscosidad y densidades del H<sub>2</sub>O  
Tomando una temperatura promedio de 18 C ya que es la temperatura que predomina a la llegada del tanque.

$$V_s = \frac{1}{18} (9,8 \text{ cm/s}^2) \left( \frac{2,65 \text{ gr/cm}^3 - 0,9986 \text{ gr/cm}^3}{1,0618 \text{ cm}^2/\text{s}} \right) (0,02 \text{ cm})^2$$

$$V_s = 54,4 \left( \frac{1,65 \text{ gr/cm}^3}{1,0618 \text{ cm}^2/\text{s}} \right) (0,0004 \text{ cm}^2)$$

$$V_s = 0,34 \text{ mm/s}$$

**3.2.2.3 Determinación de la Velocidad de Sedimentación Crítica:** Tomando en cuenta los efectos debidos a los vientos, temperatura, corto circuitos y perturbaciones en el flujo tanto en el flujo en la entrada como en la salida de la unidad de tratamiento se asume un factor de afectación a la velocidad de sedimentación de 0,30.

$$V_{sc} = \frac{0,34}{1,30} = 0,26 \text{ mm/s}$$

**3.2.2.4 Cálculo de las dimensiones del sedimentador:**

➤ **Cálculo de la altura de la unidad:**

$$H = V_{sc} * t$$

$$H = 0,026 \frac{\text{mm}}{\text{s}} * \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}} * 9000\text{s} = 2,34 \text{ m}$$

➤ **Calculo del Área:**

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

$$A = \frac{216 \text{ m}^3}{2,34 \text{ m}}$$

$$A = 92,31 \text{ m}^2$$

Por razones de limpieza y mantenimiento se procede a diseñar 2 tanques:

$$A_i = \frac{A}{2}$$

$$A_i = \frac{92,31 \text{ m}^2}{2}$$

$$A_i = 46,16 \text{ m}^2$$

### 3.2.2.5 Dimensión Constructiva:

➤ Considerando la relación:  $\frac{L}{B} = 4$

**El ancho del tanque será:**

$$B = \sqrt{\frac{A_i}{4}}$$

$$B = \sqrt{\frac{46,16}{4}}$$

$$B = 3,40$$

**La longitud del tanque será:**

$$L = 4 * B$$

$$L = 4 * 3,40\text{m}$$

$$L = 13,6 \text{ m.}$$

**3.2.2.6 Cálculo de la velocidad de escurrimiento:**

$$V_h = \frac{Q}{B * H}$$

$$V_h = \frac{0,024}{3,4 * 2,34}$$

$$V_h = 3,017 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

**3.2.2.7 Cálculo de la velocidad de arrastre:**

$$V_a = \sqrt{40 * (\rho_s - \rho_w) * g * d / (3 * \rho_w)}$$

$$V_a = \sqrt{40 * (2,65 - 0,09986) * 9,8 * 0,02 / (3 * 2,65)}$$

$$V_a = 1,58\text{m/s}$$

Se cumple la condición que es:

$$V_a > V_h$$

### 3.2.2.8 Determinación del volumen de lodos para el sedimentador:

$$V_1 = E * C * Q$$

La eficiencia E asume el proyectista en función a la calidad de obra y rutinas de operación de la planta de tratamiento como valor razonable para buena condiciones de operación se asume como  $E = 80\%$

$$V_1 = 0,8 * 2 \text{ mL/L} * 24 \text{ L/s}$$

$$V_1 = 38,4 \text{ mL/s}$$

$$V_1 = 0,0384 \text{ L/s}$$

➤ **Volumen de la Cámara de Lodos:**

$$V_{1-24h} = V_1 * t$$

$$V_{1-24h} = 0,0384 \text{ L/s} * 24 \text{ h} * 3600 \text{ s} = 32,832 \text{ L/s}$$

$$V_{1-24h} = 32,83 \text{ m}^3/\text{s}$$

Por lo tanto se diseñará una cámara de  $32,83 \text{ m}^3/\text{s}$  que se purgará cada 24 horas.

➤ **Dimensiones de cámara de lodos:**

$$V = A \times h$$

$$V = B \times L \times h$$

Asumiendo una altura de  $h = 1$  m,  $B = 3,4$  de ancho de sedimentador, se tiene:

$$L = \frac{32,8}{3,4}$$

$$L = 9,65 \text{ m}$$

**3.2.2.9 Dimensionamiento de la entrada al sedimentador:** La estructura de entrada consiste en una pantalla deflectora colocada a 1,00 m de la pared, provista de orificios distribuidos sobre el 90% de su altura

$$0,90 * 2,34 = 2,11 \text{ m}$$

$$H_f = 2,11 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de la velocidad de paso de agua ( $V_C$ ) por la pantalla deflectora:**

$$V_C = \frac{Q}{n * d * 0,9 * H}$$

$$V_C = \frac{0,024 \text{ m}^3}{2 * 1 \text{ m} * 0,9 * 2,34 \text{ m}}$$

$$V_C = 5,69 * 10^{-3} \text{ m/s}$$

➤ **Cálculo de orificios para pantalla deflectora:**

La distancia horizontal y vertical utilizada entre orificios se asume un valor de 0.30 m

✚ **Número de orificios horizontales:**

$$\frac{B}{0,3} = \frac{3,4}{0,3} = 11 \text{ orificios.}$$

✚ **Número de orificios verticales:**

$$\frac{H}{0,3} = \frac{2,11}{0,3} = 7 \text{ orificios}$$

**Número Total de orificios = Número de orificios horizontales \* Números de orificios verticales**

$$\text{Número de orificios totales} = 7 * 11 = 77$$

✚ **Área de cada orificio:**

$\Phi$  asumido de 0,05 m

$$r = 0,025$$

$$F_i = \Pi * r^2$$

$$F_i = \Pi * (0,025)^2$$

$$F_i = 1,96 * 10^{-3} \text{m}^2$$

➤ **Cálculo de radio y de diámetro hidráulico:**

**Radio Hidráulico:**

El número de sedimentadores a diseñarse es 2.

$$R_H = \frac{d * h}{d * 2 * h}$$

$$R_H = \frac{1 * 2,11}{1 * 2 * 2,11}$$

$$R_H = 0,5 \text{ m}$$

**Diámetro Hidráulico:**

$$D_H = \frac{4 * R_H}{4 * 0,2}$$

$$D_H = 2 \text{ m}$$

**Cálculo de caudal por cada orificio:**

$$Q_i = \frac{Q}{2 * \text{Numero total de orificios}}$$

$$Q_i = \frac{0,024}{2 * 77}$$

$$Q_i = 1,56 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

### Cálculo de nivel piezométrico:

$$Z = \left( \frac{Q_i}{u * F_i} \right) * \frac{1}{2 * g}$$

✚ Coeficiente de descarga = 0,50<sup>4</sup>

$$Z = \left( \frac{1,56 * 10^{-4}}{0,50 * 1,96 * 10^{-3}} \right) * \frac{1}{2 * 9,8}$$

$$Z = \left( \frac{1,56 * 10^{-4}}{0,50 * 1,96 * 10^{-3}} \right) * 0,051$$

$$Z = 8,82 * 10^{-3} \text{ m}$$

### Cálculo de Variación de Nivel Piezométrico

$$\Delta Z = \frac{V_c^2}{2g} \left( 1 - \frac{\gamma B}{3 * \Delta H} - \frac{1}{n} \right)$$

✚ Coeficiente de Fricción = 0,04<sup>5</sup>

$$\Delta Z = \frac{(5,69 * 10^{-3})^2}{2 * 9,8} \left( 1 - \frac{0,04 * 34}{3 * 2} - \frac{1}{77} \right)$$

$$\Delta Z = 1,18 * 10^{-6} \text{ m}$$

---

<sup>4</sup>[http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/\\_publicaciones/pdfs\\_libros/PDF](http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/_publicaciones/pdfs_libros/PDF)

<sup>5</sup>[http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/\\_publicaciones/pdfs\\_libros/PDF](http://www.unioviado.es/Areas/Mecanica.Fluidos/investigacion/_publicaciones/pdfs_libros/PDF)

### Cálculo de Variación del caudal de los orificios:

$$\Delta q = \sqrt{\frac{Z + (\Delta Z/2)}{Z - (\Delta Z/2)}} - 1$$

$$\Delta q = \sqrt{\frac{8,82 + 10^{-3} + (1,18 + 10^{-6}/2)}{8,82 + 10^{-3} - (1,18 + 10^{-6}/2)}} - 1$$

$$\Delta q = 1\%$$

*“Como  $\Delta q$  es menor al 5 % significa que el diámetro y el número de orificios asumido es el correcto, así como la separación entre la pared y la pantalla deflectora”* <sup>6</sup>

#### 3.2.2.10 Dimensionamiento de la estructura de salida del sedimentador

Para verificar si el número asumido de canaletas de recolección es correcto para la dimensión del sedimentador, se utiliza la siguiente condición.

$$W_1 < 5H'V_{sc}^7$$

➤ **Se asume los siguientes datos:**

Número de Canaletas: 2

Longitud: 2 m

Numero de Lados por Canaleta: a =2

Numero de vertederos / por canaleta:  $N_w = 2*7=14$  (7 por lado)

<sup>6</sup> Manual Técnico del Agua, Cuarta Edición, Ed. Degremont, Madrid –España 1979

<sup>7</sup> Manual Técnico del Agua, Cuarta Edición, Ed. Degremont, Madrid –España 1979

Vertedero Rectangular cuyo ancho:  $b= 0.25$  m

$$W_1 = \frac{Q}{N_c * a * l}$$

$$W_1 = \frac{0,024/2}{2 * 2 * 2}$$

$$W_1 = 1,5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ms}$$

➤ La altura a la salida del Sedimentador para una pendiente de fondo del 2% será:

$$H'=(H - 0,02 * L)$$

$$H'=(2,34 - 0,02 * 13,6)$$

$$H' = 2,07 \text{ m}$$

➤ **Cálculo de  $5H'V_{sc}$  :**

$$5H'V_{sc} = 5 * 2,07 \left( \frac{0,024/2}{3,4 * 13,6} \right)$$

$$5H'V_{sc} = 2,86 * 10^{-3}$$

**Según la condición:**

$$W_1 < 5H'V_{sc}$$

$$\text{Tenemos: } 1,5 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{ms} < 2,86 * 10^{-3}$$

*“Como  $W_1$  es menor a  $5H'V_{sc}$  se verifica que el número de canaletas, así como el número y dimensiones del vertedero es el correcto.”*

➤ **Cálculo del caudal de cada vertedero:**

$$Q_w = \frac{Q}{N_c * N_w}$$

$$Q_w = \frac{0.024/2}{2 * 14}$$

$$Q_w = 4,28 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

➤ **Cálculo de la altura del agua por encima de la cresta del vertedero rectangular:**

$$H_w = \left( \frac{4,28 * 10^{-4}}{1,83 * 0,15} \right)^{2/3}$$

$$H_w = 0,014 \text{ m}$$

### 3.2.3 REDISEÑO DEL PREFILTRO GRUESO ASCENDENTE

Debido a que no se verifica remoción gradual de materia fina y microorganismos en los prefiltros ascendentes y filtros lentos, se realiza el rediseño de los mismos.

**3.2.3.1 Cálculo del Área de filtración:** Por razones de operación, mantenimiento y lavado se realiza el diseño de 2 unidades de filtrado.

$$A = \frac{Q_d}{V_f}$$

El valor de la filtración se toma de la Tabla 1-9 teniendo una velocidad de  $0,6 \text{ m/s}$ .

Reemplazando tenemos:

$$A = \frac{0,012 \text{ m}^3/\text{s}}{0,6 \frac{\text{m}}{\text{h}}} * 3600$$

$$A = 72 \text{ m}^2$$

✚ **Considerando unidades cuadradas tenemos:**

$$L = 8,49 \text{ m}$$

$$B = 8,49 \text{ m}$$

La altura de la unidad del lecho filtrante estará en función a las alturas de cada capa de acuerdo a la Tabla 1-9.

**Tabla 3-1**  
**Componentes del Filtro Grueso Ascendente**

Componentes	Valores (m)
Altura del medio filtrante	0,9
Borde libre	0,3
Altura Total	1,2

Fuente: Autor

### 3.2.4 REDISEÑO DEL FILTRO LENTO DE ARENA

#### 3.2.4.1 Cálculo del Área de Filtración:

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

✚  $V_f$  se toma de la TABLA 1-11 teniendo un valor de  $0,3 \text{ m/h}$

Reemplazando:

$$A = \frac{0,024 \text{ m}^3/\text{s}}{8,33 * 10^{-5} \text{ m/h}}$$

$$A = 288 \text{ m}^2$$

#### 3.2.4.2 Cálculo del número de Filtros:

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

$$n = 0,5 * \sqrt[3]{288}$$

$$n = 3$$

#### 3.2.4.3 Cálculo del área para cada unidad:

$$A_i = \frac{A}{n}$$

$$A = \frac{288\text{m}^2}{3}$$

$$A = 96 \text{ m}^2$$

### 3.2.4.4 Cálculo de dimensiones de filtro:

✚ **Calculo de la longitud de la pared común por unidad (m):**

$$a = \left( \frac{2 * n * A_i}{2 * 1} \right)^{0.5}$$

$$a = \left( \frac{2 * 3 * 96}{2 * 1} \right)^{0.5}$$

$$a = 16,9 \text{ m}$$

✚ **Ancho de la unidad en (m):**

$$b = \left( \frac{(n + 1)A_i}{2 * n} \right)^{0.5}$$

$$b = \left( \frac{(3 + 1)96}{8} \right)^{0.5}$$

$$b = 6,92 \text{ m}$$

✚ La altura total se determinara en base a las alturas parciales, indicadas en la Tabla 1-11

**Tabla 3-2**  
**Componentes del Filtro Lento de Arena**

<b>Componentes</b>	<b>Valores (m)</b>
Altura del lecho (soporte incluye drenaje)	0,25
Altura del Sobrenadante	0,8
Borde Limite	0,10

Fuente: Autor

### 3.3 RESULTADOS

#### 3.3.1 MEDIDOR DE CAUDAL PARSHALL

**Tabla 3-3**  
**Resultados del Medidor Parshall**

CÁLCULOS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Sumergencia máxima	S	0,6	m/m
Ancho de la garganta	W	0,229	M
Altura de la cresta	Ha	0,132	M
Altura de agua sobre la garganta	Hb	0,079	M
Pérdida de carga	P	0,22	M
Dimensiones estandarizadas de secciones de canal de acuerdo con Anexo H		Para W = 0,229	

Fuente: Autor

#### 3.3.2 SEDIMENTADORES CLÁSICOS

**TABLA 3-4**

**Resultados de sedimentadores clásicos**

CÁLCULOS	SIMBOLO	VALOR	UNIDADES
Número de sedimentadores	N	2	
Volumen del sedimentador	V	216	m <sup>3</sup>
Tiempo de sedimentación	T	2,5	H
Velocidad del sedimentación	V <sub>S</sub>	0,34	mm/s
Velocidad de Sedimentación Crítica	V <sub>SC</sub>	0,26	mm/s
Altura del sedimentador	H	2,34	m
Longitud del sedimentador	L	13,6	m
Ancho del sedimentador	B	3,4	m
Velocidad de escurrimiento	V <sub>h</sub>	3,017*10 <sup>-3</sup>	m/s
Velocidad de arrastre de las partículas	V <sub>a</sub>	1,58	m/s
Volumen diario de lodos	V <sub>1-24h</sub>	32.83	m <sup>3</sup> /s
Altura de pantalla deflectora	H <sub>f</sub>	2,11	m
Velocidad de paso de agua por deflector	V <sub>C</sub>	5,69*10 <sup>-3</sup>	m/s
Número de orificios para deflector		77	
Diámetro de cada orificio de deflector	Φ	0,05	m
Número de Canaletas de salida		2	
Longitud de canaleta		2	m
Número de vertederos por canaleta	N <sub>w</sub>	14	
Caudal de cada vertedero	Q <sub>w</sub>	4,28*10 <sup>-4</sup>	m <sup>3</sup> /s

Fuente: Autor

### 3.3.3 FILTROS GRUESOS ASCENDENTES

**TABLA 3-5**

**Resultados de filtros gruesos ascendentes**

<b>CÁLCULOS</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Número de filtros totales	N	2	
Velocidad de filtración	$V_f$	0,6	m/h
Longitud y Base	L, b	8,49	m
Altura	H	1,2	m

Fuente: Autor

**TABLA 3-6**

**Lecho para filtros gruesos ascendente**

<b>Grava (mm)</b>	<b>Altura (m)</b>
19-25	0,2
13-19	0,2
6-13	0,2
3-6	0,2
Soporte	0,1

Fuente: Autor

### 3.3.4 FILTROS LENTOS

**TABLA 3-7**

**Resultados de filtros lentos**

<b>CÁLCULOS</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Número de filtros totales	N	3	
Velocidad de filtración	$V_f$	0,3	m/h
Longitud	L	16,9	m
Ancho	B	6,92	m
Altura total	H	1,90	m

Fuente: Autor

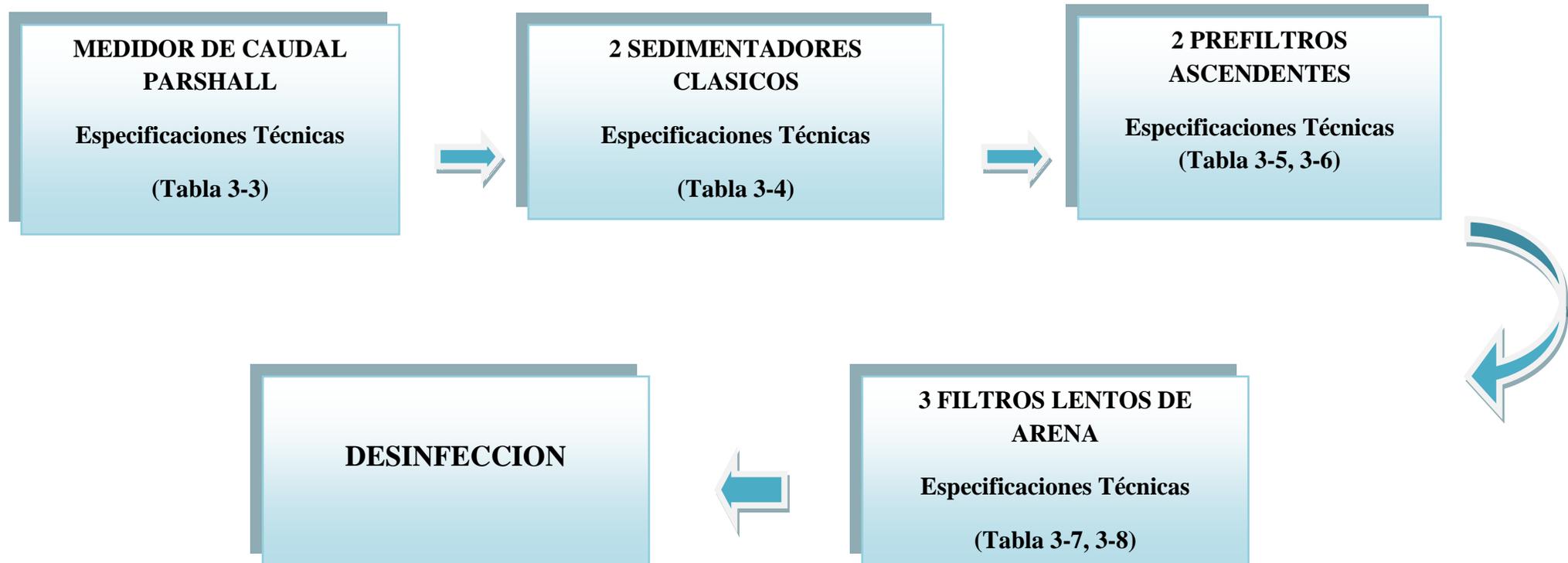
**TABLA 3-8**

**Lecho para filtros lentos de arena**

<b>Lecho</b>	<b>Diámetro (mm)</b>	<b>Altura (m)</b>
Grava Gruesa	1,2	0,3
Arena de filtro	0,22	0,9

Fuente: Autor

**3.4 PROPUESTA:** La propuesta que se realiza para el rediseño de la planta de tratamiento de agua potable para la parroquia San Pablo del Lago se fundamenta en los resultados de los análisis efectuados tanto al agua cruda como tratada y en los requerimientos de la planta como es un Medidor de Caudales a la entrada de la misma. En el diseño propuesto se tiene en consideración el número de habitantes que es menor a 10000 habitantes.

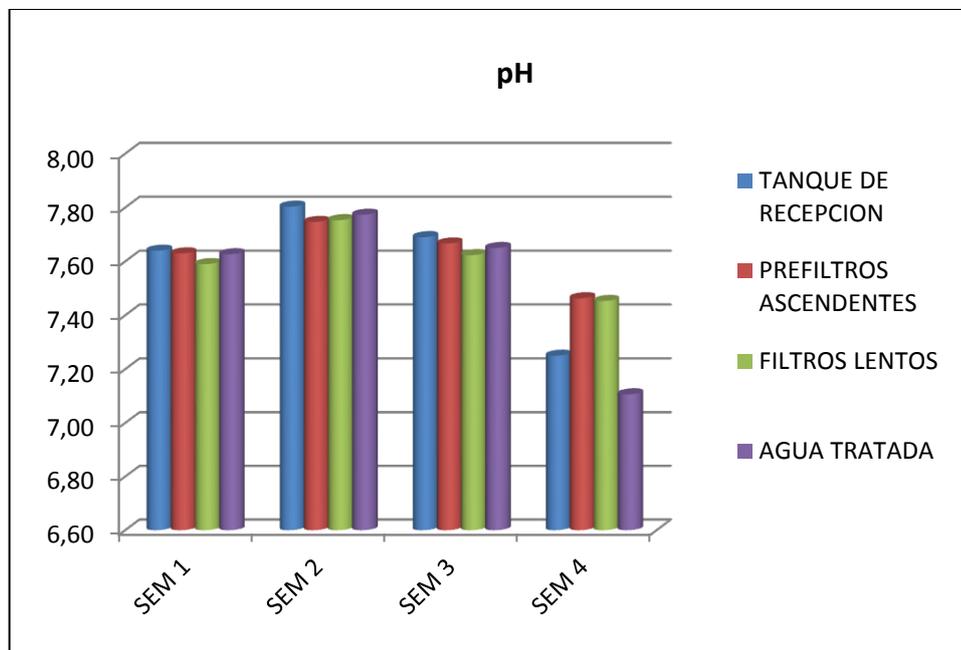


### 3.5 ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS

**TABLA 3-9**

**Resultados promedios de pH en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	7,64	7,80	7,69	7,25
PREFILTROS ASCENDENTES	7,63	7,75	7,67	7,46
FILTROS LENTOS	7,59	7,75	7,62	7,45
AGUA TRATADA	7,63	7,77	7,65	7,11



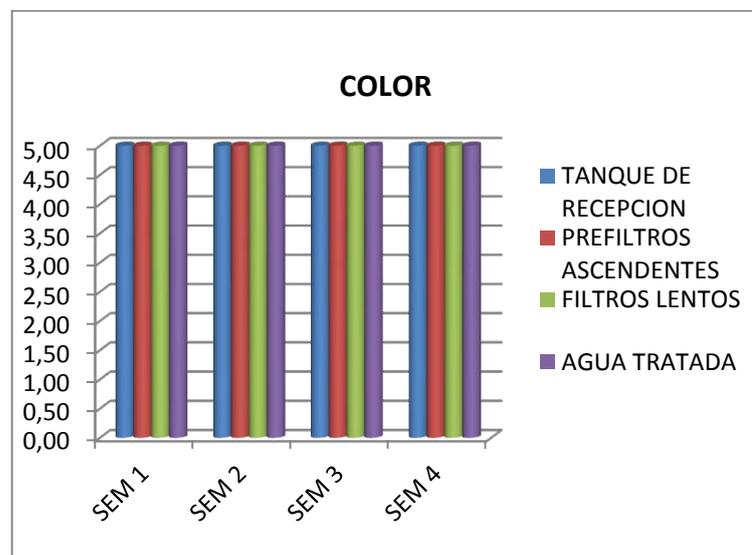
**Fig. 3-1 Resultados promedios de pH en las etapas de tratamiento**

El análisis de PH de las cuatro etapas del tratamiento de agua correspondientes a las cuatro semanas se encuentra dentro de los límites permisibles de la Norma INEN 1108 para agua potable.

**TABLA 3-10**

**Resultados promedios del color en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	5,00	5,00	5,00	5,00
PREFILTROS ASCENDENTES	5,00	5,00	5,00	5,00
FILTROS LENTOS	5,00	5,00	5,00	5,00
AGUA TRATADA	5,00	5,00	5,00	5,00



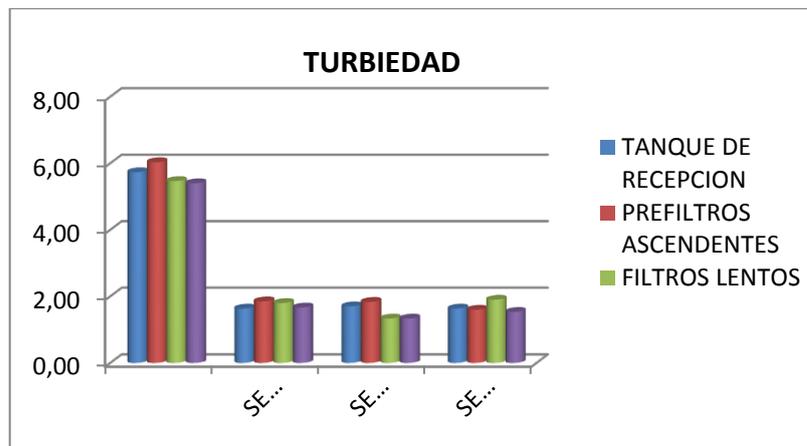
**Fig. 3-2 Resultados promedios de pH en las etapas de tratamiento**

Como se puede ver en la figura no existe ninguna variación de color durante el proceso de tratamiento de agua el valor obtenido en el mes de análisis siempre fue de 5 este se encuentra dentro del límite permisible de la Norma INEN 1108, pero el agua tuviese una mejor calidad si este valor bajara durante el proceso lo que nos da como resultado que los proceso de tratamiento de la planta actual no están funcionando con eficacia.

**TABLA 3-11**

**Resultados promedios de turbiedad en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	5,73	1,63	1,70	1,63
PREFILTROS ASCENDENTES	6,03	1,85	1,83	1,60
FILTROS LENTOS	5,47	1,80	1,33	1,90
AGUA TRATADA	5,40	1,67	1,33	1,53



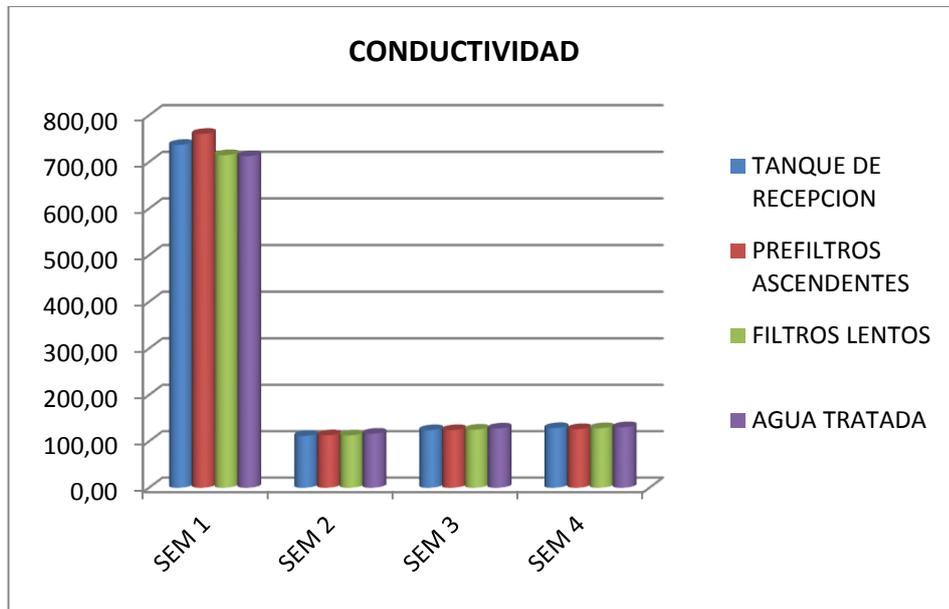
**Fig. 3-3 Resultados promedios de turbiedad en las etapas de tratamiento**

Los resultados de los análisis de turbiedad de la primera semana como se ve en la figura no se encuentran dentro de los límites permisibles de la Norma INEN 1108, durante la recolección de estas muestras se tuvieron lluvias moderadas que arrastraron material fino por las tuberías de transporte que a su vez se encuentran en mal estado. Los resultados de los análisis de agua tratada en las semanas dos, tres y cuatro se encuentran dentro de los límites permisibles se observa en la figura 3-3 que no existe remoción de material fino desde la recepción del agua hasta la salida después de haber pasado por los procesos de tratamiento observando la deficiencia del sistema de filtración ya que según la tabla 1-8, la eficiencia típica para la filtración idónea está entre el 50 al 80% resultado que no se alcanza durante el tratamiento, cabe recalcar que no existe un tratamiento previo a la filtración lo que ocasiona obstrucciones en los mismos.

**TABLA 3-12**

**Resultados promedios de conductividad en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	736,67	111,90	124,13	128,57
PREFILTROS ASCENDENTES	760,33	113,07	124,30	126,33
FILTROS LENTOS	714,67	112,90	125,30	128,40
AGUA TRATADA	712,33	116,60	127,80	130,53



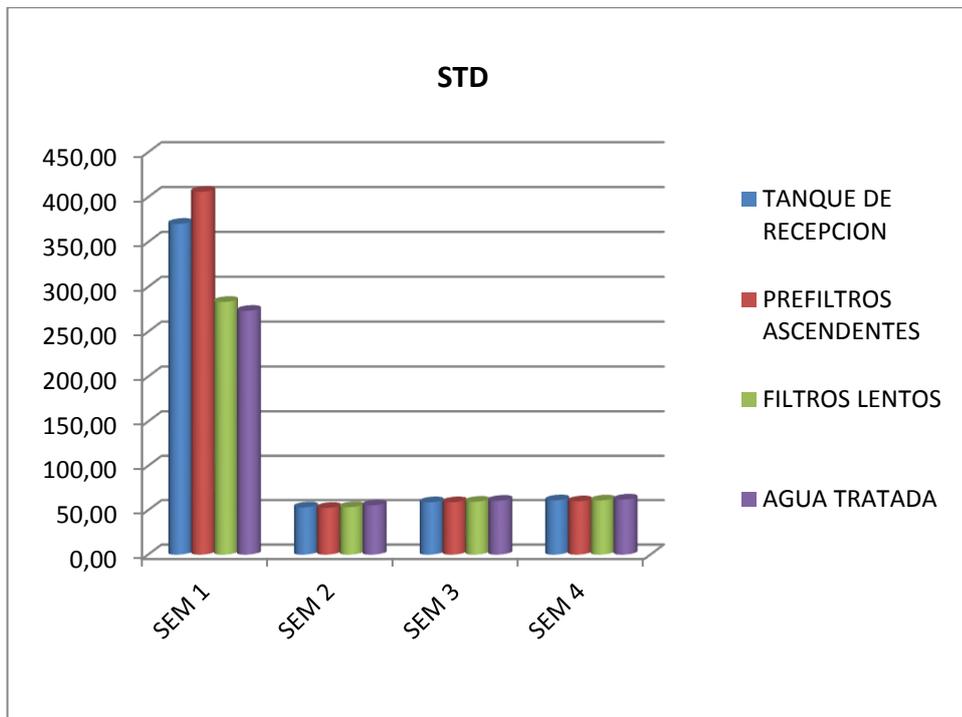
**Fig. 3-4 Resultados de conductividad en las etapas de tratamiento**

Los resultados de los análisis de conductividad de las cuatro semanas de las etapas de tratamiento indican que no existe remoción gradual resultados que se relacionan a los obtenidos en la turbiedad.

**TABLA 3-13**

**Resultados promedios de STD en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	370,33	53,27	59,03	61,20
PREFILTROS ASCENDENTES	406,00	52,67	59,03	60,10
FILTROS LENTOS	283,33	53,53	59,63	61,10
AGUA TRATADA	273,33	55,53	60,80	62,13



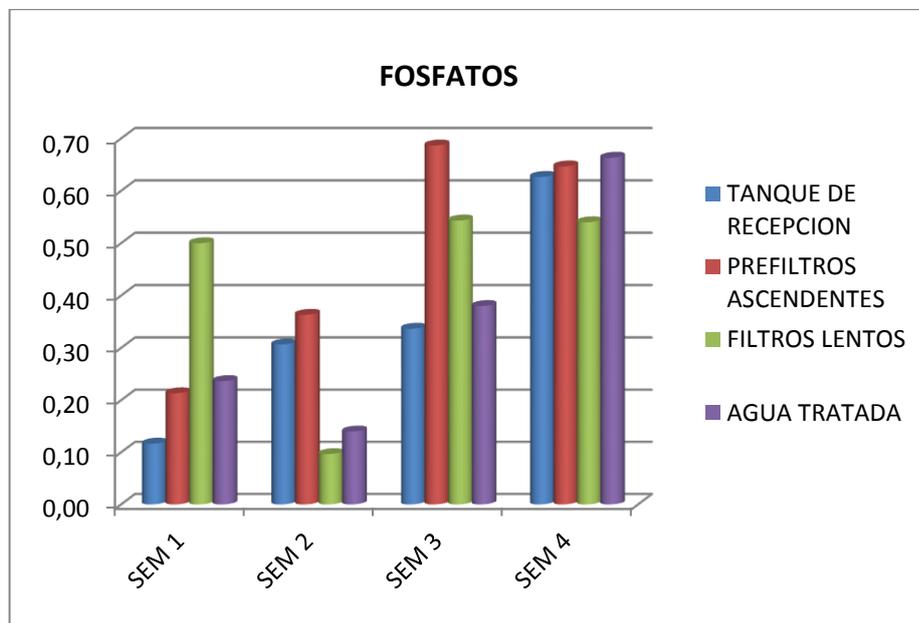
**Fig. 3-5 Resultados de STD en las etapas de tratamiento**

Los resultados de los análisis de STD de la primera semana son altos pero se encuentran dentro de la Norma INEN 1108 al igual que los resultados de las semanas dos tres y cuatro, según la Fig. 3.4 no se observa disminución progresiva durante el proceso de potabilización de STD.

**TABLA 3-14**

**Resultados promedios de fosfatos en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,12	0,31	0,34	0,63
PREFILTROS ASCENDENTES	0,21	0,36	0,69	0,65
FILTROS LENTOS	0,50	0,10	0,54	0,54
AGUA TRATADA	0,24	0,14	0,38	0,66



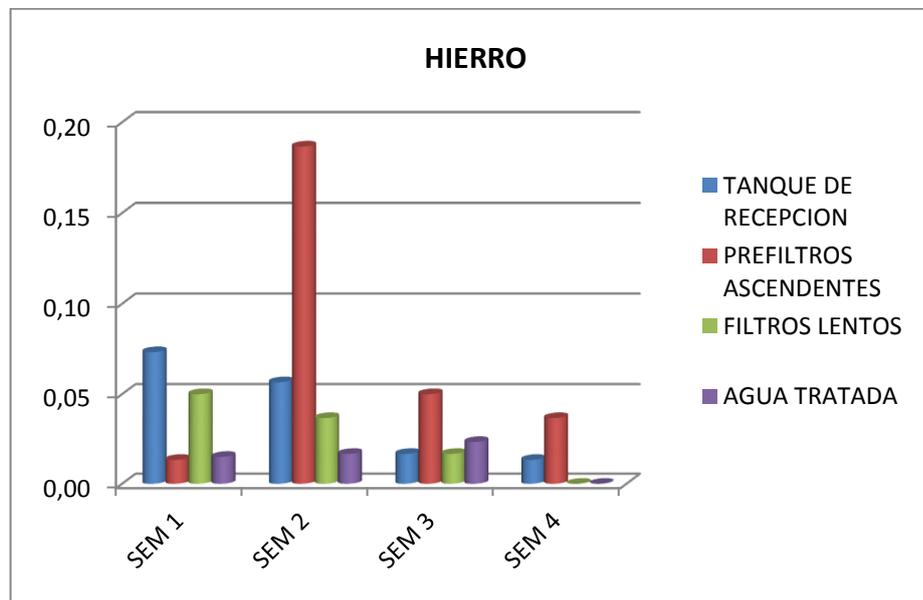
**Fig. 3-6 Resultados de fosfatos en las etapas de tratamiento**

Los resultados de los análisis de fosfatos de todas las semanas no se encuentran dentro del límite permisible que da la Norma INEN 1108. El incremento de la concentración de fosfatos en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas.

**TABLA 3-15**

**Resultados promedios de hierro en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,07	0,06	0,02	0,01
PREFILTROS ASCENDENTES	0,01	0,19	0,05	0,04
FILTROS LENTOS	0,05	0,04	0,02	0,00
AGUA TRATADA	0,02	0,02	0,02	0,00



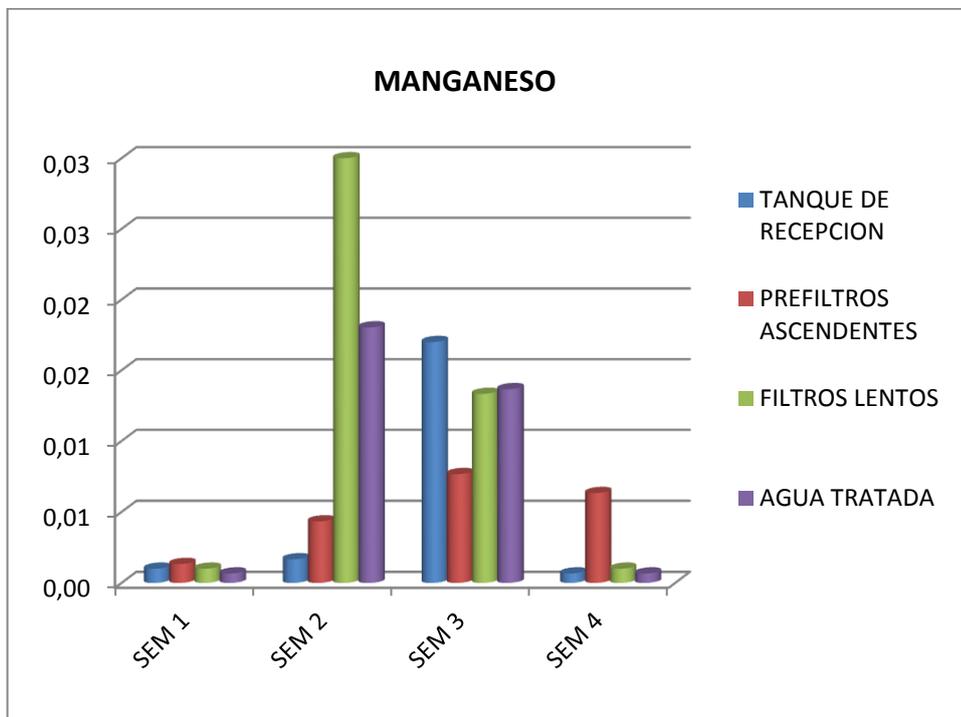
**Fig. 3-7 Resultados de hierro en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis de Hierro, las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran por debajo del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-16**

**Resultados promedios de manganeso en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,00	0,00	0,02	0,00
PREFILTROS ASCENDENTES	0,00	0,00	0,01	0,01
FILTROS LENTOS	0,00	0,03	0,01	0,00
AGUA TRATADA	0,00	0,02	0,01	0,00



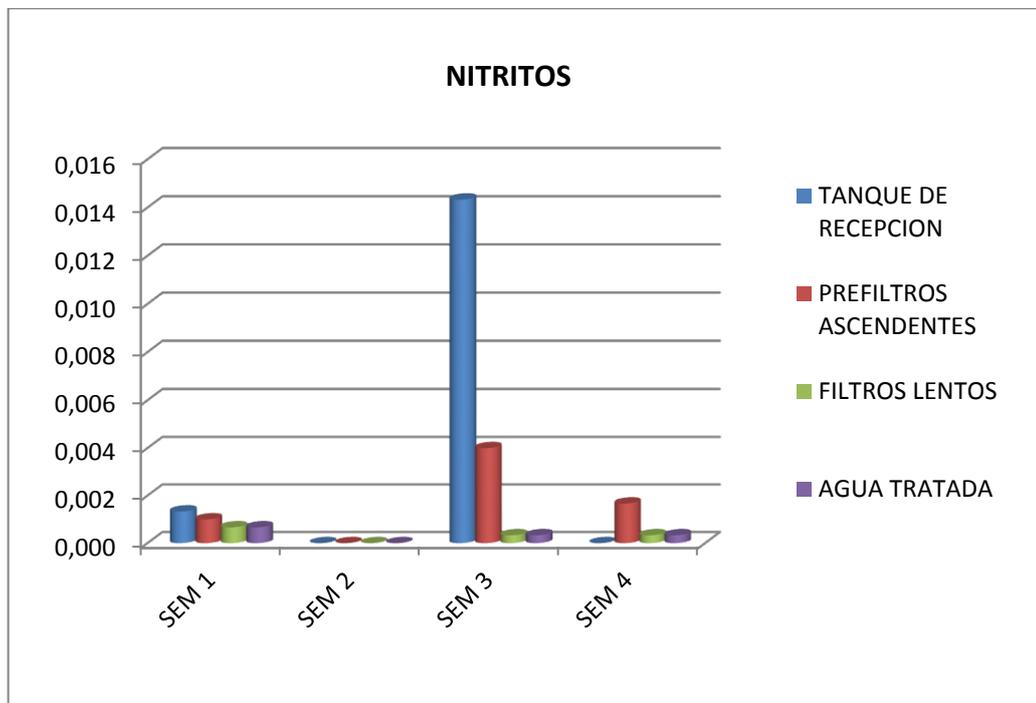
**Fig. 3-8 Resultados de manganeso en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis de manganeso, de las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran dentro del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-17**

**Resultados promedios de nitritos en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,001	0,00	0,014	0,00
PREFILTROS ASCENDENTES	0,001	0,00	0,004	0,002
FILTROS LENTOS	0,001	0,00	0,00	0,00
AGUA TRATADA	0,001	0,00	0,00	0,00



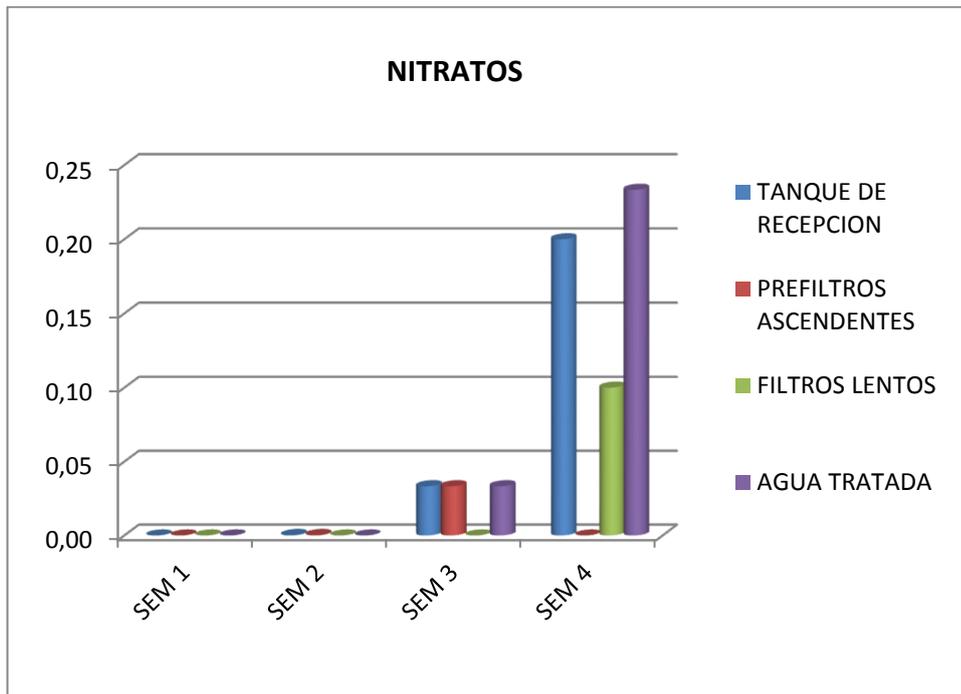
**Fig. 3-9 Resultados de nitritos en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis nitritos, de las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran por debajo del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-18**

**Resultados promedios de nitratos en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,00	0,00	0,03	0,20
PREFILTROS ASCENDENTES	0,00	0,00	0,03	0,00
FILTROS LENTOS	0,00	0,00	0,00	0,10
AGUA TRATADA	0,00	0,00	0,03	0,23



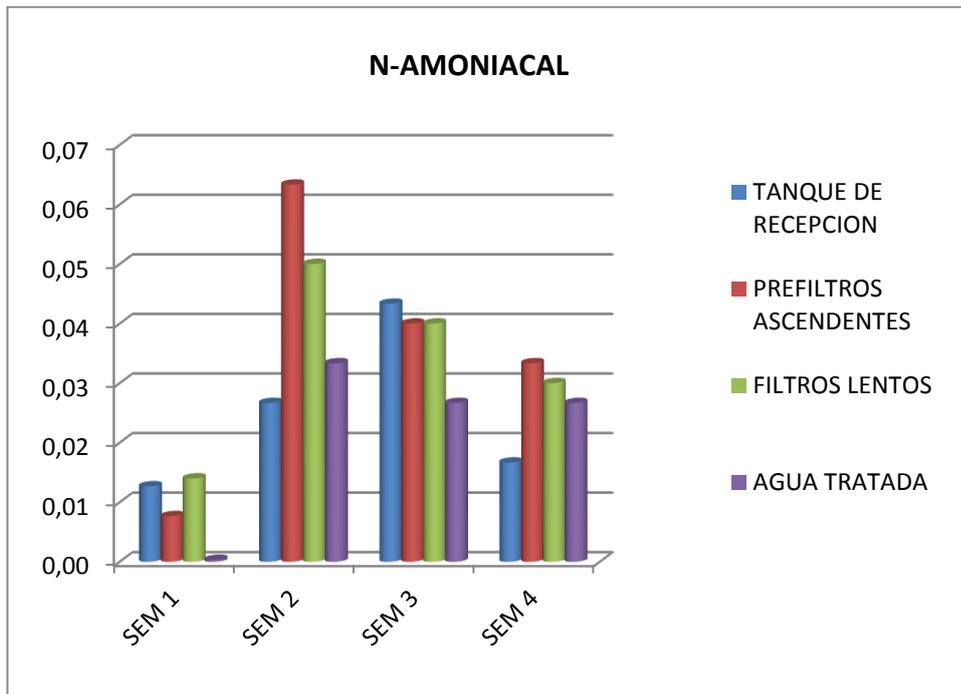
**Fig. 3-10 Resultados de nitratos en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis de nitratos, las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran por debajo del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-19**

**Resultados promedios de n-amoniaco en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	0,01	0,03	0,04	0,02
PREFILTROS ASCENDENTES	0,01	0,06	0,04	0,03
FILTROS LENTOS	0,01	0,05	0,04	0,03
AGUA TRATADA	0,00	0,03	0,03	0,03



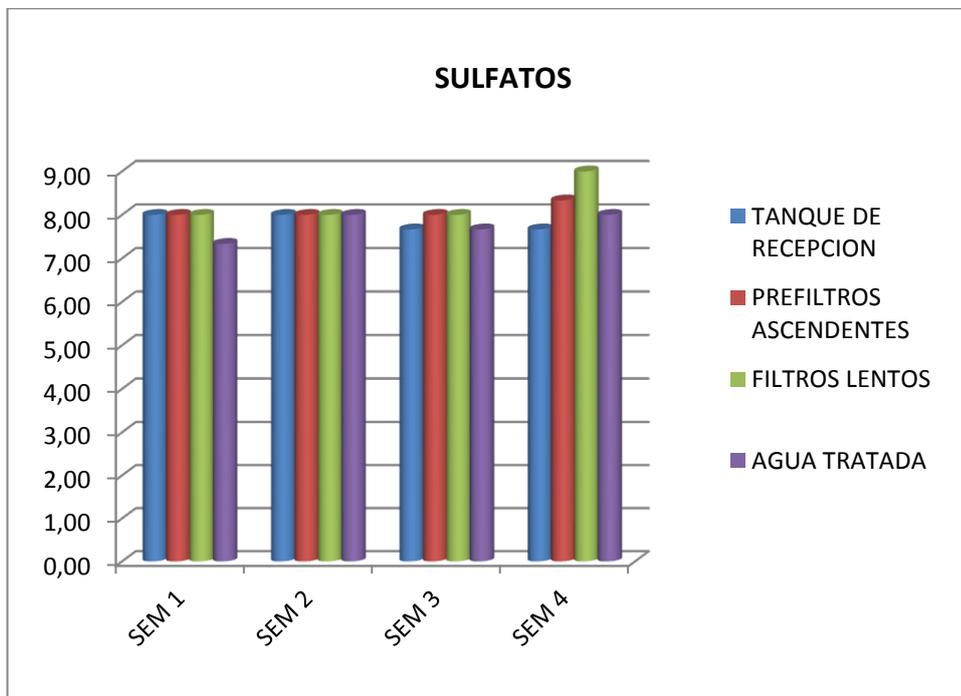
**Fig. 3-11 Resultados de n-amoniaco en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis de N- Amoniaco de las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran por debajo del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-20**

**Resultados promedios de sulfatos en las etapas de tratamiento**

PROCESO	SEM 1	SEM 2	SEM 3	SEM 4
TANQUE DE RECEPCION	8,00	8,00	7,67	7,67
PREFILTROS ASCENDENTES	8,00	8,00	8,00	8,33
FILTROS LENTOS	8,00	8,00	8,00	9,00
AGUA TRATADA	7,33	8,00	7,67	8,00



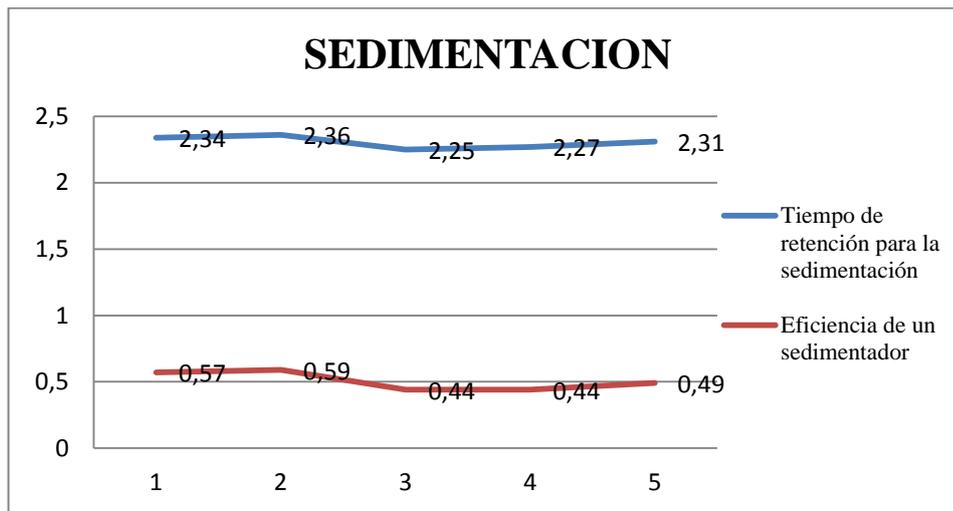
**Fig. 3-12 Resultados de sulfatos en las etapas de tratamiento**

Según los resultados de los análisis de sulfatos de las cuatro semanas de las etapas de tratamiento de agua se encuentran dentro del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

**TABLA 3-21**

**Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad después del Tratamiento de Sedimentación**

<b>N. DE PRUEBA</b>	<b>Tiempo de Retención para la sedimentación (HORAS)</b>	<b>TURBIEDAD (Agua Cruda) NTU</b>	<b>TURBIEDAD (Agua Tratada) NTU</b>	<b>EFICIENCIA</b>
1	2,34	5,6	2,4	0,57
2	2,36	6,8	2,8	0,59
3	2,25	4,3	2,4	0,44
4	2,27	5,2	2,9	0,44
5	2,31	6,1	3,1	0,49



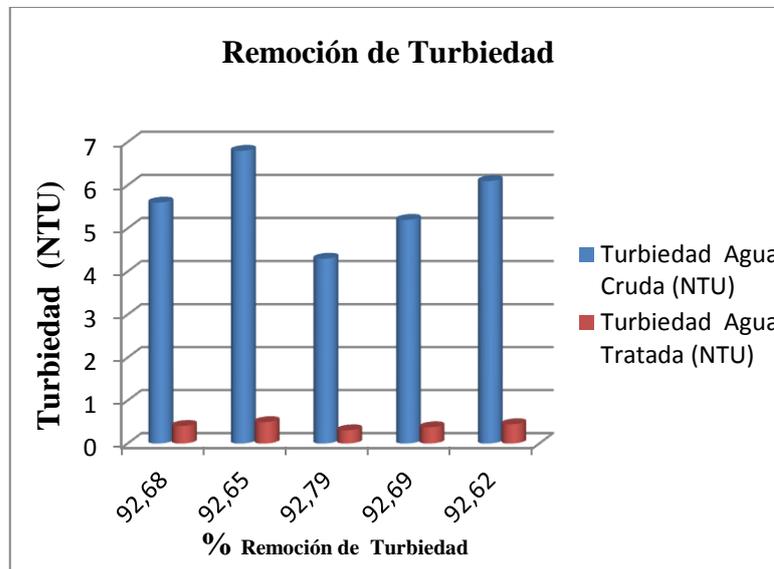
**Fig. 3-13 Resultados de la Remoción de Turbiedad**

La implementación de un pretratamiento al sistema de filtración mejora considerablemente la calidad del agua como se indica en la figura existe una considerable remoción de turbiedad después de que el agua paso por el proceso de sedimentación lo que demuestra la eficiencia del sedimentador como se indica en la figura

**TABLA 3-22**

**Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad**

Muestra	Limite Permissible (NTU)	Turbiedad Agua Cruda (NTU)	Turbiedad Agua Tratada (NTU)	% de Remoción
1	5	5,6	0,41	92,68%
2	5	6,8	0,5	92,65%
3	5	4,3	0,31	92,79%
4	5	5,2	0,38	92,69%
5	5	6,1	0,45	92,62%



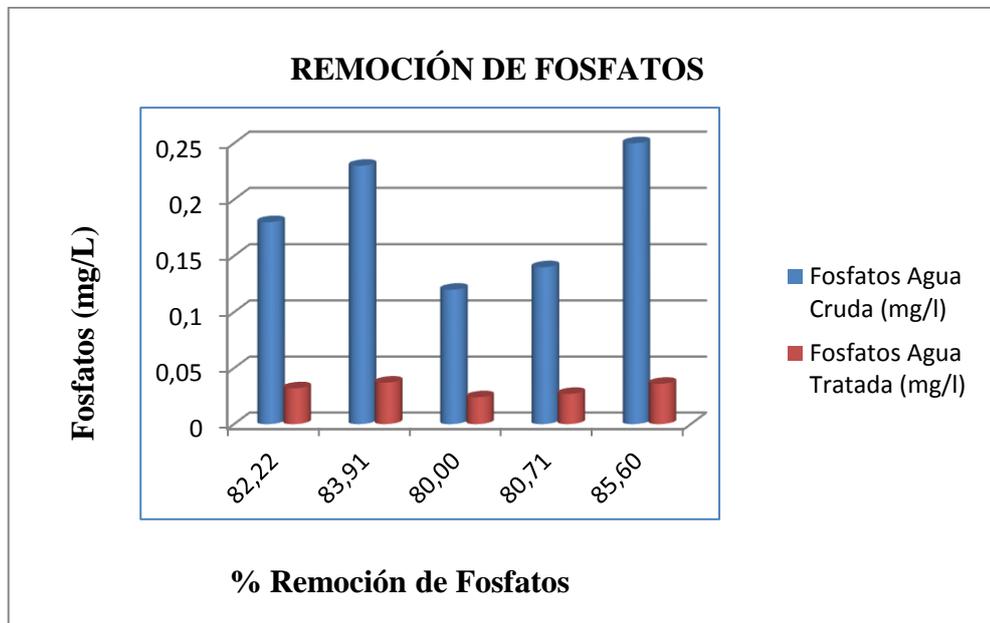
**Fig. 3-14 Resultados de los porcentajes de Remoción de Turbiedad**

La implementación de un pretratamiento al sistema de filtración mejora considerablemente la calidad del agua como se indica en la figura existe una diferencia significativa entre los valores del agua cruda con respecto al agua tratada, las muestras se tomaron en días lluviosos obteniendo valores altos de turbiedad, posterior a las pruebas de tratabilidad realizadas a nivel de laboratorio se logró bajar esta turbiedad a valores que se encuentran dentro del Límite Permissible de la Norma INEN. La implementación de un pre tratamiento al sistema de filtración mejora considerablemente la calidad del agua.

**TABLA 3-23**

**Resultados de los porcentajes de Remoción de Fosfatos**

Muestra	Limite Permissible (mg/L)	Fosfatos Agua Cruda (mg/L)	Fosfatos Agua Tratada (mg/L)	% de Remoción
1	0,1	0,18	0,032	82,22%
2	0,1	0,23	0,037	83,91%
3	0,1	0,12	0,024	80,00%
4	0,1	0,14	0,027	80,71%
5	0,1	0,25	0,036	85,60%



**Fig. 3-15 Resultados de los porcentajes de Remoción de Fosfatos**

Para disminuir el contenido de fosfatos en el agua se procedió añadir sulfato de cobre, la dosis que se usaba en el tratamiento de agua actual era de 3 mL/L mediante pruebas de laboratorio se pudo verificar que esta dosis no era la idónea. Como se indica en la tabla 2-47, 2-48, 2-49 se utilizaron dosis nuevas de 4 y 5 mL/L se obtuvo resultados idóneos con la dosis de 5 mL/L y obteniéndose valores de fosfatos en el agua por debajo del límite permisible que da los Requisitos de la Norma INEN 1108 de agua potable.

## DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- ❖ La recolección de muestras de la primera semana coincidió con moderadas precipitaciones, dándonos como resultado los valores de la tabla 3-11, 3-12 y 3-13 valores altos de turbiedad, conductividad y STD, escenario que se agrava en época de invierno y provoca la obstrucción de los filtros, por la falta de un pretratamiento al sistema de filtración, como es la sedimentación. Según las Figs. 3-3, 3-4 y 3-5 correspondientes a turbiedad, conductividad y STD, se evidencia claramente que en las etapas de prefiltración ascendente y filtración lenta, no se registra una remoción gradual de material fino, pues los valores de estos parámetros en el agua cruda son iguales a los de agua tratada, indicándonos la ineficiencia de los mismos.
  
- ❖ Los resultados de los análisis de fosfatos de todas las semanas no se encuentran dentro del límite permisible que da la Norma INEN 1108 como se puede observar en la fig.3-6 El incremento de la concentración de fosfatos en las aguas superficiales aumenta el crecimiento de organismos dependientes del fósforo, como son las algas, provocando la disminución considerable de la calidad de agua que va ser distribuida a la población.
  
- ❖ Según los resultados de los análisis de hierro, manganeso, nitritos, nitratos, N-amoniaco y sulfatos de las cuatro semanas tabla 3-15, 3-16, 3-17, 3-18, 3-19. 3-20 de las etapas de tratamiento de agua se encuentran dentro del límite permisible que da la Norma INEN 1108 de requisitos de Agua Potable.

- ❖ Se tiene la presencia de unidades representativas de coliformes termoresistentes durante las etapas de tratamiento, según Tabla 2-41, 2-42 y 2-44, 2-45 los lechos de grava de la pre-filtración ascendente y arena de la filtración lenta presentan índices de acidez que no destruyen los coliformes termoresistentes situación que se ve mejorada en la desinfección con hipoclorito de sodio.
  
- ❖ Los resultados obtenidos nos permitieron visualizar la deficiencia de la planta y el necesario rediseño de la misma, se tomó en cuenta para el dimensionamiento el número de habitantes que es menor a 10000 personas pertenecientes a una parroquia rural, se midió el caudal máximo de tratamiento de 24 L/s ya que no existía ningún tipo de historial sobre el mismo, también se tomó en cuenta las necesidades de la planta como es un Medidor de Caudales a la entrada de la planta de tratamiento de agua potable se procedió a realizar los cálculos de ingeniería teniendo los resultados en la tabla 3-3, Se diseñó 2 Sedimentadores proceso que se efectuara antes del sistema de filtración resultados que se presentan en la tabla 3-4, se rediseñaron los prefiltros ascendentes y los filtros lentos que se encuentran actualmente en la planta teniendo como resultado nuevas dimensiones que se presentan en la tabla 3-5, 3-7, y diferente repartición del lecho de los filtros como se ve en las tabla 3-6, 3-8.
  
- ❖ La implementación de un previo tratamiento al sistema de filtración mejora considerablemente la calidad del agua como se indica en las tablas 3-21, 3-22, 3-23, además el cambio de lecho, su mejor distribución, la operación y el mantenimiento del mismo permiten mejorar la calidad de agua que se va a

distribuir a la población sobre todo en el parámetro que corresponde a la turbiedad.

- ❖ Como se ve en la figura 3-6 existe un claro crecimiento de fosfatos pese a la adición de sulfato de cobre a los filtros lentos. Se pudo constatar mediante pruebas de laboratorio que la dosis que estaba siendo colocada de 3 mL/s no era la correcta, después de haber realizado pruebas de tratabilidad se obtuvo que la dosis que permitía que este parámetro se encuentre por debajo del rango del límite permisible de la Norma INEN 1108 era de 5 mL/s como se puede apreciar en la fig. 3-15.

**CAPITULO IV**  
**CONCLUSIONES Y**  
**RECOMENDACIONES**

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **4.1 CONCLUSIONES**

- ❖ Se propone un rediseño del sistema de tratamiento de agua potable en la Parroquia San Pablo del Lago mediante la implementación de nuevas infraestructuras que constan de un medidor de caudal parshall a la entrada de la planta de tratamiento de agua potable, 2 sedimentadores clásicos, 2 Filtros ascendentes, 3 filtros de arena.
  
- ❖ El diagnóstico del estado actual de la planta permitió identificar que el agua presentaba problemas de turbiedad y fosfatos ya que los valores obtenidos de estos se encontraban fuera del límite permisible de la Norma INEN 1108, para turbiedad 5 NTU y para fosfatos 0,1 mg/L parámetros que varía de acuerdo a la frecuencia e intensidad de las lluvias, condiciones que han provocado la inconformidad de los usuarios.
  
- ❖ Se efectuaron pruebas de tratabilidad en el laboratorio donde se verificó la remoción de la turbiedad en un alto porcentaje 92,63 % ,ya que con ayuda de una sedimentación antes de ingresar al sistema de filtración se pudo ver que no existió obstrucción por lo tanto el agua tenía un flujo constante, en lo referente a fosfatos se cambió la dosis de sulfato de cobre de 3 a 5 mg/L dosis que se seguirá añadiendo a los filtros lentos, obteniendo un porcentaje de remoción de 82,49 % y obteniendo valores que se encuentran dentro de los parámetros de la Norma INEN 1108.

- ❖ Se rediseño un sistema óptimo de tratamiento de aguas implementando un medidor de caudales que nos permitirá tener un registro del caudal de entrada a la planta de tratamiento, después de haber realizado las pruebas de tratabilidad se puede concluir que el sistema de tratamiento que se propone es el idóneo y que se debe implementar.
  
- ❖ Se dimensiona un sistema adecuado para un caudal correspondiente a 24 L/s, consta de un medidor de caudal parshall con un ancho de la garganta  $W = 0,229\text{m}$ , altura de la cresta sobre la garganta  $H_a = 0,132\text{ m}$ , altura del agua sobre la garganta  $H_b = 0,079\text{ m}$ . Dos sedimentadores con una velocidad de sedimentación crítica  $V_{sc} = 0,26\text{ mm/s}$ , una velocidad de escurrimiento  $V_h = 3,017 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$ , una velocidad de arrastre  $V_a = 1,58\text{ m/s}$ , y con las siguientes dimensiones: altura  $H = 2,34\text{ m}$ , longitud  $L = 13,6\text{ m}$ , ancho del sedimentador  $B = 3,4\text{ m}$ . Dos prefiltros ascendentes con una velocidad de filtración de  $V_f = 0,6\text{ m/h}$ . y tres filtros lentos con una velocidad de filtración de  $V_f = 0,3\text{ m/h}$ .

## 4.2 RECOMENDACIONES

- ❖ Aplicar el estudio de rediseño realizado para corregir el tratamiento del actual proceso, al implementar un sedimentador que servirá para eliminar impurezas que enturbian el agua, ya que actualmente estas impurezas entran directamente al sistema de filtración provocando la obstrucción de los mismos mayoritariamente durante la época lluviosa, lo que provoca el corte del suministro y una baja calidad de agua distribuida al consumidor final.
  
- ❖ Realizar la limpieza de los lechos de los filtros por retrolavado y con agua a presión, evitando el uso de cloro para su limpieza, debemos evitar que el prefiltro este vacío durante mucho tiempo, porque el material adherida se compacta y el lavado hidráulico posterior resulta menos eficaz.
  
- ❖ Clasificar la granulometría de los lechos, distribución que irá en contracorriente con el agua suministrada.
  
- ❖ Reparar las grietas en las paredes de la estructura de los filtros.
  
- ❖ Si el nivel del agua en el filtro lento de arena se eleva hasta el rebose significa que el lecho de arena se encuentra obstruido y hay que limpiarlo

- ❖ Realizar el cambio de tubería de transporte rota de agua recolectada desde la vertiente a la planta por presentar contaminación y pérdida de caudal.
  
- ❖ Los encargados de la Operación de la Planta de Tratamiento deben estar capacitados adecuadamente en el manejo del sistema.

## RESUMEN

El rediseño de la planta de tratamiento de agua potable en la parroquia San Pablo del Lago, cantón Otavalo, provincia de Imbabura, pretende la implementación de nuevas estructuras de tratamiento.

El muestreo del agua se realizó sistemáticamente durante 4 semanas, en cada proceso de la planta de tratamiento actual, con la finalidad de realizar análisis físico-químicos y microbiológicos de esta manera verificar el estado actual de la planta donde se identificó que el agua presentaba problemas de turbiedad y fosfatos ya que los valores obtenidos de estos se encontraban fuera del límite permisible de la Norma INEN 1108, para turbiedad 5 NTU y para fosfatos 0,1 mg/L. Los análisis de caracterización se realizaron en el Laboratorio de Agua Potable del Municipio de Otavalo utilizando métodos analíticos.

Los resultados de la investigación que se realizó, en diferentes condiciones climáticas permitieron establecer que el rediseño constara de: un medidor de caudal parshall con un ancho de la garganta  $W = 0,229\text{m}$ , altura de la cresta sobre la garganta  $H_a = 0,132\text{ m}$ , altura del agua sobre la garganta  $H_b = 0,079\text{ m}$ . Dos sedimentadores con una velocidad de sedimentación crítica  $V_{sc} = 0,26\text{ mm/s}$ , una velocidad de escurrimiento  $V_h = 3,017 \cdot 10^{-3}\text{ m/s}$ , una velocidad de arrastre  $V_a = 1,58\text{ m/s}$ , y con las siguientes dimensiones: altura  $H = 2,34\text{m}$ , longitud  $L = 13,6\text{ m}$ , ancho del sedimentador  $B = 3,4\text{m}$ . Dos prefiltros ascendentes con una velocidad de filtración de  $V_f = 0,6\text{ m/h}$ . y tres filtros lentos con una velocidad de filtración de  $V_f = 0,3\text{ m/h}$ .

Después de realizar pruebas piloto en el laboratorio da como resultado las siguientes características: turbiedad 0,41 NTU y fosfatos 0,031 mg/L, parámetros que se encuentra dentro de la normativa establecida. De manera que se logró mejorar la eficiencia de la planta de tratamiento y la calidad de agua suministrada a la población de San Pablo del Lago.

Concluyendo que el sistema de tratamiento propuesto es el más idóneo para conseguir el mejoramiento de la calidad de agua que será suministrada a la población de San Pablo del Lago.

Se recomienda la construcción de las nuevas estructuras propuestas en el presente estudio, para dotar a la población de agua que cumpla con la Norma INEN 1108 referente a Requisitos de Agua Potable.

## SUMMARY

The redesign of the treatment plant of drinking water in the parish of San Pablo del Lago, city Otavalo, Imbabura Province, tries to implement new treatment structures.

Water sampling was conducted for 4 weeks systematically in order to perform chemical and physical, and microbiological analysis, to check the current status of the plant where water problems were identified showing water turbidity and phosphates, since de values obtained were outside the permissible limit of Standard INEN 1108, to 5 NTU turbidity and phosphate 0,1 mg/l. The characterization of analysis was performed in the laboratory of Drinking Water in Otavalo by using analytical methods.

The results of this research with different climatic conditions established that the redesign will consist of: a flow meter with a width parshall throat  $W = 0,229$  m, height from the top of the throat  $H_a = 0,132$  m, height of water on the throat  $H_b = 0,079$  m. Two settlers with a critical sedimentation rate  $V_{sc} = 0,26$  mm / s, a runoff speed  $V_h = 3,017 \cdot 10^{-3}$  m / s, a drift velocity  $V_a = 1,58$  m / s, and with the following dimensions: height  $H = 2,34$  m, length  $L = 13,6$  m, width  $B = 3,4$  m settler . Two pre filters upstream with a filtration rate of  $V_f = 0,6$  m/h and three filters with a slow filtration rate of  $V_f = 0,3$  m / h.

After pilot testing at the laboratory, the results show the following characteristics: 0,41 NTU turbidity and phosphate 0,031 mg/l, parameters which are within the norm. This will achieve greater efficiency in processing silver and quality of water supplied to the village of San Pablo del Lago.

It is concluded that the proposed treatment system is most suitable for achieving an improved quality of water to supply the population of San Pablo del Lago.

It is recommended the construction of new structures proposed in this study to provide the population of water that meets the standard requirements regarding INEN 1108 Drinking Water.

## **BIBLIOGRAFIA:**

- 1.- **ARBOLEDA J.**, Teoría y Práctica de Purificación del Agua., Tomo I, 3ra. ed., Bogotá - Colombia., 2000., pp. 163-166.
- 2.- **HERMAN E.**, Manual de Tratamiento de Aguas., 1era. Ed., Limusa., México D.F. - México., 1974., pp. 79-101.
- 3.- **VILLACRES M.**, Metodología para la investigación Científica., Riobamba - Ecuador., Docucentro., 2007., pp. 50 – 60.
- 4.- **INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACION (INEN).** Técnicas para Análisis del Agua. Quito – Ecuador: INEN 1982. (NTE INEN 1108 Segunda Revisión. Agua Potable, Requisitos).
- 5.- **AGUA POTABLE**  
[http://www.elaguapotable.com/calidad\\_del\\_agua.htm](http://www.elaguapotable.com/calidad_del_agua.htm)  
2012-04-17
- 6.- **CALIDAD DE AGUA**  
<http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/criteriosAS.pdf>  
2012-04-07

**7.- GUÍA DE REDISEÑO DE PLANTAS DE TRATAMIENTO**

<http://es.scribd.com/doc/72681969/Diseno-de-desarenadores-y-sedimentadores>  
2012-05-15

**8.- MEDIDOR DE CAUDAL PARSHALL**

[http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal\\_parshall.pdf](http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Noticias/canal_parshall.pdf)

2012-06-20

**9.- PROCESOS Y OPERACIONES**

<http://www.bvsde.ops-oms.org/tecapro/documentos/miscela/criteriosAS.pdf>

2012-04-27

**10.- PROPIEDADES DEL AGUA**

<http://www.ehu.es/biomoleculas/agua/agua.htm>

2012-04-27