



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA  
DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERIA QUÍMICA**

*“REDISEÑO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA  
POTABLE “SANTA ROSA” DE LA PARROQUIA SANTA ROSA EN  
LA CIUDAD DE AMBATO”.*

**Tesis de Grado Previo a la obtención del título de:**

**INGENIERO QUÍMICO**

**JORGE ALEJANDRO CÓRDOVA CASTILLO**

**Riobamba – Ecuador**

**2009**

## AGRADECIMIENTO

*La GRATITUD en silencio no sirve a nadie*

(Gladys Bronwyn Stern)

- *A Dios, por ser la luz que ilumino mi camino para culminar esta etapa importante de mi vida.*
- *A mis padres por ser la inspiración y pilar fundamental en buenos y malos momentos y por su apoyo incondicional en la toma de decisiones importantes que me ayudaron a ser la persona que soy.*
- *A mi hermana y mis sobrinos por saber darme paz y tranquilidad en momentos de angustia y pesimismo mostrando una sonrisa para alegrar la vida.*
- *A esas personas con las que compartimos muchos momentos gratos y que en situaciones difíciles extendieron su mano para darnos apoyo y juntos salir adelante, a ellos que son como hermanos, AMIGOS y AMIGAS, Gabyta gracias, SCCV por siempre y hasta siempre.*
- *A la EMAPA que auspició esta investigación; al Ing. Pazmiño director de la zona sur, a la Dra. Janneth Díaz jefa del laboratorio de control de calidad y la Ing. Katty Velas tegui por su valiosa colaboración.*
- *De igual manera a mi Director de Tesis Ing. César Ávalos, y a los miembros del Tribunal Ing. Hannibal Brito y Dra. Gina Álvarez, quienes aportaron para la culminación de este trabajo de investigación.*
- *Por último, a todas aquellas personas que de alguna forma han influido, para dar este gran paso,*  
**GRACIAS TOTALES.**

**NOMBRE**

**FIRMA**

**FECHA**

**Dr. Edmundo Caluña**  
**DECANO FAC. CIENCIAS.**

-----

-----

**Ing. Hannibal Brito**  
**DIRECTOR DE ESCUELA.**

-----

-----

**Ing. César Ávalos I.**  
**DIRECTOR DE TESIS.**

-----

-----

**Ing. Hannibal Brito**  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

-----

-----

**Dra. Gina Álvarez**  
**MIEMBRO DE TRIBUNAL.**

-----

-----

**Sr. Carlos Rodríguez**  
**DIRECTOR DEL CENTRO**  
**DE DOCUMENTACION.**

-----

-----

**NOTA DE LA TESIS.**

-----

-----

*“Yo, Jorge Alejandro Córdova Castillo soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en esta Tesis, y el patrimonio intelectual de la Tesis de Grado pertenecen a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”.*

---

**JORGE ALEJANDRO CÓRDOVA CASTILLO**

**ÍNDICE DE ABREVIATURAS**

Caudal por unidad de ancho del vertedero	$q$
Altura crítica	$h_c$
Profundidad antes del resalto	$h_1$
Velocidad de entrada al resalto	$v_1$
Número de Froude	$F_1$
Profundidad luego del resalto	$h_2$
Velocidad de salida del resalto	$v_2$
Pérdida de energía en el resalto	$h$
Longitud del resalto	$L_j$
Velocidad media	$v_m$
Tiempo de mezcla	$t_m$
Gradiente de velocidad	$G$
Distancia total recorrida	$L$
Volumen de agua a mezclar cada 30 min	$V$
Área transversal requerida de un canal entre baffles	$a$
Separación mínima entre tabiques	$d$
Distancia entre baffles	$d_f$
Profundidad total del tanque	$h_t$
Espacio libre entre tabiques y pared del tanque	$e_1$
Espacio libre	$l$
Número de canales requerido para floculadores	$N$
Longitud total interior de la cámara de floculación	$L_T$
Pérdida por fricción en el tabique	$h_f$
Cálculo del radio hidráulico	$R$
Pérdida adicional	$h$
Pérdidas totales	$H$
Carga superficial	$CS$
Velocidad inicial	$v_0$
Longitud relativa de sedimentadores	$L_R$
Longitud relativa para la región de transición	$L'$
Longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo	$L_c$

laminar	
Velocidad crítica de asentamiento	$v_{sc}$
Número de Reynolds	$N_{RE}$
Tiempo de retención en las celdas	$t_{RC}$
Tiempo de retención en el tanque	$t_{RT}$
Caudal total de tratamiento	$Q$
Número de filtros totales	$N_F$
Turbiedad	NTU
Color	UTC
Potencial de hidrógeno	pH

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pp.</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	17
<b>ANTECEDENTES</b>	18
<b>JUSTIFICACIÓN</b>	19
<b>RESUMEN</b>	
<b>SUMARY</b>	
<b>OBJETIVOS</b>	20
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	<b>Pp.</b>
<b>1.1 Agua Potable</b>	22
<b>1.2 Sistema de Tratamiento</b>	23
<b>1.2.1 Generalidades</b>	23
<b>1.2.1.1 Producción</b>	23
<b>1.2.1.2 Suministro</b>	23
<b>1.2.1.3 Formas para conseguir agua potable</b>	24
<b>1.2.1.4 Calidad del agua</b>	24
<b>1.2.2 Proceso de potabilización de aguas superficiales</b>	25
<b>1.2.2.1 Sistemas de captación</b>	25
<b>1.2.2.2 Captación en embalses</b>	25
<b>1.2.2.3 Captación en ríos</b>	26
<b>1.2.3 Sistema de aducción</b>	26
<b>1.2.3.1 Conducción por gravedad</b>	26
<b>1.2.3.2 Conducción forzada</b>	27
<b>1.2.4 Dosificación de productos químicos</b>	27
<b>1.2.5 Mezcla rápida</b>	27
<b>1.2.5.1 Mezcladores rápidos mecánicos</b>	29
<b>1.2.5.2 Mezcladores rápidos hidráulicos</b>	30
<b>1.2.6 Floculación</b>	30
<b>1.2.6.1 Tipos de floculadores</b>	31
<b>1.2.7 Sedimentación</b>	31
<b>1.2.7.1 Tipos de sedimentación</b>	32
<b>1.2.8 Filtración</b>	33
<b>1.2.8.1 Descripción de la filtración</b>	33
	<b>Pp.</b>

1.2.8.2	Sistemas de filtración	34
1.2.9	Desinfección	36
1.3	<b>Rediseño</b>	37
1.3.1	Mezcla rápida en vertederos rectangulares	37
1.3.2	Criterios para diseño de floculadores hidráulicos	40
1.3.3	Criterios para diseño de sedimentadores de tasa alta	41
1.3.4	Criterios para diseño de filtros	44
2.	<b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	
2.1.	Muestreo	46
2.1.1.	Localización de la investigación	46
2.1.2.	Método de recolección de la información	46
2.1.3.	Procedimiento para la recolección de la información	46
2.1.4.	Plan de tabulación y análisis	47
2.2.	Metodología	47
2.2.1.	Metodología de trabajo	47
2.2.2.	Tratamiento de muestras	47
2.2.3.	Equipos, materiales y reactivos	48
2.2.3.1.	Equipos	49
2.2.3.2.	Materiales	49
2.2.3.3.	Reactivos	49
2.2.4.	Métodos y Técnicas	49
2.2.4.1.	Métodos	50
2.2.4.2.	Técnicas	51
2.3.	Datos experimentales	66
2.3.1.	Determinación del estado actual de la planta	66
2.3.1.1.	Captación	66
2.3.1.2.	Presedimentadores	66
2.3.1.3.	Filtros	67
2.3.1.4.	Caseta de cloración	67
2.3.1.5.	Tanques de almacenamiento	67
2.3.2.	Datos	67
2.3.2.1.	Caracterización de las aguas captada y tratada	67
2.3.2.2.	Prueba de jarras utilizando policloruro de aluminio	73
2.3.2.3.	Análisis arena del filtro lento número uno de la planta	75
3.	<b>REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO</b>	
3.1.	Cálculos de ingeniería	78
3.1.1.	Mezcla rápida	78
3.1.2.	Floculadores hidráulicos de flujo horizontal	79
3.1.3.	Rediseño de sedimentadores de tasa alta	81
3.1.4.	Rediseño de filtros	82
3.2.	Resultados	83

**Pp.**

<b>3.2.1.</b> Mezcla rápida	83
<b>3.2.2.</b> Flocladores hidráulicos	83
<b>3.2.3.</b> Sedimentación	84
<b>3.2.4.</b> Filtración	84
<b>3.3.</b> Propuesta	85
<b>3.4.</b> Análisis y discusión de resultados	86
<b>3.4.1.</b> Caracterización Físico – Química y microbiológica	86
<b>3.4.2.</b> Prueba de jarras	90
<b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	
<b>4.1.</b> Conclusiones	103
<b>4.2.</b> Recomendaciones	104
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	105
<b>ANEXOS</b>	107

## INDICE DE ECUACIONES

<b>Ecuación</b>		<b>Pp</b>
1.3.1 – a	Para distancia óptima de adición de coagulante	36
1.3.1 – b	Para determinación de profundidad crítica	36
1.3.1 – c	Para la aceleración (caudal / ancho de vertedero)	37
1.3.1 – d	Para la profundidad del agua en la sección 1	37
1.3.1 – e	Para las profundidades antes y después de resalto	37
1.3.1 – f	Para calculo de número de Froude	37
1.3.1 – g	Velocidad	37
1.3.1 – h	Velocidad	37
1.3.1 – i	Para pérdida de energía en el resalto	38
1.3.1 – j	Para resalto estable	38
1.3.1 – k	Para tiempo de mezcla	38
1.3.1 – l	Para velocidad media	38
1.3.1 – m	Para gradiente de velocidad	38
1.3.2 – a	Para pérdidas totales	39
1.3.2 – b	Para pérdidas por fricción	39
1.3.2 – c	Para la pérdida adicional	40
1.3.3 – a	Para el volumen del tanque de sedimentación	41
1.3.3 – b	Para el tiempo de retención	42
1.3.4 – a	Para el número de filtros	43

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico</b>		<b>Pp</b>
3.4.1 – 1	Análisis físico – químico de agua cruda y agua tratada	89
3.4.1 – 2	Eficiencia del proceso para color, turbiedad, hierro y nitratos	90
3.4.2 – 1	Curva de acción del polímero promedio SEMANA 1	91
3.4.2 – 2	Curva de acción del polímero promedio SEMANA 2	92
3.4.2 – 3	Curva de acción del polímero promedio SEMANA 3	93
3.4.2 – 4	Curva de acción del polímero promedio SEMANA 4	94
3.4.2 – 5	Curva de acción del polímero promedio SEMANA 5	95
3.4.2 – 6	Curva de acción del polímero promedio general	97
3.4.2 – 7	Porcentaje eficiencia en función de polímero utilizado	99
3.4.2 – 8	Datos en la etapa de floculación y sedimentación (COLOR)	100
3.4.2 – 9	Datos en la etapa de floculación y sedimentación (TURBIEDAD)	101

## ÍNDICES DE TABLAS

<b>Tabla</b>		<b>Pp.</b>
1.3.3 – 1	Valores de tasa de sedimentación superficial	42
2.1.3 – 1	Plan de muestreo	46
2.2.4.1 – 1	Descripción de métodos de análisis	49
2.2.4.2 – 1	Potencial de hidrógeno	51
2.2.4.2 – 2	Conductividad	52
2.2.4.2 – 3	Turbidez	53
2.2.4.2 – 4	Alcalinidad Total	54
2.2.4.2 – 5	Dureza Total	55
2.2.4.2 – 6	Color	56
2.2.4.2 – 7	Sólidos Totales Disueltos	57
2.2.4.2 – 8	Hierro	58
2.2.4.2 – 9	Cloruros	59
2.2.4.2 – 10	Nitritos y Nitratos	60
2.2.4.2 – 11	Aluminio	61
2.2.4.2 – 12	Calcio	62
2.2.4.2 – 13	Sulfatos	63
2.2.4.2 – 14	Arsénico	64
2.2.4.2 – 15	Fluor	65
2.3.2.1 – 1a	Caracterización físico – química del agua cruda y tratada SEMANA 1	68
2.3.2.1 – 1b	Análisis microbiológico SEMANA 1	68
2.3.2.1 – 2a	Caracterización físico – química del agua cruda y tratada SEMANA 2	69
2.3.2.1 – 2b	Análisis microbiológico SEMANA 2	69
2.3.2.1 – 3a	Caracterización físico – química del agua cruda y tratada SEMANA 3	70

<b>Tabla</b>	<b>Pp.</b>
2.3.2.1 – 3b	Análisis microbiológico SEMANA 3 70
2.3.2.1 – 4a	Caracterización físico – química del agua cruda y tratada SEMANA 4 71
2.3.2.1 – 4b	Análisis microbiológico SEMANA 4 71
2.3.2.1 – 5a	Caracterización físico – química del agua cruda y tratada SEMANA 5 72
2.3.2.1 – 5b	Análisis microbiológico SEMANA 5 72
2.3.2.2 – 1	Prueba de jarras para el agua cruda SEMANA 1 73
2.3.2.2 – 2	Prueba de jarras para el agua cruda SEMANA 2 73
2.3.2.2 – 3	Prueba de jarras para el agua cruda SEMANA 3 74
2.3.2.2 – 4	Prueba de jarras para el agua cruda SEMANA 4 74
2.3.2.2 – 5	Prueba de jarras para el agua cruda SEMANA 5 75
2.3.2.3 – 1	Pesos de arena a diferente profundidad para analizar 75
2.3.2.3 – 2	Determinación de parámetros en la arena seca 76
2.3.2.3 – 3	Determinación de parámetros en la arena húmeda 76
3.2.1 – 1	Resultados de Mezcla Rápida 83
3.2.2 – 1	Resultados Floculadores 83
3.2.3 – 1	Resultados Sedimentadores 84
3.2.4 – 1	Resultados Filtros 84
3.4.1 – 1	Parámetros físico – químicos agua cruda 88
3.4.1 – 2	Parámetros físico químicos agua tratada 88
3.4.1 – 3	Promedio general agua cruda y agua tratada 88
3.4.2 – 1	Promedio semana 1 de polímero utilizado y turbiedad 91
3.4.2 – 2	Promedio semana 2 de polímero utilizado y turbiedad 92
3.4.2 – 3	Promedio semana 3 de polímero utilizado y turbiedad 93
3.4.2 – 4	Promedio semana 4 de polímero utilizado y turbiedad 94

<b>Tabla</b>		<b>Pp.</b>
3.4.2 – 5	Promedio semana 5 de polímero utilizado y turbiedad	95
3.4.2 – 6	Promedio general de polímero utilizado y turbiedad	96
3.4.2 – 7	Promedio general de prueba de jarras	98
3.4.2 – 8	Prueba de tratabilidad con policloruro de aluminio (COLOR)	100
3.4.2 – 9	Prueba de tratabilidad con policloruro de aluminio (TURBIEDAD)	101

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>		<b>Pp.</b>
1.2.5 – a	Tipos de mezcladores	28
1.2.5 – b	Movimiento de paletas en mezcladores mecánicos	29
1.2.8 – a	Esquema de un filtro rápido	33
1.2.8 – b	Dirección de flujo en un filtro	34
1.2.8 – c	Medios de filtración	35

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo</b>		<b>Pp.</b>
A	Vista plano de planta de tratamiento “Santa rosa”	108
B	Vista plano de sedimentadores	109
C	Vista plano de filtros lentos	110
D	Sistema actual de tratamiento	111
E	Sistema propuesto para tratamiento aplicado el rediseño	112
F	Norma técnica NTE – INEN 1108	113

## RESUMEN

El rediseño de la planta de tratamiento de agua potable “SANTA ROSA” de la parroquia del mismo nombre en la ciudad de Ambato auspiciado por EMAPA pretende la implementación de nuevas estructuras en el sistema de tratamiento para mejorar la calidad del suministro que se distribuye a la población y que presenta problemas de color y turbiedad.

Se utilizó equipos portátiles de medición de color y turbiedad para realizar análisis de agua cruda y agua tratada in situ, se realizó análisis físico – químicos y microbiológicos utilizando métodos y técnicas basados en el Standar Methods en el laboratorio de control de calidad de la planta “Casigana” así como también pruebas de tratabilidad en planta piloto que simula operaciones de mezcla rápida, floculación y sedimentación.

En los análisis preliminares para determinar el estado actual de la planta se obtuvo resultados de remoción de turbiedad del agua en un 97% siendo su valor de salida un promedio de 1,03NTU, para el color el porcentaje de remoción esta en el orden de 73,8% y los valores del agua de salida tienen un promedio de 10,5 unidades, en el contenido de organismos coliformes se logró una remoción del 92% de los organismos. Estos resultados indican que la calidad del agua de salida no cumple con los requerimientos de la normativa establecida. Los resultados de este proceso de investigación realizado en el laboratorio de control de calidad de agua de la planta de tratamiento “Casigana” durante cinco semanas en diferentes condiciones climáticas permitieron establecer que el rediseño constará de: un canal de mezcla rápida con velocidad de entrada al resalto  $v_1 = 2,66\text{m/s}$ ; longitud del resalto  $L_j = 0.708\text{m}$ ; tiempo de mezcla  $t_m = 0,590\text{s}$ . Canal de floculación hidráulica con una distancia total recorrida  $L = 468\text{m}$  y un volumen de agua a mezclar cada 30min =  $16,938\text{m}^3$ . Un sedimentador de Tasa alta con una carga superficial  $CS = 101,628\text{m/día}$  y un tiempo de retención en el tanque  $t_{RT} = 35,423\text{min}$ . Y finalmente la implementación de 2 filtros rápidos para un caudal total de tratamiento  $Q = 813,024\text{m}^3/\text{día}$ .

De la implementación de este sistema a través de pruebas piloto da como resultado agua de las siguientes características: turbiedad 0,6 NTU y color 2,5 Condiciones que están dentro de la normativa 1108 del agua potable concluyendo que se alcanzó el objetivo de mejorar la calidad del agua distribuida a la población de santa rosa.

Se recomienda la aplicación del estudio con la siguiente etapa concerniente a la construcción de las nuevas estructuras para mejorar el sistema de tratamiento y dotar a la población de agua de calidad que cumpla con la norma NTE INEN 1108 para agua potable.

## SUMMARY

The re-design of the potable water treatment plant SANTA ROSA of the parish of the same name in Ambato city fostered by EMAPA tries to implement new structures in the treatment system to improve the quality provision distributed to the population which presents turbidity and color problems.

Portable equipment to measure color and turbidity was used to carry out the raw water and water treated in situ analysis. Physical and chemical and microbiological analyses were performed using methods and techniques based on standard methods in the lab of the plant quality control "Casigana" as well as treatment tests in the pilot plant which simulates rapid mingling operations flocculation and sedimentation.

In the preliminary analyses to determinate the actual plant status results of water turbidity removal in a 97% its outlet value being an average of 1.03NTU; for the color, the removal percentage is 73.8% and the exit water values have an average of 10.5UTC; in the colliform organism content it was possible to have a removal of 92% organisms. These results show that the exit water quality does not meet the requirements of the established norm. the results of this investigation process carried out in the water quality control lab of the treatment plant "Casigana" during five weeks in different climate conditions permitted to establish that the re-design will consist of: a rapid mingling channel with inlet speed at jumping  $v_1 = 2.66\text{m/s}$ , jumping length  $L_j = 0.708\text{m}$ , mingling time  $t_m = 0.59\text{s}$ . Hydraulic flocculation channel with a total distance  $L = 468\text{m}$  and a water volume to be mixed each 30min  $= 16.938\text{m}^3$ . A high rate settler with a surface load  $CS = 101.628\text{m/day}$  and a retention time in the tank  $t_{RT} = 35.423\text{min}$ . Finally the implementation of 2 rapid filters for a total treatment volume  $Q = 813.024\text{m}^3/\text{day}$ .

The implementation of this system through pilot tests results in water of the following features: 0.06NTU turbidity and 2.5UTC color, conditions which are within the norm 1108 of the potable water. It is concluded that the objective of improving the water quality distributed to the population from Santa Rosa was attained.

It is recommended to apply the study to the following stage concerning the construction of the new structures to improve the treatment system and provide the population quality water which meets the norm NTE INEN 1108 for potable water.

# INTRODUCCIÓN

La parroquia de Santa Rosa es una parroquia rural en constante crecimiento dedicada a la actividad agropecuaria que está ubicada al sur oeste del cantón Ambato en la provincia de Tungurahua, tiene una superficie de 36,3Km<sup>2</sup> con 14312 habitantes. La temperatura promedio de la zona es de 15C. El suministro de agua para esta población es uno de los más importantes ya que de una buena calidad de agua depende la salud de la misma.

En la zona mencionada se encuentra ubicada la planta de tratamiento de agua potable del mismo nombre que dota de este preciado recurso a la mayoría de habitantes de la zona el agua que se potabiliza es agua superficial proveniente de la acequia Cunuyacu – Chimborazo que se dirige hasta el interior de la planta mediante tubería de asbesto - cemento, ya en el interior la planta de Tratamiento es un cajón de recepción, dos pre sedimentadores, tres filtros lentos de arena un tanque de cloración en donde se suministra cloro gas y un tanque de almacenamiento de agua potable. El caudal máximo de 9,41L/s que se trata en la planta se captan en el tanque de almacenamiento donde se mezcla con aproximadamente 6L/s que son bombeados desde los tanques de San Francisco.

El caudal total oscila entre 16L/s se distribuyen a toda la población que cuenta con el servicio.

El rediseño del sistema de tratamiento pretende implementar nuevas estructuras para realizar un mejor proceso de potabilización; de este modo se garantizaría a la población un suministro adecuado para el consumo cumpliendo la norma técnica de calidad NTE INEN 1108:2006 Segunda Revisión Agua Potable Requisitos.

## ANTECEDENTES

En 1982 la empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado construye la planta de tratamiento de agua potable “Santa Rosa” para dotar de agua de calidad a la población ubicada en la parroquia rural de Santa Rosa de la ciudad de Ambato. Esta planta de tipo tradicional que consiste de un cajón receptor, 2 presedimentadores, 3 filtros lentos de arena, un cajón para la desinfección y un tanque de almacenamiento. El paso del tiempo y la evolución de tecnologías para la potabilización del agua ha permitido concebir la idea de que se puede rediseñar el sistema optando por cambiar a una planta de tratamiento de tipo convencional con el suministro de productos químicos como coagulantes – floculantes y la construcción de estructuras que cumplan la función de flocular y sedimentar y también el rediseño de los filtros lentos a filtros rápidos. Este rediseño del sistema podría tener sus ventajas ya que permitiría optimizar el espacio y adecuar a la planta para en un futuro tratar de aumentar el caudal de tratamiento.

Cabe recalcar que en la planta de tratamiento no se han realizado estudios respecto al tema tratado en esta tesis o similares, siendo este un trabajo investigativo sin precedentes para proponer un mejoramiento en el sistema de tratamiento de agua potable.

# JUSTIFICACION

La constante tendencia de los procesos hacia la mejora de la calidad y las necesidades de toda la parroquia de contar con un suministro de excelentes características justifica la importancia del desarrollo de este tema de tesis ya que en la planta de tratamiento “SANTA ROSA” no se han realizado investigaciones de esta índole, siendo este el primer estudio que ofrece una re ingeniería del sistema de agua potable con la implementación de nuevas estructuras como mezcladores rápidos, floculadores, sedimentadores, filtros rápidos que aporten al mejoramiento además de preparar a la planta para el crecimiento de dicha población produciendo agua que cumpla con las normas de calidad INEN que son las que rigen nuestro medio.

Tomando en cuenta estas consideraciones la Empresa Municipal de Agua Potable y Alcantarillado de Ambato E.M.A.P.A. apoya y facilita los estudios para el rediseño de la Planta de tratamiento de Agua Potable “SANTA ROSA” a través del diagnóstico del estado actual y poder establecer los posibles cambios e implementaciones al sistema de tratamiento de agua.

# OBJETIVOS

La investigación presentan los siguientes objetivos:

## **GENERAL**

- Rediseñar la planta de tratamiento de agua potable “SANTA ROSA” de la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato.

## **ESPECÍFICOS**

- Efectuar el diagnóstico del estado actual de la Planta.
- Determinar el caudal máximo de tratamiento de la Planta.
- Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua captada y del agua tratada.
- Dimensionar el sistema para el adecuado tratamiento del agua.

# **CAPÍTULO I**

## **Marco Teórico**

# CAPÍTULO I

## MARCO TEÓRICO

### 1.1 AGUA POTABLE

Agua que es destinada al consumo humano y que satisface las características físicas, químicas, bacteriológicas, biológicas y radiológicas que establece la Autoridad Sanitaria competente con sus correspondientes normas y que abastece una población.

Para asegurar esto en muchas naciones se han establecido valores máximos y mínimos en [minerales contenidos](#), diferentes iones como [cloruros](#), [nitratos](#), [nitritos](#), [amonio](#), [calcio](#), [magnesio](#), [fosfato](#), [arsénico](#) etc. además de los gérmenes patógenos. El [pH](#) del agua potable debe estar entre 6,5 y 8,5. Los controles sobre el agua potable suelen ser más severos que los controles aplicados sobre las [aguas minerales](#) embotelladas.

En la actualidad, se denomina agua potable a la tratada para su consumo humano según unos estándares de calidad determinados por las autoridades locales e internacionales.

En zonas con intensivo uso agrícola es cada vez más difícil encontrar [pozos](#) cuya agua se ajusta a las exigencias de las normativas. Especialmente los valores de nitratos y nitritos además de las concentraciones de los compuestos [fitosanitarios](#) superan a menudo el umbral de lo permitido. La razón suele ser el uso masivo de [abonos](#) minerales o la filtración de [purines](#). El [nitrógeno](#) aplicado de esta manera que no es asimilado por las plantas es transformado por los microorganismos del suelo en nitrato y luego arrastrado por la agua de lluvia al [nivel freático](#).<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> HERRERA V., BARRETO C. y otros, “Colección [la ciencia](#) al día [Química](#) 1”, Esperanza R. Editorial Norma. Bogotá - [Colombia](#).

## 1.2 SISTEMA DE TRATAMIENTO

### 1.2.1 GENERALIDADES

#### 1.2.1.1 PRODUCCION

Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización. Suele consistir en un [stripping](#) de compuestos [volátiles](#) seguido de la precipitación de impurezas con [floculantes](#), filtración y [desinfección](#) con [cloro](#) u [ozono](#).

En zonas con pocas precipitaciones y disponibilidad de aguas marinas se puede producir agua potable por desalinización. Este se lleva a cabo a menudo por [ósmosis inversa](#) o [destilación](#).

En algunos países se añaden pequeñas cantidades de [fluoruro](#) al agua potable para mejorar la salud dental<sup>2</sup>

#### 1.2.1.2 SUMINISTRO

El suministro de agua potable al consumidor es un problema que ha ocupado al hombre desde la antigüedad es así que se creó la necesidad de construir [acueductos](#) y [tuberías](#) de presión para asegurar el suministro local.

En algunas zonas se construían y construyen [cisternas](#) o [aljibes](#) que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y a salvo de la luz del sol.

En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que se pueden desenlazar conflictos bélicos por la posesión de las fuentes.

De acuerdo al [Banco Mundial](#), 45% de la población mundial carece de un acceso directo a los servicios de agua potable. En otras fuentes se habla de mil millones de personas sin acceso al servicio, en tanto 2 mil y medio millones no cuentan con servicio de

---

<sup>2</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable#Producci.C3.B3n](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable#Producci.C3.B3n)

purificación. En los países desarrollados los niños consumen de 30 a 50 veces más agua que en los países llamados en vías de desarrollo.<sup>3</sup>

### 1.2.1.3 FORMAS PARA CONSEGUIR AGUA POTABLE

- Aprovechar la [humedad](#) del [aire](#) (en forma de [rocío](#) por la mañana). La frescura y la humedad nocturna provocan la condensación del agua sobre las [plantas](#). Gracias a un sistema de [bolsas de plástico](#) semienterradas por encima de un hoyo, es posible conseguir agua de [condensación](#) potable.
- Aprovechar el agua de [lluvia](#). En ciertas latitudes, un árbol apodado el [árbol del viajero](#) tiene sus [hojas](#) en forma de recipientes en los que se acumula el agua y en los cuales es posible beber.
- Hervir el agua de los [ríos](#) o [charcas](#) con el fin de evitar la [contaminación bacteriana](#). Este método no evita la presencia de productos tóxicos. Con el fin de evitar los depósitos y las partículas en suspensión, podemos tratar de [decantar](#) el agua dejándola reposar y recuperando el volumen más limpio, desechando el volumen más sucio (que se depositará al fondo o / y en la superficie).
- El agua que se hierve y cuyo [vapor](#) puede recuperarse por condensación es un medio para conseguir agua pura (sin productos tóxicos, sin bacterias o virus, sin depósitos o partículas). En la práctica, fuera del [laboratorio](#), el resultado no es seguro.
- Es posible obtener [agua segura](#) mediante las [pastillas potabilizadoras](#) (que se pueden conseguir en [farmacias](#) u organizaciones sanitarias). Esta técnica da los mismos resultados que una [ebullición](#), y por ello, no suprime los productos tóxicos.
- Otros procedimientos alternativos de [purificación de aguas contaminadas](#).<sup>4</sup>

### 1.2.1.4 CALIDAD DEL AGUA

El término calidad del agua es relativo, referido a la composición del agua en la medida en que esta es afectada por la concentración de sustancias producidas por procesos naturales y actividades humanas.

---

<sup>3</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable#Suministro.2C\\_acceso\\_y\\_uso](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable#Suministro.2C_acceso_y_uso)

<sup>4</sup> [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable#Formas\\_para\\_conseguir\\_agua\\_potable](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable#Formas_para_conseguir_agua_potable)

Como tal, es un término neutral que no puede ser clasificado como bueno o malo sin hacer referencia al uso para el cual el agua es destinada.

De acuerdo con lo anterior, tanto los criterios como los estándares y objetivos de calidad de agua variarán dependiendo de si se trata de agua para consumo humano ([agua potable](#)), para uso agrícola o industrial, para recreación, para mantener la calidad ambiental, etc.

Los límites tolerables de las diversas sustancias contenidas en el agua son normadas por la Organización Mundial de la Salud ([O.M.S.](#)), la Organización Panamericana de la Salud ([O.P.S.](#)), y por los gobiernos nacionales, pudiendo variar ligeramente de uno a otro.

## **1.2.2 PROCESO DE POTABILIZACION DE AGUAS SUPERFICIALES**

### **1.2.2.1 SISTEMAS DE CAPTACIÓN**

Las aguas de origen se pueden clasificar según su procedencia en aguas superficiales, y aguas subterráneas. El sistema de captación utilizado para aguas subterráneas, es el bombeo, mientras que para las aguas superficiales, se utilizan distintos métodos, si hablamos de tomas desde embalses, ríos, o mar.

Normalmente, para abastecimientos de grandes y medianas poblaciones se utilizan aguas superficiales, por lo que a partir de ahora, nos referiremos únicamente a las captaciones utilizadas para este tipo de agua.

### **1.2.2.2 CAPTACIÓN EN EMBALSES**

La poca cantidad de agua que circula por los efluentes de nuestro país, y el índice de contaminación que llevan, hace que hoy día, sean cada vez más numerosos los abastecimientos de poblaciones a través de embalses. Normalmente, el nivel del embalse va a ir fluctuando, en función de las aportaciones de lluvias, y las tomas de caudal. Por este motivo, las torres se construyen con diversas tomas a distintas alturas. Las maniobras de apertura y cierre de las tomas, se realizan con compuertas reguladoras.

Para proteger dichas compuertas de entrada de cuerpos que las puedan obstruir (ramas, flotantes,...), se disponen previamente unas rejillas de desbaste, que impiden el paso de estos objetos que podrían dañar los cierres de las compuertas, no haciéndolos estancos.

La cota del punto de toma del agua suele variarse, en función de los análisis que se realizan a distintas profundidades del embalse, y que determinan la calidad del agua en diversos estratos, deberá elegirse en cada momento la cota en la cual los contaminantes sean mínimos, lo que repercutirá en un tratamiento más liviano en la planta.

### **1.2.2.3 CAPTACIÓN EN RÍOS**

No existe un modelo de toma ideal, pueden realizarse tomas laterales, de fondo, etc. Si el caudal es pobre, habrá que aprovechar algún azud o pequeña presa, que garantice siempre un volumen de agua suficiente para nuestro abastecimiento, se podrá aumentar ligeramente la lámina de agua en la toma de forma artificial, colocando unos gaviones aguas abajo de la toma, con lo que podremos paliar la falta de caudal. En las tomas de río, y debido a la velocidad del agua, aumentan los arrastres de flotantes, sólidos, arenas, maleza, etc. Para evitar que estas impurezas entren en las conducciones y las dañen, se suelen colocar rejillas de desbaste en la propia toma, tanto para gruesos, como para finos, llegando a ser necesaria a veces la instalación de tamices o desarenadores. Si la calidad del agua del efluente es mala, se puede montar en la propia toma del río alguna instalación de dosificación de reactivo, iniciando aquí un pretratamiento que mejore el agua que llegará a la planta de tratamiento.

### **1.2.3 SISTEMA DE ADUCCIÓN**

Al proceso de conducir el agua desde su captación a la planta de tratamiento, se denomina aducción. Se pueden distinguir dos tipos de conducciones, dependiendo de las alturas del punto de toma y la entrada en planta:

#### **1.2.3.1 Conducciones por gravedad**

(Acueductos, canales.). El agua circula por la propia pendiente de la conducción, desde el punto de toma, que tendrá más cota o altura, hasta el punto de entrada.

### **1.2.3.2 Conducción forzada**

(Tuberías). Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una cota más baja que la entrada en planta, para salvar la diferencia de alturas, se emplean grupos de bombeo. Para soportar la presión de trabajo se dimensionan con materiales resistentes, bien de chapas de acero o de hormigón reforzado con camisas de chapa.

### **1.2.4 DOSIFICACION DE PRODUCTOS QUÍMICOS**

El agregado de productos químicos (coagulantes) se realiza para la desestabilización del coloide o turbiedad del agua.

Para la remoción de color y turbiedad del agua se aplica un polímero llamado policloruro de aluminio que se dosifica según las características del agua a la entrada del proceso también se utiliza sulfato de aluminio.

Los coagulantes reducen la carga de iones, de modo que acumulan las partículas en formas más grandes llamadas flóculos. Los flóculos se depositan por gravedad en tanques de filtración o se quitan mientras que el agua atraviesa un filtro de gravedad. Las partículas más grandes que  $25 \mu$  son quitadas con eficacia por la clarificación.

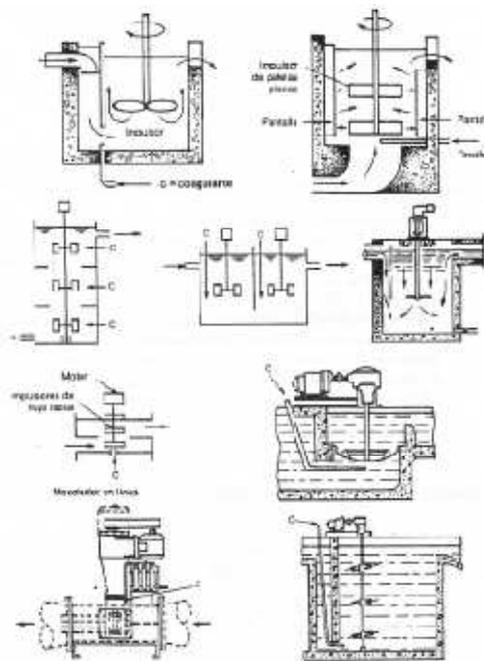
Mediante la adición de reactivos (sales metálicas) y procesos de agitación rápida y lenta, se consiguen agrupar partículas muy pequeñas cargadas eléctricamente (coloides) y que, por su pequeño tamaño y carga no sedimentarían nunca, siendo responsables, en gran medida, del color y la turbiedad del agua.

El proceso se realiza neutralizando las cargas eléctricas que mantienen separadas a las partículas coloidales, con lo que éstas se agrupan aumentando de tamaño, se rompe el equilibrio y decantan al fondo por gravedad.

### **1.2.5 MEZCLA RAPIDA**

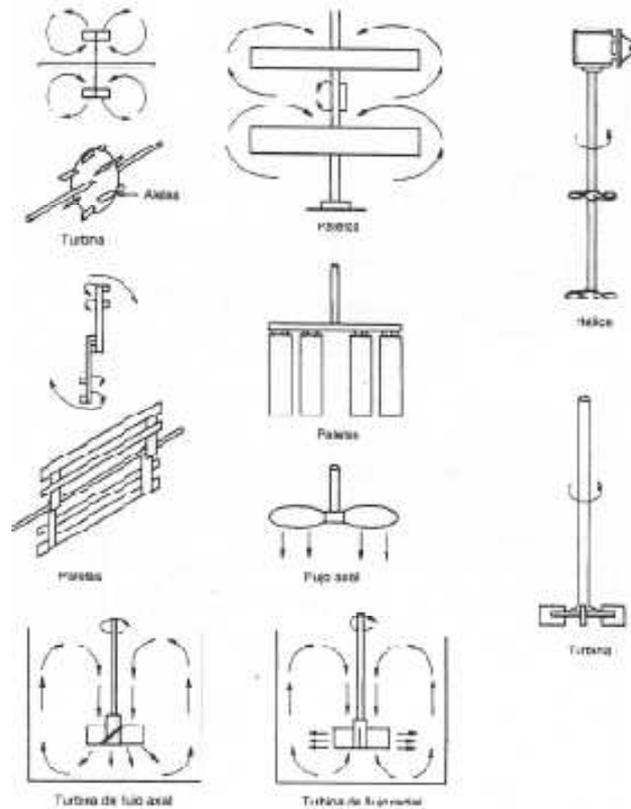
La mezcla rápida es una operación empleada en el tratamiento del agua con el fin de dispersar diferentes sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene generalmente el propósito de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua. La mezcla rápida puede efectuarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, tales como: resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras,

chorros químicos y tanques con equipo de mezcla rápida. En los mezcladores hidráulicos la mezcla es ejecutada como resultado de la turbulencia que existe en el régimen de flujo; en los mecánicos la mezcla es inducida a través de impulsores rotatorios del tipo de hélice o turbina. Los de hélice, semejantes a hélices de barco, generan corrientes axiales fuertes que crean gran intensidad de mezcla y se han usado para mezcla de alta velocidad con rotaciones de hasta 2000 revoluciones por minuto. Los impulsores de paletas generan principalmente corrientes radiales y tangenciales, y son más usados en floculación con velocidades rotacionales bajas, 2 -150 RPM, debido a la mayor área expuesta al agua. El término turbina se aplica, indistintamente, a una gran variedad de formas de impulsores; generalmente consisten en varias aletas rectas montadas verticalmente sobre una placa plana, aunque también se usan las de aletas curvas. La rotación se hace a velocidades moderadas y las corrientes generadas son principalmente de dirección radial y tangencial. Los impulsores de flujo radial descargan el líquido desde el impulsor, a lo largo de un radio, en ángulo recto con su eje; en los de flujo axial el líquido entra al impulsor y es descargado desde él, en forma paralela a su eje.



**Fig. 1.2.5 – a (TIPOS DE MEZCLADORES)**

Fuente: Romero J, Purificación del agua



**Fig. 1.2.5 – b** (MOVIMIENTO DE PALETAS EN MEZCLADORES MECANICOS)

Fuente: Romero J, Purificación del Agua

Las flechas indican las trayectorias de flujo creadas por las unidades de agitación, Las unidades de paletas imparten movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna.

### 1.2.5.1 MEZCLADORES RÁPIDOS MECÁNICOS

Los tanques de mezcla rápida mecánica se proyectan generalmente de sección circular o cuadrada. Los mezcladores mecánicos son fabricados por una gran cantidad de industrias; en general consisten en hélices, paletas, turbinas u otros elementos similares acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera. Los ejes giran a un número alto de revoluciones lo cual agita el agua en forma violenta y propicia la mezcla rápida y uniforme del coagulante.

Las turbinas de flujo axial mueven el líquido paralelamente al eje del impulsor, las de flujo radial lo mueven perpendicularmente al eje de rotación. En general, se pueden visualizar tres clases de componentes de flujo inducidas por un impulsor rotatorio.

### **1.2.5.2 MEZCLADORES RÁPIDOS HIDRÁULICOS**

Los mezcladores rápidos hidráulicos se utilizan cuando se dispone de suficiente cabeza o energía en el flujo de entrada. En general se utilizan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, tubos vénturi, dispersores de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

El mezclador hidráulico tiene la ventaja de no requerir equipo mecánico, consideración muy importante en el diseño de plantas para lugares en los que no se dispone de personal capacitado para mantenimiento ni de suministro apropiado de repuestos.

### **1.2.6 FLOCULACION**

El término floculación se refiere a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas; es el proceso por el cual, una vez desestabilizados los coloides, se provee una mezcla suave de las partículas para incrementar la tasa de encuentros o colisiones entre ellas sin romper o disturbar los agregados preformados.

De la misma manera que la coagulación, la floculación es influenciada por fuerzas químicas y físicas tales como la carga eléctrica de las partículas, la capacidad de intercambio, el tamaño y la concentración del floc, el pH, la temperatura del agua y la concentración de los electrolitos. En partículas muy pequeñas el movimiento browniano provee cierto grado de transporte de ellas creando la floculación pericinética, pero en partículas grandes el movimiento browniano es muy lento y se requiere algún mecanismo de transporte que induzca la colisión de las partículas creando la floculación ortocinética.

Teniendo en cuenta que la influencia y magnitud del efecto de cada uno de los factores que participan en la floculación no están aún definidas exactamente, es importante, conocer el comportamiento del agua mediante ensayos de jarras o experiencias previas en plantas de tratamiento.

En la floculación, una vez introducido y mezclado el coagulante, las partículas diminutas coaguladas son puestas en contacto una con otra y con las demás partículas presentes, mediante agitación lenta prolongada, floculación, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad. El floculador es, por lo tanto, un tanque con algún medio de mezcla suave y lenta, con un tiempo de retención relativamente prolongado.

### **1.2.6.1 TIPOS DE FLOCULADORES**

La mezcla lenta para floculación puede efectuarse mecánicamente, usando rotores de paletas, o hidráulicamente, como resultado del movimiento del agua.

Los floculadores hidráulicos más comunes son los de flujo horizontal y los de flujo vertical. El floculador de flujo horizontal consiste en un tanque de concreto dividido por tabiques, baffles o pantallas de concreto u otro material adecuado, dispuestos en tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de los tabiques. En el floculador de flujo vertical el agua fluye hacia arriba y hacia abajo, por encima y por debajo de los tabiques, pantallas o baffles que dividen el tanque. En general, los floculadores hidráulicos, con una velocidad de flujo apropiada y un número adecuado de baffles para asegurar suficientes curvas, proveen una floculación efectiva. En la práctica, los floculadores hidráulicos de flujo horizontal se usan para plantas pequeñas, caudales menores de 50 L/s; los de flujo vertical, que se construyen más profundos (2 -3 m), para plantas grandes. En comparación con los floculadores mecánicos, se pueden señalar como desventajas de los floculadores hidráulicos la alta pérdida de carga (30 -150cm) y la poca flexibilidad de control en el grado de mezcla para caudales variables.

Entre las ventajas se hace notar la inexistencia de equipo mecánico y el mantenimiento mínimo.

En los floculadores mecánicos se introduce potencia al agua para asegurar una mezcla lenta mediante agitadores mecánicos. El tipo de agitador mecánico más usado es el de paletas, ya sean de eje horizontal o vertical, las cuales imparten un movimiento rotatorio al agua así como cierta turbulencia interna.

También existen impulsores de turbina y de flujo axial. Como el grado de mezcla óptimo es variable, según la calidad del agua, se recomienda que el equipo agitador mecánico sea de velocidad variable.

### **1.2.7 SEDIMENTACION**

Se designa por sedimentación la operación por la cual se remueven 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 simple y sedimentación después de coagulación y floculación o ablandamiento.

La sedimentación simple es generalmente un tratamiento primario para reducir la carga de sólidos sedimentables antes de la coagulación; en esos casos se le conoce como presedimentación. La sedimentación después de la adición de coagulantes y de la floculación se usa para remover los sólidos sedimentables que han sido producidos por el tratamiento químico, como en el caso de remoción de color y turbiedad o en el ablandamiento con cal. La sedimentación puede ser precedida por presedimentación y aireación; generalmente va seguida de la filtración.

### **1.2.7.1 TIPOS DE SEDIMENTACIÓN**

La sedimentación ocurre de maneras diferentes, según la naturaleza de los sólidos, su concentración y su grado de floculación.

En el agua se pueden encontrar partículas llamadas discretas, las cuales no cambian su tamaño, forma o peso cuando se sedimentan, y partículas floculentas y precipitantes en las cuales la densidad y el volumen cambia a medida que ellas se adhieren unas con otras mediante mecanismos de floculación, precipitación, arrastre o barrido.

- **Sedimentación tipo 1:**

Se refiere a la remoción de partículas discretas no floculentas en una suspensión diluida. En estas condiciones se dice que la sedimentación es no interferida y es función solamente de las propiedades del fluido y de las características de la partícula. Es el tipo de sedimentación que ocurre con partículas de características floculentas mínimas en suspensiones diluidas, como sería el caso de sedimentación de materiales pesados inertes.

- **Sedimentación tipo 2:**

Se refiere a la sedimentación de suspensiones diluidas de partículas floculentas, en las cuales es necesario considerar las propiedades floculentas de la suspensión junto con las características de asentamiento de las partículas. Ocurre generalmente en el tratamiento de aguas residuales, dada la naturaleza de los sólidos en ellas presentes, y en la purificación de aguas potables cuando los sedimentadores están precedidos de floculadores y coagulación.

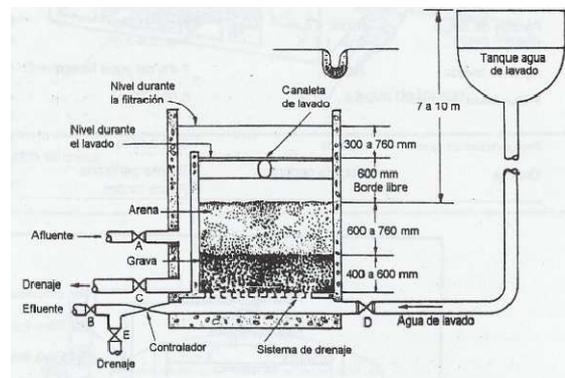
- **Sedimentación zonal:**

Describe la sedimentación másica y se refiere al proceso de sedimentación de suspensiones de concentración intermedia de material floculento, en las cuales se presenta un asentamiento interferido debido a la cercanía entre partículas. Dicha cercanía permite a las partículas, gracias a las fuerzas entre ellas, tener una posición relativa fija de unas con otras; se forma una matriz porosa soportada por el fluido que desplazan, y como resultado la masa de partículas se desplaza hacia el fondo como un solo bloque, creando una interfase clara de separación entre el sobrenadante clarificado y el lodo, en un régimen descrito como sedimentación zonal.

## 1.2.8 FILTRACION

### 1.2.8.1 DESCRIPCIÓN DE LA FILTRACIÓN

El filtro rápido por gravedad es el tipo de filtro más usado en tratamiento de aguas. La operación de filtración supone dos etapas: filtración y lavado. En un filtro rápido convencional, el final de la etapa de filtración o carrera del filtro se alcanza cuando los sólidos suspendidos (turbiedad) en el efluente comienzan a aumentar; cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m de pérdida, o cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más. Generalmente; cuando una de las condiciones anteriores se presenta, se procede a lavar el filtro para remover el material suspendido acumulado dentro del lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración. Usualmente el lavado se hace invirtiendo el flujo a través del filtro, aplicando un flujo suficiente de agua para fluidizar el medio filtrante y producir el frote entre los granos del mismo, y desechando el material removido a través de las canaletas de lavado.



**Fig. 1.2.8 – a** (ESQUEMA DE UN FILTRO RAPIDO)

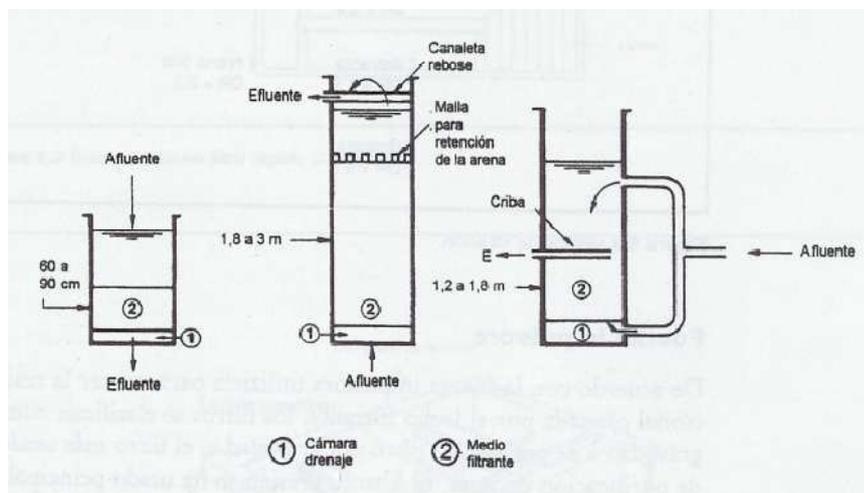
Fuente: Romero J, Purificación del Agua

### 1.2.8.2 SISTEMAS DE FILTRACIÓN

Muchos son los sistemas de filtración propuestos y construidos; sin embargo, se puede hacer una clasificación de acuerdo con la dirección de flujo, el tipo de lecho filtrante, la fuerza impulsora, la tasa de filtración y el método de control de la tasa de filtración.

- **Dirección de flujo**

De acuerdo con la dirección de flujo, los filtros pueden ser de flujo hacia abajo, hacia arriba, o de flujo dual, como se esquematiza en la figura 1.2.8 – b.

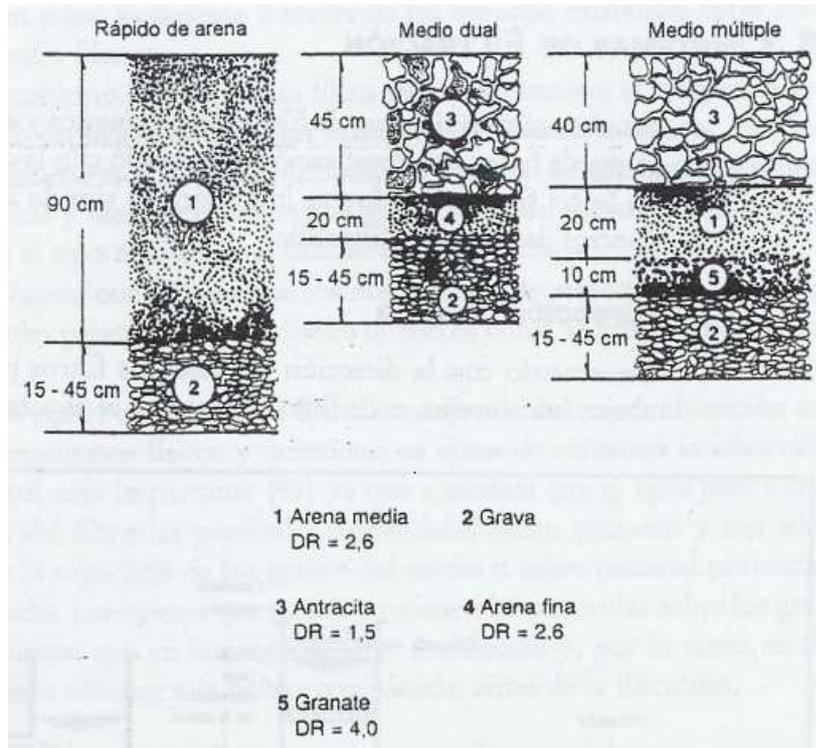


**Fig. 1.2.8 – b (DIRECCION DEL FLUJO EN UN FILTRO)**

Fuente: Romero J, Purificación del Agua

- **Tipo de lecho filtrante**

Los filtros utilizan generalmente un solo medio, arena o antracita; un medio dual, arena y antracita, o un lecho mezclado: arena, antracita y granate o ilmenita. La figura 1.6.7 – c permite comparar los tres tipos de medios filtrantes comúnmente usados en tratamientos de aguas.



**Fig. 1.2.8 – c** (TIPOS DE LECHOS FILTRANTES)

Fuente: Romero J, Purificación del Agua

- **Fuerza impulsora**

De acuerdo con la fuerza impulsora utilizada para vencer la resistencia friccional ofrecida por el lecho filtrante, los filtros se clasifican como filtros de gravedad o de presión. El filtro por gravedad es el filtro más usado en plantas de purificación de agua. El filtro a presión se ha usado principalmente en la filtración de aguas para piscinas y en pequeñas plantas donde su instalación es ventajosa.

- **Tasa de filtración**

Los primeros filtros usados para tratamiento de agua fueron los filtros lentos, los cuales utilizan una capa de arena fina de 1 m soportada sobre un lecho de grava de aproximadamente 0,30 m. Estos filtros fueron luego remplazados por los filtros rápidos, filtros de arena, generalmente con lavado ascensional, con tasas de filtración mucho mayores y, por consiguiente, con requerimientos de área mucho menores. Posteriormente, con el uso de medios filtrantes duales o lechos mezclados, se lograron

diseños mucho más económicos en área, al usar tasas de filtración todavía mayores que las de los filtros rápidos convencionales.<sup>5</sup>

### **1.2.9 DESINFECCIÓN**

El cloro es indudablemente el elemento más importante que existe para la desinfección del agua. Se suele usar en una dosis de 0,0001% que destruye todos los microbios en cuatro minutos.

Además se usa para:

- Eliminar olores y sabores.
- Decolorar.
- Ayudar a evitar la formación de algas.
- Ayudar a quitar el hierro y manganeso.
- Ayudar a la coagulación de materias orgánicas.

Este método asegura la calidad sanitaria del agua mediante la inyección de gas cloro a través de dosificadores automáticos a las aguas que ya fueron tratadas para eliminar la presencia de microorganismos que hayan permanecido en éstas o que se hayan incorporado luego de ser tratadas para evitar contaminaciones en la red de distribución. Cuando la fuente es agua subterránea o proviene de pozo filtrante (pozo a orillas del río que percola el agua del mismo), el único tratamiento que requiere generalmente es la desinfección.

Durante todo el proceso de potabilización se realizan controles analíticos de calidad.

La suma de las etapas para potabilizar el agua se realiza en aproximadamente 2 horas.<sup>6</sup>

## **1.3 REDISEÑO**

El rediseño del sistema de tratamiento de agua potable requiere del estudio y la selección de procesos y operaciones adecuados para mejorar la calidad y producir agua que cumpla con las normas de calidad correspondientes.

---

<sup>5</sup>ROMERO, Jairo “Purificación del Agua” Jairo Alberto Romero Rojas, editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería

<sup>6</sup>PURSCHEL, Wolibang, “Calidad de las aguas y su tratamiento”, Wolibang Pürschel, editorial, URMO

### 1.3.1 MEZCLA RÁPIDA EN VERTEDEROS RECTANGULARES

Para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda, el coagulante debe aplicarse sobre la sección 1, a una distancia  $L_m$  del vertedero. La aplicación del coagulante a una distancia menor a  $L_m$  no es recomendable, porque haría que una parte del agua cruda recibiese una dosis mayor de coagulante y la restante una dosis menor. Cuando la lámina de agua llega al fondo, se divide en una corriente principal que sigue adelante y una corriente secundaria que retorna haciendo que una masa de agua sea represada contra el vertedero. El chorro secundario arrastra un volumen igual al punto A y retorna la corriente a la misma tasa  $Q_3$  haciendo que una parte del agua reciba una cantidad mayor de coagulante que la porción restante y disminuyendo consecuentemente la eficiencia de la coagulación. Sin embargo debe reconocerse que si se aplica el coagulante a una distancia menor a  $L_m$  se aprovecha toda la energía del resalto para la mezcla.

La distancia  $L_m$  puede calcularse, aproximadamente, por la ecuación de Scimeni.

$$L_m = 1,45P^{0,54}H^{0,46} \quad (\text{ec. 1.3.1 - a})$$

Donde:

P: Altura del vertedero

H: Altura de la lámina de agua

El valor  $L_m$  calculado por la ecuación anterior se incrementa para tener en cuenta la distancia adicional correspondiente al ancho de la lámina vertiente en el punto de reposo.

La profundidad crítica de flujo,  $h_c$ , es:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad (\text{ec. 1.3.1 - b})$$

Donde:

q: Caudal

g: Gravedad

La aceleración esta dado por:

$$q = \frac{Q}{B} \quad (\text{ec. 1.3.1 - c})$$

Donde:

Q: Caudal de entrada

B: Ancho del vertedero

Cuando hay resalto, la profundidad del agua en la sección 1 debe estar relacionada con la profundidad crítica,  $h_c$ , por la ecuación de White:

$$\frac{h_1}{h_c} = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} \quad (\text{ec. 1.3.1 - d})$$

Las profundidades antes y después del resalto están relacionadas entre sí por:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1}{2} \quad (\text{ec. 1.3.1 - e})$$

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}} \quad (\text{ec. 1.3.1 - f})$$

El número de Froude en la sección 1, para que haya resalto estable y mezcla eficiente, debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.

Los valores de  $v_1$  y  $v_2$  se calculan por las expresiones:

$$v_1 = \frac{q}{h_1} \quad (\text{ec. 1.3.1 - g})$$

$$v_2 = \frac{q}{h_2} \quad (\text{ec. 1.3.1 - h})$$

El valor de la pérdida de energía en el resalto,  $h$ , se calcula por la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} \quad (\text{ec. 1.3.1 - i})$$

La longitud de resalto,  $L_j$ , para resalto estable se calcula por la fórmula de Smetana:

$$L_j = 6(h_2 - h_1) \quad (\text{ec. 1.3.1 } j)$$

El tiempo de mezcla se calcula:

$$t_m = \frac{L_j}{v_m} \quad (\text{ec. 1.3.1 } - k)$$

La velocidad media en el resalto,  $v_m$ , esta dado por:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} \quad (\text{ec. 1.3.1 } - l)$$

El gradiente de velocidad, por la ecuación convencional:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t_{RE}}} \quad (\text{ec. 1.3.1 } - m)$$

Donde:

- $\gamma$ :       Peso específico del agua
- $h$ :       Perdida de energía en el resalto
- $\mu$ :       Viscosidad dinámica del agua
- $t_{RE}$ :    Tiempo de retención

### 1.3.2 CRITERIOS PARA DISEÑO DE FLOCULADORES HIDRÁULICOS

- Los floculadores de flujo horizontal se usan para plantas de tratamiento pequeñas de caudales menores de 50L/s.
- No necesita de equipo mecánico.
- Mantenimiento mínimo.

- Para el diseño de floculadores hidráulicos se puede tener en cuenta algunos cálculos como:

- ✓ La distancia total recorrida por el agua,
- ✓ Volumen de agua a mezclar aproximadamente cada 30 min.
- ✓ El área transversal requerida de un canal entre bafle
- ✓ Calcular la distancia recomendada entre bafles
- ✓ Calcular la profundidad total del tanque
- ✓ Calcular el ancho útil de la cámara de floculación y el número de canales requeridos

- Según Arboleda:

$$G = 10 - 100 \text{ s}^{-1}$$

$$Gt = 20000 - 150000$$

$$t = 15 - 20 \text{ min}$$

$$H = h_f + h \quad (\text{ec. 1.3.2 - a})$$

La pérdida por fricción,  $h_f$ , se calcula por la fórmula de Manning,

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}} \quad (\text{ec. 1.3.2 - b})$$

Donde:

$n$  = Factor de fricción para el material

$h_f$  = Pérdidas por fricción

$v$  = Velocidad de flujo

$L$  = Longitud

$R$  = Relación factor área.

Con  $n = 0,013$  para superficies de cemento, y  $n = 0,012$  para asbesto-cemento. La pérdida adicional,  $h$ , en floculadores de flujo horizontal, se calcula por:

$$h = \frac{3(N - 1)v^2}{2g} \quad (\text{ec. 1.3.2 - c})$$

Donde:

$h =$  Pérdida adicional por curvas en el canal

$N - 1 =$  Número de baffles

$v =$  Velocidad promedio de flujo

$H =$  Pérdida de energía en el floculador

El espaciamiento entre los tabiques y la pared, igual a 1,5 veces la separación entre tabiques. Sin embargo, para minimizar el efecto del flujo longitudinal, sin crear bloques ni efecto de contraflujo en las curvas

- Según Insfopal, para floculadores de flujo horizontal:

$t =$  15 – 60 min

Altura mínima = 0,90 m

Separación mínima entre tabiques = 0,45 m

Velocidad de flujo = 0,15 – 0,45 m/s

$$H = h_f + h$$

### 1.3.3 CRITERIOS PARA DISEÑO DE SEDIMENTADORES DE TASA ALTA

Por sedimentación de tasa alta, sedimentadores de poca profundidad, se entiende sedimentación en elementos poco profundos, en módulos de tubos circulares, cuadrados, hexagonales, octogonales, de placas planas paralelas, de placas onduladas o de otras formas, en tanques poco profundos, con tiempos de retención menores de 15 minutos. La característica principal de un sedimentador de alta tasa es su poca profundidad.

En el modelo de Hazen y Camp para tanques de sedimentación convencionales con flujo uniforme, la carga superficial del tanque de sedimentación representa la velocidad crítica de asentamiento de las partículas suspendidas; teóricamente, toda partícula con velocidad de asentamiento mayor o igual que la velocidad crítica será removida en el tanque. En el modelo de Yao, se generaliza la teoría de sedimentación de Camp a los sedimentadores inclinados, suponiendo sedimentación de partículas discretas en tanques de alta tasa con flujo laminar y unidimensional.

- Carga superficial o tasa de sedimentación superficial.

Para sedimentadores de tasa alta tampoco existe un criterio unificado de valores de carga superficial; algunos de los intervalos o valores recomendados en la literatura se incluyen en el cuadro siguiente.

**TABLA 1.3.3 – 1**  
(Valores de tasa de sedimentación superficial)

CS m/d	OBSERVACIONES
120 – 300	
120 – 240	Flujo ascensional
150 – 240	Flujo horizontal, $T < 4C$ , $NTU < 100$
150 – 180	Flujo horizontal, $T < 4C$ , $NTU 100 – 1000$
150 – 240	Flujo horizontal, $T > 10C$ , $NTU < 100$
150 – 180	Flujo horizontal, $T > 10C$ , $NTU 100 – 1000$
60 – 240	Valor promedio 180 m/d
150	Floc de alumbre, agua fría
216	Sedimentadores tubulares
180 – 300	Sedimentadores tubulares

Fuente: Romero J, Purificación del Agua

- Profundidad.

La eficiencia del tanque de sedimentación es afectada por el grado de floculación de los sólidos suspendidos, el cual, a la vez, depende del tiempo de retención. El volumen del tanque de sedimentación es igual al producto de su área superficial  $A$  por la profundidad  $d$ :

$$V = A \times d \quad (\text{ec. 1.3.3 – a})$$

El tiempo de retención es igual al volumen del tanque dividido por el caudal:

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{Ad}{Q} \quad (\text{ec. 1.3.3 - b})$$

Por consiguiente, el tiempo de retención teórico es directamente proporcional a la profundidad; por ello, la eficiencia de remoción de partículas floculentas dependerá de la profundidad del tanque. Sin embargo, la eficiencia de remoción no está relacionada linealmente con el tiempo de retención.

- Tiempo de retención.

El tiempo de retención depende del propósito del sedimentador. Para tanques o dársenas de sedimentación simple, el tiempo de retención debe ser lo suficientemente largo como para permitir el asentamiento de partículas con velocidad de asentamiento muy baja; en este caso el tiempo de retención puede ser de varios días.

En tanques convencionales usados para sedimentación de los sólidos provenientes de coagulación o ablandamiento de aguas, un tiempo de retención de 2 a 4 horas es generalmente suficiente como preparación del agua para su filtración subsecuente.

- Velocidad horizontal.

La velocidad de flujo a través del tanque de sedimentación no será uniforme en toda la sección transversal del tanque perpendicular a la dirección de flujo, aunque la entrada y salida sean diseñadas para distribución uniforme, debido a la existencia de corrientes de densidad, corrientes de inercia, cortocircuito y operación de mecanismos de remoción de lodos.

Para tanques de alta tasa se recomiendan valores de velocidad promedio de flujo menores de 1 *cm/s*.

Según Smethurst, la velocidad media en el tanque de sedimentación debe ser menor de 2 *cm/s*.

- Unidades de entrada y salida del sedimentador.

La entrada al sedimentador se diseña para distribuir el agua uniformemente sobre la sección transversal del tanque entre el floculador y el sedimentador. Es importante para controlar corrientes de densidad e inercia, y afecta por ello en mayor grado la eficiencia del sedimentador.

El propósito de la unidad de salida es similar al de la unidad de entrada, o sea proveer una transición suave entre la velocidad de flujo en el sedimentador y la velocidad en la tubería efluente, generalmente el nivel del agua en el sedimentador se controla a la salida. Las salidas pueden ser vertederos o aberturas sumergidas con control manual ejercido por las válvulas de control de nivel de entrada a los filtros.

### 1.3.4 CRITERIOS PARA REDISEÑO DE FILTROS

En las plantas pequeñas el número mínimo es dos y una uno si existe suficiente almacenamiento de agua tratada para el lavado del filtro y para las necesidades de consumo durante la puesta fuera de servicio del filtro. El tamaño máximo de cada filtro depende principalmente de la tasa de lavado y de la conveniencia de garantizar una distribución uniforme de agua de lavado. También depende del diseño estructural y de la reducción de la capacidad filtrante de la planta, cuando se pone una unidad fuera de servicio para su lavado. Según Morril y Wallace la expresión para calcular el número de filtros:

$$N = 0,044\sqrt{Q} \quad (\text{ec. 1.3.4} - a)$$

Donde:

$$Q = \text{Caudal de la planta en m}^3/\text{día}$$

La selección del medio filtrante es determinada por la durabilidad requerida, el grado deseado de purificación, la duración de la carrera del filtro y la facilidad deseable de su lavado.

El medio ideal debe poseer un tamaño tal que permita obtener un efluente satisfactorio; debe ser de un material durable, capaz de retener la máxima cantidad de sólidos y ofrecer facilidad para limpiarlo con una cantidad mínima de agua de lavado.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup>ROMERO, Jairo "Purificación del Agua" Jairo Alberto Romero Rojas, editorial, Escuela Colombiana de Ingeniería

# **CAPÍTULO II**

## **Parte Experimental**

## CAPÍTULO II

### 2.1 MUESTREO

#### 2.1.1 LOCALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El Rediseño de la Planta de Tratamiento de Agua Potable “SANTA ROSA” se realizó en la parroquia Santa Rosa de la ciudad de Ambato, provincia de Tungurahua.

#### 2.1.2 MÉTODO DE RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

El método de investigación que se utilizó para el presente trabajo fue comparativo; se relacionó entre todos los datos obtenidos durante la elaboración del tema lo que nos permitió efectuar el dimensionamiento y el rediseño del sistema de tratamiento de agua potable.

#### 2.1.3 PROCEDIMIENTO PARA LA RECOLECCIÓN DE LA INFORMACIÓN

Para la recolección de la información se tomó en cuenta los siguientes aspectos:

**TABLA 2.1.3 – 1**  
**PLAN DE MUESTREO**

LUGAR DE MUESTREO	NUMERO DE MUESTRAS DIARIAS	DIAS DE MUESTREO	TOTAL DE MUESTRAS SEMANAL	TOTAL DE MUESTRAS ANALIZADAS
Agua captada	1	3	3	15
Agua tratada	1	3	3	15

*Fuente: Autor*

- Se contó con la colaboración del Director de la zona sur, el Jefe del departamento Técnico de la EMAPA y la Jefa del departamento de Control de Calidad el que supervisó las mediciones y cálculos realizados en el área.
- Se revisó con el director de tesis y asesores docentes los datos obtenidos en las mediciones con la finalidad de realizar los cálculos correspondientes para el rediseño de la planta.

#### **2.1.4 PLAN DE TABULACIÓN Y ANÁLISIS**

Se tabuló los datos obtenidos luego de cada análisis físico – químico y microbiológico, luego se procedió a realizar un promedio semanal comparando todos los datos obtenidos en el transcurso de la semana. El análisis se efectuó con los datos obtenidos semanalmente tomando en cuenta variaciones atípicas en los parámetros de análisis.

### **2.2 METODOLOGIA**

#### **2.2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

Se trabajó con dos muestras diarias una de agua captada y otra de agua tratada de la planta de tratamiento de agua potable “SANTA ROSA” dichas muestras se denominaron con los números 1 y 2 respectivamente. Las muestras fueron trasladadas el mismo día al laboratorio de Control de Calidad de la EMAPA ubicado en la planta de Tratamiento “CASIGANA”, luego se realizó el análisis físico – químico y microbiológico de las aguas y la prueba de jarras para el agua captada dosificando policloruro de aluminio en el laboratorio de control de producción.

#### **2.2.2 TRATAMIENTOS DE MUESTRAS**

Se tomó 2 muestras diarias a las que se realizó la caracterización físico – química del agua que consta 17 parámetros: temperatura, pH, color, turbiedad, conductividad, sólidos totales, alcalinidad total, dureza, calcio, hierro, aluminio, fluor, cloruros, sulfatos, nitritos, nitratos, arsénico. Además se realizó el análisis microbiológico a cada muestra y la respectiva prueba de tratabilidad o denominada también prueba de jarras al agua captada utilizando policloruro de aluminio al 5%.

#### **2.2.3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS**

##### **2.2.3.1 Equipos:**

- Espectrofotómetro HACH
- pH-metro
- Agitador magnético
- Balanza

- Conductímetro
- Turbidímetro
- Equipo de jarras

#### **2.2.3.2 Materiales:**

- Erlenmeyer
- Pipetas
- Peras
- Papel filtro
- Vasos de precipitación
- Pipetas automáticas 100  $\mu$ L y 1000  $\mu$ L
- Balones aforados de 100mL
- Buretas 50mL

#### **2.2.3.3 Reactivos:**

- Solución de Buffer
- Solución EDTA
- Colorante negro cromo T (Indicador)
- Soluciones amortiguadoras de pH 4, pH 7, pH 9
- Ortolidina
- Agua destilada
- Reactivo Al-1A
- Reactivo Al-2A
- Reactivo Al-3A
- Anaranjado de metilo
- Ácido sulfúrico 0.02 N

## 2.2.4 METODOS Y TECNICAS

### 2.2.4.1 METODOS

Los métodos que se utilizaron están adaptados al manual “Standard Methods for Examination of Water and Wastewater” (Métodos Normalizados para el análisis de Aguas Potables y Residuales)

**TABLA 2.2.4.1 – 1**  
**DESCRIPCIÓN DE METODOS DE ANALISIS**

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
RECOLECCIÓN DE MUESTRAS		Recoger 2 tipos de muestras (agua captada y agua tratada) en un volumen aproximado a 500 mL
TURBIEDAD	Nefelométrico	Utilizar el turbidímetro para el análisis.
COLOR	Comparativo	Observación a través del comparador de color.
pH	Electrométrico	En este ensayo se hace uso del electrodo de cristal
SOLIDOS TOTALES DISUELTOS	Electrométrico	Usar el electrodo de cristal adecuado para lectura de sólidos totales
ALCALINIDAD	Volumétrico	Tomar 50 mL de muestra + 4 gotas de anaranjado de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0.02 N (mL valorados x 20).
DUREZA	Volumétrico	Tomar 50 mL de muestra + 1 mL de buffer de dureza + una porción de negro de ericromo T en polvo, valoramos con EDTA (mL valorados x 20).
CONDUCTIVIDAD	Electrométrico	Tomar el dato luego de la lectura con el conductímetro.
NITRITOS	Y Comparativo	Sumergir la tira por 30 s y comparar.
NITRATOS	Espectrofotom	Colocar los reactivos indicados en el manual y leer

	étrico	los resultados
ALUMINIO	Comparativo	1.5 mL de agua destilada + 1 cucharadita de reactivo AL-1A+ 1.5 mL del reactivo AL-2A y 2 gotas del reactivo AL-3, agitar y comparar.
HIERRO	Espectrofotométrico	Colocar los reactivos indicados en el manual y leer los resultados
CALCIO	Volumétrico	25 mL de muestra + 1 mL de KCN + 1 mL de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida Titular con EDTA (0.02M)
CLORUROS	Volumétrico	25 mL de muestra + 4 gotas de $K_2CrO_7$ Titular con $AgNO_3$ (0.01N)
FLUOR	Elctrométrico	Colocar muestra en un vaso de precipitación luego introducir el ionómetro y leer los resultados
ARSÉNICO	Comparativo y espectrofotométrico	Seguir las indicaciones del kit rápido de análisis de campo. Seguir las indicaciones del manual y leer los resultados
SULFATOS	Espectrofotométrico	En un balón de 100 mL, colocamos una porción de muestra + 2 mL de solución acondicionadora + aproximadamente 1 g de $BaCl_2$ , aforar con la muestra, medir en el fotómetro a 410 nm
MICROBIOLOGICO ( Coliformes totales y fecales)	Sembrado	Luego de esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, se siembra y se toma la lectura a las 24 horas, se realiza el conteo de las colonias si las hubiere.

**FUENTE:**autor

## 2.2.4.2 TECNICAS

### Potencial de hidrógeno pH

TABLA 2.2.4.2 – 1

#### SATANDARD METHODS\* 4500-HB

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
El pH es el parámetro que nos indica la alcalinidad o acidez del agua, en un escala numérica de 1 a 14. Si el agua es ácida el pH es menor a 7, si es básica mayor a 7, si es igual a 7 es neutro.	<ul style="list-style-type: none"><li>• pHmetro digital.</li><li>• Un vaso de precipitación de 250mL.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Soluciones buffer pH 4 y pH 7 y pH10</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Verificar que el pHmetro este calibrado utilizando las soluciones buffer (el siguiente orden 4,7 y10 de pH) estas que se encargan de realizar pequeños cambios de su potencial de estado y mantener a este.</li><li>• Colar el electrodo dentro del vaso.</li><li>• Leer directamente el valor en el equipo.</li></ul>	Lectura directa

\*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

## Conductividad

**TABLA 2.2.4.2 – 2**

**STANDARD METHODS\* 2510**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica, depende de la presencia de iones y su concentración total, de su movilidad valencia y sus concentraciones relativas así como de la temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductimetro</li> <li>• Vaso de precipitado de 250mL</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar la muestra problema en un vaso de precipitación y vertimos en el recipiente que trae el conductimetro.</li> <li>• Tomar la lectura en el conductimetro el cual trae tres diferentes escalas (0-1, 0-10, 0-1000) micro ohms *cm, la misma que tenemos que regular de acuerdo a la escala que se requiera.</li> </ul>	Lectura directa

\*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

## Turbidez

**TABLA 2.2.4.2 – 3**

### MÉTODO HACH\* 46500-88

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>La turbidez mide la intensidad de color en el agua que se obtiene en la captación de agua cruda y luego de la filtración (agua tratada), este equipo identifica toda impureza finamente dividida, cualquiera que sea su naturaleza, que pueda ser suspendida. Estas impurezas pueden ser de origen inorgánicas tales como las arcillas, limos, carbonatos de calcio, sílice, hidróxido férrico, azufre, etc. O pueden ser de naturaleza orgánica tales como materia vegetal finamente dividida, aceites, grasas, microorganismos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2100P Turbidímetro HACH Chemical Company</li> <li>• Celda</li> <li>• Pizeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua Problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar en la celda el agua recolectada en el tanque de recepción. Y agua tomada luego del proceso de filtración</li> <li>• Colocar la celda en el turbidímetro.</li> <li>• Leer directamente el valor según la escala deseada (0-1, 0-10, 0-100 NTU).</li> </ul>	Lectura directa

\*HACH MODEL 2100P TURBIDIMETER

### Alcalinidad total

**TABLA 2.2.4.2 – 4**  
**STANDARD METHODS\* 4500HB**

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
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 los que se puede tomar como una medida directa de la concentración de estos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 50mL</li> <li>• Pipeta de 1mL</li> <li>• Vaso de precipitados de 250mL</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 0,02N</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 50mL de muestra</li> <li>• Agregar 4 gotas de anaranjado de metilo</li> <li>• Valorar con ácido sulfúrico 0,02N</li> <li>• Leer el valor de titulación..</li> </ul>	mL valorados por 20

\*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

## Dureza total

**TABLA 2.2.4.2 – 5**

### STANDARD METHODS\* 4500HB

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<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 disueltos generalmente en forma de carbonatos que por calentamiento pueden formar bicarbonatos que son la causa de incrustación en los sistemas de transporte de agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probeta de 100mL.</li> <li>• Pipeta de 1mL.</li> <li>• Vaso de precipitado de 250mL.</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 50mL de agua</li> <li>• Adicionar 1mL de buffer de dureza</li> <li>• Agregar una pequeña porción de negro d eriocromo T</li> <li>• Valorar con la solución de EDTA</li> <li>• Leer el valor de titulación</li> </ul>	<p>mL valorados por 20</p>

\*STANDARD METHODS 2550 Edición 17.

## Color

**TABLA 2.2.4.2 – 6**

### **MÉTODO HACH\***

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>
El color es causado por la presencia de sólidos suspendidos, material coloidal y sustancias en solución. El color producido por sólidos suspendidos se denomina Color Aparente. Mientras que el color causado por sustancias disueltas y coloidales se demonizan color verdadero.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Colorímetro HACH</li><li>• Vaso de precipitado de 250MI</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Tomar la muestra en un vaso de precipitación y colocar en la celda.</li><li>• Colocar la rueda colorimétrica de aguas crudas y leer comparativamente.</li><li>• De la misma manera colocar la rueda colorimétrica para aguas limpias y leer comparativamente.</li><li>• Anotar la lectura directamente.</li></ul>

\* HACH MODEL DR/4000V

**Sólidos totales disueltos**

**TABLA 2.2.4.2 – 7**

**METODO HACH\***

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>Los sólidos totales es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua. Se puede calcular tomando la suma de las concentraciones de todos los cationes y aniones indicados en la parte del análisis del agua o puede también ser medida evaporando una muestra de agua para secarla y posteriormente pesar sus residuos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitación de 250mL</li> <li>• Electrodo sensible HACH</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua cruda</li> <li>• Agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar aproximadamente 100mL de agua cruda en el vaso de 250mL.</li> <li>• Leer directamente la medida en el HACH series.</li> <li>• Realizar el mismo procedimiento con agua tratada.</li> </ul>	<p>Leer directamente el valor de STD.</p>

\* HACH Model Series

## Hierro

TABLA 2.2.4.2 – 8

### MÉTODO HACH\* 2165

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
Es un constituyente inorgánico que está presente en las aguas de formación por lo tanto en los lodos provenientes de estas. El oxido de tubos de hierro o acero, también pueden aumentar la concentración de materiales disueltos, así como la cantidad total de hierro.	<ul style="list-style-type: none"><li>• HACH 2004</li><li>• Pipeta de 1mL</li><li>• Piceta</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ferrover</li><li>• Agua destilada</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Diluir 1mL del agua problema en 25mL de agua destilada.</li><li>• Programar el equipo HACH en 2165 que corresponde a la lectura de la cantidad de hierro.</li><li>• Encerar el equipo con la dilución anteriormente preparada.</li><li>• Agregar el reactivo Ferrover a la dilución y colocar en el HACH para tomar la lectura.</li></ul>	Lectura del HACH *25

\* HACH MODEL DR/4000V

## Cloruros

**TABLA 2.2.4.2 – 9**

### STANDARD METHODS

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLCULOS
<p>El cloruro en la forma de iones <math>\text{Cl}^-</math>, es uno de los principales aniones presentes en el lodo. Los mismos que pueden encontrarse en altas concentraciones esto depende de la formación de la que procede.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureta</li> <li>• Probeta de 100mL</li> <li>• Pipeta de 1mL</li> <li>• Vaso de precipitado de 250mL</li> <li>• Agitador magnético</li> <li>• Magnetor</li> <li>• Pizeta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dicromato de Potasio.</li> <li>• Nitrato de plata 0,01 N.</li> <li>• Agua destilada.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomar 25mL de la muestra de agua cruda en un Erlenmeyer de 100mL.</li> <li>• Agregar unas gotas de indicador de dicromato de potasio Chloride2 el cual nos dará una coloración amarilla</li> <li>• Titular con nitrato de plata hasta cambio de color.</li> </ul>	<p>Dígitos * 0.5 * factor de Dilución</p>

\*STANDARD METHODS 2550 edición 17

## Nitritos y Nitratos

**TABLA 2.2.4.2 – 10**

### **METODO HACH**

<b>CONCEPTO</b>	<b>MATERIALES</b>	<b>REACTIVOS</b>	<b>PROCEDIMIENTO</b>	<b>CÁLULOS</b>
Los niveles naturales de nitratos en aguas superficiales y subterráneas son generalmente de unos pocos miligramos por litro. En muchas aguas subterráneas, se ha observado un incremento de los niveles de nitratos debido a la intensificación de las prácticas agrícolas y ganaderas.	<ul style="list-style-type: none"><li>• HACH 2004</li><li>• Pipeta de 1mL</li><li>• Vaso de precipitado de 250mL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reactivo NitriVer.</li><li>• Reactivo NitraVer</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Colocar 10mL de muestra de agua cruda con el reactivo NitriVer en la celda del HACH 2004.</li><li>• Colocar la celda en el HACH 2004</li><li>• Leer el valor directamente.</li></ul>	Leer el valor directamente.

\* HACH MODEL DR/4000V

## Aluminio

**TABLA 2.2.4.2 – 11**

### METODO HACH\*

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLULOS
<p>El aluminio está en forma natural en el ambiente y constituye casi el 8% de la superficie terrestre. Siempre se encuentra combinado con otros elementos tales como oxígeno, sílice y cloro. Se recomienda que la concentración de aluminio en el agua potable no sobrepase 0.2 ppm.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• HACH 2004</li> <li>• Pipeta de 1mL</li> <li>• Vaso de precipitado de 250mL</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Reactivo Aluver.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 10mL de muestra de agua cruda con el reactivo AluVer en la celda del HACH 2004.</li> <li>• Colocar la celda en el HACH 2004</li> <li>• Leer el valor directamente.</li> </ul>	<p>Leer el valor directamente.</p>

\* HACH MODEL DR/4000V

## Calcio

**TABLA 2.2.4.2 – 12**

**STANDARD METHODS \***

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLULOS
<p>El calcio es el 5° elemento en orden de abundancia en la corteza terrestre, su presencia en las aguas naturales se debe a su paso sobre depósitos de piedra caliza, yeso y dolomita. La cantidad de calcio puede variar desde 0 hasta varios cientos de mg/l, dependiendo de la fuente y del tratamiento del agua.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bureta</li> <li>• Pipeta de 1mL</li> <li>• Vaso de precipitado de 250mL</li> <li>• Erlenmeyer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cianuro de potasio</li> <li>• Hidróxido de sodio 1N</li> <li>• Murexida</li> <li>• EDTA 0,02M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar 25 mL de muestra + 1 mL de KCN + 1 mL de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida</li> <li>• Titular con EDTA (0.02M)</li> </ul>	<p>Multiplicar por el factor correspondiente.</p>

\* STANDARD METHODS 2550 edición 17

## Sulfatos

TABLA 2.2.4.2 – 13

### STANDARD METHODS \*

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLULOS
Los altos niveles de sulfato pueden corroer tuberías, particularmente las de cobre. En áreas con altos niveles de sulfato, normalmente se utilizan materiales más resistentes a la corrosión para las tuberías, tales como tubos de plástico.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Bureta</li><li>• Pipeta de 1mL</li><li>• Vaso de precipitado de 250mL</li><li>• Erlenmeyer</li><li>• Espectrofotómetro</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Solución sulfatos</li><li>• Cloruro de bario</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• En un balón de 100 mL, colocamos una porción de muestra + 2 mL de solución acondicionadora + aproximadamente 1 g de BaCl<sub>2</sub>, aforar con la muestra,</li><li>• Medir en el fotómetro a 410 nm</li></ul>	Multiplicar por el factor correspondiente.

\* STANDARD METHODS 2550 edición 17

## Arsénico

TABLA 2.2.4.2 – 14

### METODO COLOR HACH \*

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLULOS
<p>La ingestión de pequeñas cantidades de arsénico puede causar efectos crónicos por su acumulación en el organismo.</p> <p>Envenenamientos graves pueden ocurrir cuando la cantidad tomada es de 100 mg. Se ha atribuido al arsénico propiedades cancerígenas.</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Pipeta de 1mL</li><li>• Vaso de precipitado de 250mL</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Reactivo arsenic</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• En el frasco de análisis colocar 25mL de agua adicionar el reactivo arsenic</li><li>• Introducir la cinta color para medir comparativamente el nivel de arsénico.</li></ul>	<p>Leer con la escala de color comparativa</p>

\* METODO COLOR HACH

## Fluor

**TABLA 2.2.4.2 – 15**

### METODO HACH \*

CONCEPTO	MATERIALES	REACTIVOS	PROCEDIMIENTO	CÁLULOS
<p>Cuando los niveles de fluor superan el valor máximo se produce el veteado en los dientes de aquellas personas que han consumido esta agua (hasta los 8 años) cuando los dientes están en formación. Cuando el contenido de fluor supera las 3 ppm puede aparecer una grave afección en los huesos llamada osteoporosis.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vaso de precipitado de 250mL</li> <li>• Ionómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Agua cruda</li> <li>• Agua tratada</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Colocar aproximadamente 100mL de agua cruda en un vaso de 250mL</li> <li>• Introducir el ionómetro HACH series</li> <li>• Tomar la lectura.</li> </ul>	<p>Leer directamente el valor</p>

\* METODO HACH

## **2.3 DATOS EXPERIMENTALES**

### **2.3.1 DETERMINACION DEL ESTADO ACTUAL DE LA PLANTA**

El sistema de tratamiento “Santa Rosa” se abastece actualmente del agua proveniente de la acequia Cunuyacu – Chimborazo, que realiza su recorrido desde los deshielos del nevado Chimborazo acarreado durante su trayecto gran cantidad de contaminantes orgánicos, que luego en su descomposición pueden generar microorganismos que se eliminan en el proceso de potabilización.

Para determinar el estado actual de la planta se realizó el análisis físico – químico y microbiológico del agua cruda que ingresa a la planta de tratamiento mediante tubería y del agua tratada sin desinfectar proveniente del cajón de recepción del agua de filtros.

Los análisis de turbiedad y pH, se realizaron in situ en la planta de tratamiento “Santa Rosa” los demás parámetros se analizaron en el laboratorio de Control de Calidad de agua y en el laboratorio de Control de la Producción de la EMAPA ubicado en la planta de tratamiento “Casigana”.

#### **2.3.1.1 CAPTACIÓN**

Consta de una caja de concreto que mide 1,60m x 1,70m x 1,24m el agua llega al interior de la planta mediante tubería de hierro, la estructura se divide en dos vertederos que sirven como aforadores el caudal máximo oscila entre 9 y 10 L/s.

A su salida existe una tubería que conduce el agua hasta los presedimentadores que se encuentran a una distancia de 1,25m.

#### **2.3.1.2 PRESEDIMENTADORES**

La dimensión de los dos presedimentadores contruidos de hormigón unidos es 11,0m x 6,75m con una profundidad máxima en el desagüe de 3,50m cuya altura va declinando hasta una mínima de 1,93m su función es sedimentar sin ayuda de productos químicos la mayor cantidad de materiales sólidos que pueden venir con el agua.

La estructura se lava cada 8 días con la finalidad de remover el lodo formado en el fondo por los materiales sedimentados.

### **2.3.1.3 FILTROS**

Son tres filtros lentos de arena cuya dimensión total es de 30m x 10,20m divididos simétricamente en tres partes iguales. Los filtros están constituidos de aproximadamente 1m de arena blanca para filtros y una capa de aproximadamente 0,40m de grava. La carrera de los filtros es de 72 horas los cuales se lavan en el turno correspondiente.

No existe un mecanismo de lavado se lo hace manualmente cada operador desagua el filtro raspa alrededor de 3cm de arena y se procede a lavar dicha arena en los lavaderos ubicados a los costados de los filtros 1 y 3.

### **2.3.1.4 CASETA DE CLORACIÓN**

La caseta de cloración donde se suministra cloro gas al agua filtrada y al agua tratada proveniente de los tanques San Francisco para luego ser almacenada en un tanque de almacenamiento y dejar que el desinfectante actúe. Esta estructura mide 2,90m x 2,10m.

### **2.3.1.5 TANQUES DE ALMACENAMIENTO**

Existen dos tanques que miden 9m y 7m de diámetro en los cuales se almacena el agua destinada a la distribución de los usuarios que cuentan con el servicio de agua potable de la parroquia.

## **2.3.2 DATOS**

### **2.3.2.1 CARACTERIZACIÓN DE LAS AGUAS CAPTADA Y TRATADA**

El agua captada fue tomada en el cajón de recepción de la planta “Santa Rosa”, el agua tratada fue tomada en el vertedero que reúne el agua de los tres filtros lentos de arena de la planta, antes de la desinfección. Se determinó Temperatura, pH y turbiedad in situ y los demás parámetros en laboratorio.

**TABLA 2.3.2.1-1a**

Caracterización Física- Química de las aguas captada y tratada de la planta de tratamiento "SANTA ROSA" (semana 1)

Parámetro	Unidades	Fecha: 12-02-08		Fecha: 13-02-08		Fecha: 14-02-08		Prom. Semanal	
		1	2	1	2	1	2	1	2
pH		7,84	7,77	7,56	7,51	7,94	7,91	7,78	7,73
Color	UTC	40	7,5	40	7,5	30	5	<b>36,67</b>	<b>6,67</b>
Turbiedad	NTU	43,9	0,85	42,3	1,2	36,6	1,12	<b>40,93</b>	<b>1,06</b>
Cond	µs	276	280	266	243	242	228	261,33	250,33
STD	mg/L	137,9	140	129,2	126	120,8	114,2	129,30	126,73
Alca. Total	mg/L	146	142	138	132	158	154	147,33	142,67
Dureza	mg/L	132	123	124	122	118	108	124,67	117,67
Calcio	mg/L	30,4	26,4	28,4	22,6	26,4	23,2	28,40	24,07
Hierro	mg/L	2,27	0,12	2,27	0,12	1,46	0,04	<b>2,00</b>	<b>0,09</b>
Aluminio	mg/L	0,16	0,168	0,13	0,111	0,13	0,11	0,14	0,13
Fluor	mg/L	0,421	0,369	0,413	0,36	0,293	0,268	0,38	0,33
Cloruros	mg/L	13	13	11	11	6,35	4,52	10,12	9,51
Sulfatos	mg/L	13,79	7,45	12,55	6,32	11,1	6,06	12,48	6,61
Nitritos	mg/L	0,013	0,006	0,013	0,006	0,02	0,006	0,02	0,01
Nitratos	mg/L	1,3	0,3	1,3	0,3	3	0,6	<b>1,87</b>	<b>0,40</b>
Arsénico	mg/L	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
Temperatura	C	13,7	13,6	13,7	13,6	13,3	13,2	13,57	13,47

1. Agua cruda

2. Agua tratada

**TABLA 2.3.2.1-1b**

Análisis microbiológico semana 1

PLANTA SANTA ROSA	Colibacilos Totales  UFC/100ml	Colibacilos Fecales  UFC/100ml	Porcentaje de eliminación bacteriana	
			Colibacilos Totales	Colibacilos Fecales
Agua cruda	312	281	<b>98,4%</b>	<b>99,64%</b>
Agua tratada	5	1		

**TABLA 2.3.2.1-2a**

Caracterización Física- Química de las aguas captada y tratada de la planta de tratamiento "SANTA ROSA" (semana 2)

Parámetro	Unidades	Fecha: 18- 02-08		Fecha:19-02-08		Fecha: 20-02-08		Prom. Semanal	
		1	2	1	2	1	2	1	2
pH		8,07	7,91	7,99	7,86	7,78	7,66	7,95	7,81
Color	UTC	30	2,5	30	2,5	15	7,5	<b>25,00</b>	<b>4,17</b>
Turbiedad	NTU	61,3	0,52	59,2	0,61	12,1	2,56	<b>44,20</b>	<b>1,23</b>
Cond	µs	243	217	241	220	235	198,8	239,67	211,93
STD	mg/L	121,5	108,7	119,2	102,8	117,6	99,4	119,43	103,63
Alca. Total	mg/L	148	142	144	138	84	80	125,33	120,00
Dureza	mg/L	106	102	98	90	102	92	102,00	94,67
Calcio	mg/L	23,2	20,8	21,4	18,6	27,2	22,4	23,93	20,60
Hierro	mg/L	2,83	0,04	2,78	0,05	1,09	0,01	<b>2,23</b>	<b>0,03</b>
Aluminio	mg/L	0,15	0,09	0,16	0,09	0,215	0,16	0,18	0,11
Fluor	mg/L	0,284	0,249	0,276	0,237	0,414	0,316	0,32	0,27
Cloruros	mg/L	8	7	7,1	6,14	16	13	10,37	8,71
Sulfatos	mg/L	7,03	5,31	6,8	6,09	29,66	20,97	14,50	10,79
Nitritos	mg/L	0,028	0,005	0,02	0,006	0,008	0,005	0,02	0,01
Nitratos	mg/L	1,1	0	3	0,6	0,8	0,2	<b>1,63</b>	<b>0,27</b>
Arsénico	mg/L	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
T	C	14,1	13,8	13,3	13,2	13,3	13,2	13,57	13,40

1. Agua cruda

2. Agua tratada

**TABLA 2.3.2.1-2b**

Análisis microbiológico semana 2

PLANTA SANTA ROSA	Colibacilos Totales  UFC/100ml	Colibacilos Fecales  UFC/100ml	Porcentaje de eliminación bacteriana	
			Colibacilos Totales	Colibacilos Fecales
Agua cruda	291	240	<b>85,56%</b>	<b>97,5%</b>
Agua tratada	42	6		

**TABLA 2.3.2.1-3a**

Caracterización Física- Química de las aguas captada y tratada de la planta de tratamiento “SANTA ROSA” (semana 3)

Parámetro	Unidades	Fecha: 26-02-08		Fecha:27-02-08		Fecha: 28-02-08		Prom. Semanal	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Ph		7,88	8,41	7,91	8,13	7,42	8,4	7,74	8,31
Color	UTC	60	15	60	15	50	10	56,67	13,33
Turbiedad	NTU	2,39	0,102	21,6	0,35	2,37	0,14	8,79	0,20
Cond	µs	128,3	214	139	196	104,9	173,1	124,07	194,37
STD	mg/L	64,1	107,1	61,1	96,2	52,4	86,5	59,20	96,60
Alca. Total	mg/L	46	62	42	58	36	52	41,33	57,33
Dureza	mg/L	54	78	48	66	30	70	44,00	71,33
Calcio	mg/L	18,4	24,8	16,6	22,8	10,4	16,8	15,13	21,47
Hierro	mg/L	0,56	0,1	0,55	0,1	1,01	0,08	0,71	0,09
Aluminio	mg/L	0,13	0,09	0,18	0,11	0,14	0,11	0,15	0,10
Fluor	mg/L	0,325	0,289	0,213	0,201	0,278	0,261	0,27	0,25
Cloruros	mg/L	13	17	7,8	9,2	15	17	11,93	14,40
Sulfatos	mg/L	43	56	28	32	7,58	16,48	26,19	34,83
Nitritos	mg/L	0,015	0,008	0,015	0,008	0,014	0,009	0,01	0,01
Nitratos	mg/L	1,8	0,6	1,8	0,6	1,8	0,4	1,80	0,53
Arsénico	mg/L	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
T	C	14,3	14,2	14,3	14,2	14,1	14,3	14,23	14,23

1. Agua cruda

2. Agua tratada

**TABLA 2.3.2.1-3b**

Análisis microbiológico semana 3

PLANTA SANTA ROSA	Colibacilos Totales UFC/100ml	Colibacilos Fecales UFC/100ml	Porcentaje de eliminación bacteriana	
			Colibacilos Totales	Colibacilos Fecales
Agua cruda	280	24		
Agua tratada	25	4	91,07%	83,33%

**TABLA 2.3.2.1 – 4a**

Caracterización Física- Química de las aguas captada y tratada de la planta de tratamiento “SANTA ROSA” (semana 4)

Parámetro	Unidades	Fecha: 05-03-08		Fecha: 06-03-08		Fecha: 07-03-08		Prom. Semanal	
		1	2	1	2	1	2	1	2
pH		7,76	7,6	7,86	7,56	7,88	7,71	7,83	7,62
Color	UTC	>100	25	45	2,5	>100	25	<b>45,00</b>	<b>17,50</b>
Turbiedad	NTU	49	1,02	62	1,56	55	1,23	<b>55,33</b>	<b>1,27</b>
Cond	µs	378	206	342	203	356	203	358,67	204,00
STD	mg/L	189,2	103,1	169	109,5	171,2	101,2	176,47	104,60
Alca. Total	mg/L	144	122	138	120	116	108	132,67	116,67
Dureza	mg/L	98	64	92	70	90	66	93,33	66,67
Calcio	mg/L	25,6	20	24,8	20,6	23,8	19,2	24,73	19,93
Hierro	mg/L	1,51	0,27	1,12	0,52	1,13	0,19	<b>1,25</b>	<b>0,33</b>
Aluminio	mg/L	0,16	0,12	0,12	0,12	0,13	0,12	0,14	0,12
Fluor	mg/L	0,181	0,186	0,191	0,189	0,198	0,201	0,19	0,19
Cloruros	mg/L	13	10	13	10	13	10	13,00	10,00
Sulfatos	mg/L	25,17	24,69	28,5	23,12	26,3	22,56	26,66	23,46
Nitritos	mg/L	0,02	0,008	0,02	0,008	0,02	0,008	0,02	0,01
Nitratos	mg/L	2,6	0,9	2,6	0,9	2,6	0,9	<b>2,60</b>	<b>0,90</b>
Arsénico	mg/L	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
T	C	13,9	14,2	13,9	14,2	13,9	14,2	13,90	14,20

1. Agua cruda

2. Agua tratada

**TABLA 2.3.2.1-4b**

Análisis microbiológico semana 4

PLANTA SANTA ROSA	Colibacilos Totales UFC/100ml	Colibacilos Fecales UFC/100ml	Porcentaje de eliminación bacteriana	
			Colibacilos Totales	Colibacilos Fecales
Agua cruda	120	71		
Agua tratada	6	2	<b>95,0%</b>	<b>97,18%</b>

**TABLA 2.3.2.1-5a**

Caracterización Física- Química de las aguas captada y tratada de la planta de tratamiento "SANTA ROSA" (semana 5)

Parámetro	Unidades	Fecha: 11-03-08		Fecha: 12-03-08		Fecha: 13-03-08		Prom. Semanal	
		1	2	1	2	1	2	1	2
Ph		7,99	7,91	7,88	7,74	7,88	7,71	7,92	7,79
Color	UTC	30	5	45	2,5	>100	25	<b>37,50</b>	<b>10,83</b>
Turbiedad	NTU	59,2	1,12	66	1,84	55	1,23	<b>60,07</b>	<b>1,40</b>
Cond	µs	241	228	288	241	356	203	295,00	224,00
STD	mg/L	119,2	114,2	149,1	123,8	171,2	101,2	146,50	113,07
Alca. Total	mg/L	122	118	66	44	68	42	85,33	68,00
Dureza	mg/L	96	92	92	70	90	66	92,67	76,00
Calcio	mg/L	19,4	18,8	24,8	20,6	23,8	19,2	22,67	19,53
Hierro	mg/L	2,38	0,07	1,12	0,52	1,13	0,19	<b>1,54</b>	<b>0,26</b>
Aluminio	mg/L	0,13	0,1	0,12	0,12	0,13	0,12	0,13	0,11
Fluor	mg/L	0,259	0,244	0,191	0,189	0,198	0,201	0,22	0,21
Cloruros	mg/L	7,1	4,52	6,9	5,3	8,2	6,7	7,40	5,51
Sulfatos	mg/L	6,8	6,06	6,8	6,06	6,8	6,06	6,80	6,06
Nitritos	mg/L	0,02	0,006	0,02	0,006	0,02	0,006	0,02	0,01
Nitratos	mg/L	3	0,6	3	0,6	3	0,6	<b>3,00</b>	<b>0,60</b>
Arsénico	mg/L	0	0	0	0	0	0	0,00	0,00
T	C	13,3	13,2	13,9	13,2	13,9	13,8	13,70	13,40

1. Agua cruda

2. Agua tratada

**TABLA 2.3.2.1-5b**

Análisis microbiológico semana 5

PLANTA SANTA ROSA	Colibacilos Totales UFC/100ml	Colibacilos Fecales UFC/100ml	Porcentaje de eliminación bacteriana	
			Colibacilos Totales	Colibacilos Fecales
Agua cruda	140	70		
Agua tratada	0	0	<b>100%</b>	<b>100%</b>

### 2.3.2.2 PRUEBAS DE JARRAS UTILIZANDO POLICLORURO DE ALUMINIO

Las pruebas de jarras se realizaron tomando muestras del agua captada en el cajón de recepción de la planta se realizó la dosificación de policloruro de aluminio a partir de 2 y 3mL dependiendo de las mediciones de color y turbiedad realizadas in situ. El polímero utilizado fue el policloruro de aluminio preparado a partir de 3,72mL en dilución hasta 500mL de agua

**TABLA 2.3.2.2 – 1**

Prueba de jarras para el agua captada de la planta “Santa Rosa” (semana 1)

Fecha: 12-02-08			Fecha: 13-02-08			Fecha: 14-02-08 (lluvia)			Prom. NTU
mL	NTU	Color	mL	NTU	Color	mL	NTU	Color	
3	4,97	40	3	4,88	40	3	4,67	30	4,84
4	3,81	40	4	3,12	30	4	2,51	30	3,15
5	3,26	30	5	2,01	30	5	1,95	30	2,41
6	2,96	20	6	1,33	30	6	1,21	30	1,83
7	2,16	20	7	1,18	17,5	7	1,19	17,5	1,51
8	2,01	10	8	1,02	10	8	1,06	10	<b>1,36</b>

**TABLA 2.3.2.2 – 2**

Prueba de jarras para el agua captada de la planta “Santa Rosa” (semana 2)

Fecha: 18-02-08 (lluvia)			Fecha: 19-02-08 (lluvia)			Fecha: 20-02-08 (lluvia)			Prom. NTU
mL	NTU	Color	mL	NTU	Color	mL	NTU	Color	
3	4,35	30	3	6,29	30	3	9,69	15	6,78
4	1,83	30	4	2,39	30	4	9,05	15	4,42
5	1,34	30	5	2,18	30	5	6,78	15	3,43
6	1,29	20	6	2,16	30	6	4,98	15	2,81
7	1,14	20	7	2,12	20	7	3,88	15	2,38
8	0,98	15	8	1,91	15	8	2,95	15	<b>1,95</b>

**TABLA 2.3.2.2 – 3**

Prueba de jarras para el agua captada de la planta “Santa Rosa” (semana 3)

<b>Fecha: 26-02-08</b>			<b>Fecha: 27-02-08</b>			<b>Fecha: 28-02-08</b>			<b>Prom. NTU</b>
<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	
2	2,33	50	2	1,91	40	2	1,86	40	2,03
3	2,01	40	3	1,88	40	3	1,63	40	1,84
4	1,93	40	4	1,66	30	4	1,47	30	1,69
5	1,84	40	5	1,62	30	5	1,41	30	1,62
6	1,81	40	6	1,01	30	6	1,31	20	1,38
7	1,63	30	7	0,96	20	7	1,12	20	1,24

**TABLA 2.3.2.2 – 4**

Prueba de jarras para el agua captada de la planta “Santa Rosa” (semana 4)

<b>Fecha: 05-03-08</b>			<b>Fecha: 06-03-08</b>			<b>Fecha: 07-03-08</b>			<b>Prom. NTU</b>
<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	
3	9,51	30	3	7,16	30	3	8,48	30	8,38
4	7,1	30	4	6,33	30	4	7,22	30	6,88
5	5,56	30	5	5,99	20	5	6,71	30	6,09
6	4,51	20	6	4,89	20	6	2,36	20	3,92
7	3,86	20	7	3,31	20	7	3,45	20	3,54
8	1,91	10	8	1,17	7,5	8	1,46	10	1,51

**TABLA 2.3.2.2 – 5**

Prueba de jarras para el agua captada de la planta “Santa Rosa” (semana 5)

<b>Fecha: 11-03-08</b>			<b>Fecha: 12-03-08</b>			<b>Fecha: 13-03-08</b>			<b>Prom. NTU</b>
<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	<b>mL</b>	<b>NTU</b>	<b>Color</b>	
3	6,33	40	3	8,45	30	3	6,58	40	7,12
4	6,21	30	4	7,18	30	4	5,23	30	6,21
5	5,48	30	5	5,87	30	5	4,14	30	5,16
6	4,13	30	6	4,12	30	6	3,88	20	4,04
7	2,88	20	7	3,16	20	7	2,94	17,5	2,99
8	1,92	10	8	2,12	7,5	8	1,88	10	1,97

### **2.3.2.3 ANALISIS DE LA ARENA DEL FILTRO LENTO NÚMERO UNO DE LA PLANTA “SANTA ROSA”**

Debido a la variación de los parámetros en físico – químicos en la semana 3, se procedió a hacer el análisis de la arena del filtro tomando muestras a tres profundidades diferentes con la finalidad de tener una muestra representativa del lecho filtrante.

**TABLA 2.3.2.3 – 1**

Pesos de arena a diferentes profundidades para analizar

<b>ARENA SECA</b>				
<b>MUESTRA</b>	<b>profundidad(cm)</b>	<b>peso caja (g)</b>	<b>m. húmeda (g)</b>	<b>m. seca (g)</b>
<b>1</b>	2	34,7994	58,9028	53,1842
<b>2</b>	20	39,025	63,242	59,7514
<b>3</b>	50	41,9558	60,3225	50,4176

**TABLA 2.3.2.3 – 2**

Determinación de parámetros en la arena seca

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ph</b>	6,6	6,84	7,07
<b>Cond</b>	60,3	19,24	22,9
<b>STD</b>	30,2	9,6	11,4
<b>Alca. Total</b>	18	14	18
<b>Dureza</b>	10	0	0
<b>Calcio</b>	4,8	3,2	3,2

**TABLA 2.3.2.3 – 3**

Determinación de parámetros en arena húmeda

	<b>ARENA HUMEDA</b>		
	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>Ph</b>	7,74	7,56	7,67
<b>Cond</b>	26,9	17,82	34,6
<b>STD</b>	13,5	8,9	17,3
<b>Alca. Total</b>	28	22	24
<b>Dureza</b>	0	0	6
<b>Calcio</b>	2,4	3,2	3,2

# **CAPÍTULO III**

## **Rediseño**

## CAPÍTULO III

### 3. REDISEÑO DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO

El rediseño del sistema de tratamiento consiste principalmente en la utilización de un producto químico que sirva como coagulante y floculante y a su vez mejore la sedimentación garantizando de esta manera la producción de agua que cumpla con las normas de calidad INEN 1108.

De acuerdo a los análisis físicos – químicos y microbiológicos del agua cruda y tratada y a la ejecución de la prueba de jarras del agua cruda se puede considerar que el rediseño de la planta de tratamiento consiste en la implementación de nuevas estructuras como: la sección de mezcla rápida con vertedero rectangular sin contracciones laterales, en caída libre que garantice el adecuado contacto del polímero con el agua cruda. Floculadores hidráulicos de flujo horizontal para mantener el agua con polímero el tiempo necesario para que se realice una adecuada sedimentación. Sedimentadores de tasa alta para aprovechar el espacio físico de la planta. Rediseño de los filtros lentos de arena con implementación de un filtro rápido.

#### 3.1 CÁLCULOS DE INGENIERÍA

##### 3.1.1 MEZCLA RAPIDA

$$Q = 9,41 \text{ L/s}$$

$$B = 0,28 \text{ m}$$

$$\mu = 1,307 \times 10^{-3} \text{ Ns/m}^2$$

$$q = \frac{Q}{B} = \frac{9,41 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{0,28 \text{ m s}} = 0,034 \text{ m}^2/\text{s}$$

$$h_c = \left( \frac{q^2}{g} \right)^{1/3} = \left( \frac{0,034^2}{9,8} \right)^{1/3} = 0,050 \text{ m}$$

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}h_c}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} = \frac{\sqrt{2} \times 0,050}{1,06 + \sqrt{\frac{0,93}{0,050} + 1,5}} = 0,013 \text{ m}$$

$$v_1 = \frac{q}{h_1} = \frac{0,034}{0,013} = 2,662 \text{ m/s}$$

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}} = \frac{2,662}{\sqrt{9,8 \times 0,013}} = 7,459 \text{ (óptimo)}$$

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left( \sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) = \frac{0,013}{2} \left( \sqrt{1 + 8 \times 7,459^2} - 1 \right) = 0,131 \text{ m}$$

$$v_2 = \frac{q}{h_2} = \frac{0,034}{0,131} = 0,260 \text{ m/s}$$

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2} = \frac{(0,131 - 0,013)^3}{4 \times 0,013 \times 0,131} = 0,241 \text{ m}$$

$$L_j = 6(h_2 - h_1) = 6(0,131 - 0,013) = 0,708 \text{ m}$$

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{2,662 + 0,260}{2} = 1,201 \text{ m/s}$$

$$t = \frac{L_j}{v_m} = \frac{0,708 \text{ m}}{1,201 \text{ m/s}} = 0,590 \text{ min}$$

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} = \sqrt{\frac{9800 \times 0,241}{1,307 \times 10^{-3} \times 0,590}} = 1750,079 \text{ s}^{-1}$$

### 3.1.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS DE FLUJO HORIZONTAL

$$Q = 9,41 \text{ L/s}$$

$$v = 0,260 \text{ m/s}$$

$$t = 30 \text{ min}$$

$$L = \frac{0,260 \text{ m}}{\text{s}} \times 30 \text{ min} \times \frac{60 \text{ s}}{\text{min}} = 468 \text{ m}$$

$$V = \frac{9,41 \times 10^{-3} m^3}{s} \times 30 min \times \frac{60s}{min} = 16,938 m^3$$

$$a = \frac{16,938}{468} = 0,036 m^2 \quad ; \quad a = \frac{9,41 \times 10^{-3}}{0,260} = 0,036 m^2$$

$$d = \frac{0,036}{0,22} = 0,164 m \quad \text{como } d < 0,90$$

$$d = \frac{0,036}{0,20} = 0,18 m$$

$$P_{tanque} = 0,18 + 0,15 = 0,33 m$$

$$e_l = 1,5 \times 0,20 = 0,30 m$$

Se adopta un espacio libre = 0,60m y el ancho útil de la cámara de floculación de 5m, la longitud efectiva de cada canal será:

$$l = 5 - 0,60 = 4,40 m$$

Y el número requerido de canales

$$N = \frac{468}{4,40} = 106$$

Suponiendo un espesor de cada tabique de 3cm, la longitud total de la cámara de floculación será:

$$L_T = 106 \times 0,20 + 105 \times 0,03 = 24,225 m$$

$$h_f = \frac{(nv)^2 L}{R^{4/3}} = \frac{(0,013 \times 0,260)^2 \times 106 \times 4,40}{\left(\frac{0,20}{0,32}\right)^{4/3}} = 0,008 m$$

La pérdida adicional:

$$h = \frac{3(N-1)v^2}{2g} = \frac{3(105)0,260^2}{2 \times 9,8} = 1,086m$$

La pérdida total:

$$H = 0,008 + 1,086 = 1,094m$$

El gradiente de velocidad para una temperatura de 15C

$$G = \sqrt{\frac{gH}{\nu t}} = \sqrt{\frac{9,8 \times 1,094}{1,139 \times 10^{-6} \times 30 \times 60}} = 72,314s^{-1}$$

El número adimensional de Camp

$$Gt = 72,314 \times 30 \times 60 = 131165,559$$

### 3.1.3 REDISEÑO DE SEDIMENTADORES DE TASA ALTA

Parámetros básicos de diseño de un sedimentador de tasa alta de 9,41L/s; T=15C; utilizando placas planas de 1,95m x 0,80m x 0,01m y área útil de 4,00m x 2,00m.

$$\mu = 1,139 \times 10^{-6} m^2/s$$

$$CS = \frac{Q}{A} = \frac{9,41 \times 10^{-3} \times 86400}{4,00 \times 2,00} = 101,628 m/d$$

$$v_0 = \frac{Q}{A \sin \theta} = \frac{9,41 \times 10^{-3} \times 86400}{4,00 \times 2,00 \times \sin 60} = 117,350 m/d = 0,081 m/min$$

Suponiendo una separación de placas de 6,00cm (la longitud relativa de sedimentación)

$$L = \frac{l}{d} = \frac{80}{6} = 13.333$$

$$L' = \frac{0,013v_0d}{v} = \frac{0,013 \times 0,081 \times 0,06}{60 \times 1,139 \times 10^{-6}} = 0,93$$

$$L' < L \geq Lc = L - L' \quad Lc = 13.333 - 0,93 = 12,403$$

$$v_{sc} = \frac{S_c v_0}{\sin \theta + Lc \cos \theta} = \frac{1 \times 0,081}{\sin 60 + 12,403 \cos 60} = 0,011 \text{ m/d}$$

$$N_{RE} = \frac{v_0 d}{v} = \frac{0,081 \times 0,06}{86400 \times 1,139 \times 10^{-6}} = 0,005$$

Tiempo de retención

$$t_{RC} = \frac{l}{v_0} = \frac{0,800}{0,081} = 9,877 \text{ min}$$

Tiempo de retención en el tanque es

$$t_{RT} = \frac{V}{Q} = \frac{4,00 \times 2,00 \times 2,50}{9,41 \times 10^{-3} \times 60} = 35,423 \text{ min}$$

### 3.1.4 REDISEÑO DE FILTROS

$$N_F = 0,044\sqrt{Q}$$

$$N_F = 0,044\sqrt{813,024}$$

$$N_F = 1,25$$

El rediseño de filtros implica la aplicación de 2 filtros rápidos para tratar el caudal ya que la planta no puede interrumpir la producción de agua cada vez que se cumpla con la carrera del filtro.

## 3.2 RESULTADOS

### 3.2.1 MEZCLA RÁPIDA

**TABLA 3.2.1 – 1**  
**RESULTADOS MEZCLA RAPIDA**

<b>CALCULO</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal por unidad de ancho del vertedero	q	0,034	m <sup>2</sup> /s
Altura crítica	hc	0,050	m
Profundidad antes del resalto	h <sub>1</sub>	0,013	m
Velocidad de entrada al resalto	v <sub>1</sub>	2,662	m/s
Número de Froude	F	7,459	
Profundidad luego del resalto	h <sub>2</sub>	0,131	m
Velocidad de salida del resalto	v <sub>2</sub>	0,260	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0,241	m
Longitud del resalto	L <sub>j</sub>	0,708	m
Velocidad media	v <sub>m</sub>	1,201	m/s
Tiempo de mezcla	t <sub>m</sub>	0,590	s
Gradiente de velocidad	G	1750,079	s <sup>-1</sup>

### 3.2.2 FLOCULADORES HIDRÁULICOS

**TABLA 3.2.2 – 1**  
**RESULTADOS FLOCULADORES HIDRÁULICOS**

<b>CALCULOS</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Distancia total recorrida	L	468	m
Volumen de agua a mezclar cada 30 min	V	16,938	m <sup>3</sup>
Área transversal requerida de un canal entre bafles	a	0,036	m <sup>2</sup>
Separación mínima entre tabiques	d	0,164	m
Distancia entre bafles	d <sub>f</sub>	0,18	m
Profundidad total del tanque	h <sub>t</sub>	0,33	m
Espacio libre entre tabiques y pared del tanque	e <sub>1</sub>	0,30	m
Espacio libre	l	4,40	m
Número requerido de canales	N	106	
Longitud total interior de la cámara de floculación	L <sub>T</sub>	24,250	m
Pérdida por fricción en el tabique	h <sub>f</sub>	0,008	m
Cálculo del radio hidráulico	R	0,32	
Pérdida adicional	h	1,086	m
Pérdidas totales	H	1,094	m
Gradiente de velocidad	G	72,314	s <sup>-1</sup>

### 3.2.3 SEDIMENTADORES

**TABLA 3.2.3 – 1**  
**RESULTADOS DE SEDIMENTADORES**

<b>CALCULOS</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Carga superficial	CS	101,628	m/día
Velocidad inicial	$v_0$	0,081	m/min
Longitud relativa de sedimentadores	$L_R$	13,333	
Longitud relativa para la región de transición	$L'$	0,93	
Longitud relativa del sedimentador de tasa alta en flujo laminar	$L_c$	12,403	
Velocidad crítica de asentamiento	$v_{sc}$	0,011	m/día
Número de Reynolds	$N_{RE}$	0,005	
Tiempo de retención en las celdas	$t_{RC}$	9,877	min
Tiempo de retención en el tanque	$t_{RT}$	35,423	min

### 3.2.4 FILTROS

**TABLA 3.2.4 – 1**  
**RESULTADOS DE FILTROS**

<b>CALCULOS</b>	<b>SÍMBOLO</b>	<b>VALOR</b>	<b>UNIDADES</b>
Caudal total de tratamiento	Q	813,024	m <sup>3</sup> /día
Número de filtros totales	$N_F$	2	

### 3.3 PROPUESTA

<b>ESTADO ACTUAL</b>
<b>CAPTACIÓN</b> Concreto 1,60m x 1,70m x 1,24m Q= 9,41 L/s
<b>PRESEDIMENTADORES</b> Hormigón 11,0m x 6,75m x 3,50m Altura declinando hasta 1,93m
<b>FILTROS LENTOS DE ARENA</b> Hormigón 30m x 10,20m dividido en 3 Lavado manual



<b>PROPUESTA</b>
<b>CAPTACIÓN</b> Concreto 1,60m x 1,70m x 1,24m Q = 9,41L/s
<b>MEZCLA RÁPIDA</b> Especificaciones técnicas <i>tabla 3.2.1 – 1</i>
<b>FLOCULADORES HIDRAULICOS</b> Especificaciones técnicas <i>tabla 3.2.2 – 1</i>
<b>SEDIMENTADORES DE TASA ALTA</b> Especificaciones técnicas <i>tabla 3.2.3 – 1</i>
<b>FILTRACIÓN RÁPIDA</b> Especificaciones técnicas <i>tabla 3.2.4 – 1</i>

### 3.4 ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.4.1 PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS Y MICROBIOLÓGICOS

En el análisis de resultados del promedio semanal de la **TABLA 2.3.2.1-1a** se pudo determinar que los parámetros controlados mediante el análisis físico – químico cumplen con las normas establecidas, los valores de pH, color, turbiedad, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, nitritos y nitratos disminuyen por efecto de la filtración.

El análisis microbiológico de la **TABLA 2.3.2.1-1b** reveló la eficiencia del proceso de filtración con una clara disminución en los valores de coliformes del agua cruda y del agua tratada lo que indica que el porcentaje de eliminación bacteriana es elevado, estos resultados demuestran que el manto del filtro que retiene los microorganismos trabaja eficazmente.

En la **TABLA 2.3.2.1-2a** se pudo determinar que los parámetros controlados mediante el análisis físico – químico cumplen con las normas establecidas, es de notar que existe una variación atípica en datos de turbiedad de agua captada que se debió a que la muestra fue tomada en días de lluvia condiciones bajo el cual el agua trae consigo mayor cantidad de impurezas, sin embargo el color estuvo dentro de los valores uniformes.

El análisis microbiológico de la **TABLA 2.3.2.1-2b** indicó que los resultados se encontraron dentro de parámetros que pudieron ser eliminados en la etapa de desinfección además el porcentaje de eliminación bacteriana fue elevado en el proceso de filtración.

En la **TABLA 2.3.2.1-3a** se determinó un comportamiento infrecuente en los resultados obtenidos aumentando los valores de los parámetros del agua tratada en relación a los parámetros del agua cruda, por lo que se realizó una investigación de la arena de los filtros para determinar las posibles causas del problema. Sin embargo el agua tratada cumple con los requerimientos establecidos en la norma de calidad.

El análisis microbiológico de la **TABLA 2.3.2.1-3b** de esta semana indicó que la retención de microorganismos en el manto filtrante fue alta resultando además un porcentaje de eliminación bacteriana elevado en el proceso de filtración.

Con los datos de la **TABLA 2.3.2.1-4a** se pudo determinar que los parámetros controlados mediante el análisis físico – químico cumplen con la normativa establecida, los datos de color elevados fueron anormales en relación a los análisis de las otras semanas, debido a que en ocasiones la turbulencia generada por el agua en el trayecto hace que esta arrastre consigo materiales colorantes orgánicos que suelen eliminarse con el suministro de coagulantes y la posterior filtración.

El análisis microbiológico de la **TABLA 2.3.2.1-4b** indicó que el proceso de filtración es eficiente y posteriormente en la desinfección se eliminó por completo los microorganismos además el porcentaje de eliminación bacteriana es elevado en el proceso de filtración.

En el análisis de la **TABLA 2.3.2.1-5a** se logró determinar que los parámetros controlados mediante el análisis físico – químico cumplen con las normas establecidas, los valores elevados de color y turbiedad se deben a que las muestras se tomaron en días lluviosos, sin embargo las concentraciones de pH, color, turbiedad, conductividad, sólidos totales, alcalinidad, nitritos y nitratos disminuyen luego de la filtración

El análisis microbiológico de la **TABLA 2.3.2.1-5b** evidenció la eficiencia del proceso de filtración ya que el porcentaje de eliminación bacteriana es óptimo por la no presencia de coliformes en el agua filtrada.

**TABLA 3.4.1 – 1**  
**PARAMETROS FÍSICO – QUÍMICOS (Agua Cruda)**

AGUA CRUDA						PROMEDIO GENERAL
PARAMETRO	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	
COLOR	36,67	25	56,67	45	37,5	40,168
NTU	40,93	44,2	8,79	55,33	60,07	41,864
HIERRO	2	2,23	0,71	1,25	1,54	1,546
NITRATOS	1,87	1,63	1,8	2,6	3	2,18

**TABLA 3.4.1 – 2**  
**PARÁMETROS FÍSICO – QUÍMICOS (Agua Tratada)**

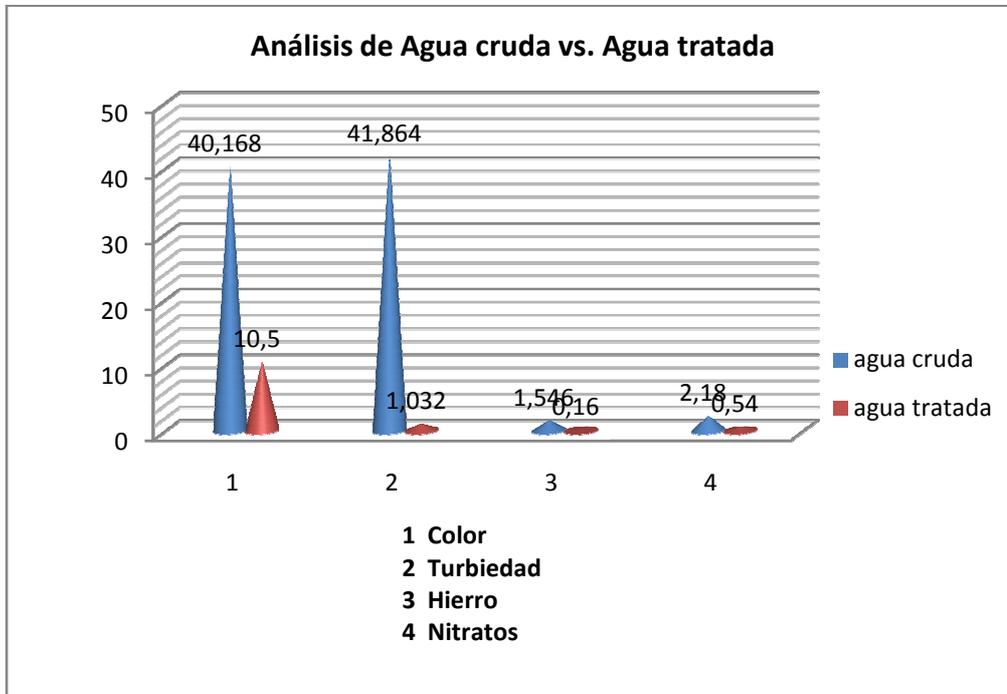
AGUA TRATADA						PROMEDIO GENERAL
PARAMETRO	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5	
COLOR	6,67	4,17	13,33	17,5	10,83	10,5
NTU	1,06	1,23	0,2	1,27	1,4	1,032
HIERRO	0,09	0,03	0,09	0,33	0,26	0,16
NITRATOS	0,4	0,27	0,53	0,9	0,6	0,54

**TABLA 3.4.1 – 3**  
**PROMEDIO GENERAL**

	PROMEDIO GENERAL	
	Agua cruda	Agua tratada
COLOR	40,168	10,5
NTU	41,864	1,032
HIERRO	1,546	0,16
NITRATOS	2,18	0,54

### GRÁFICO 3.4.1 – 1

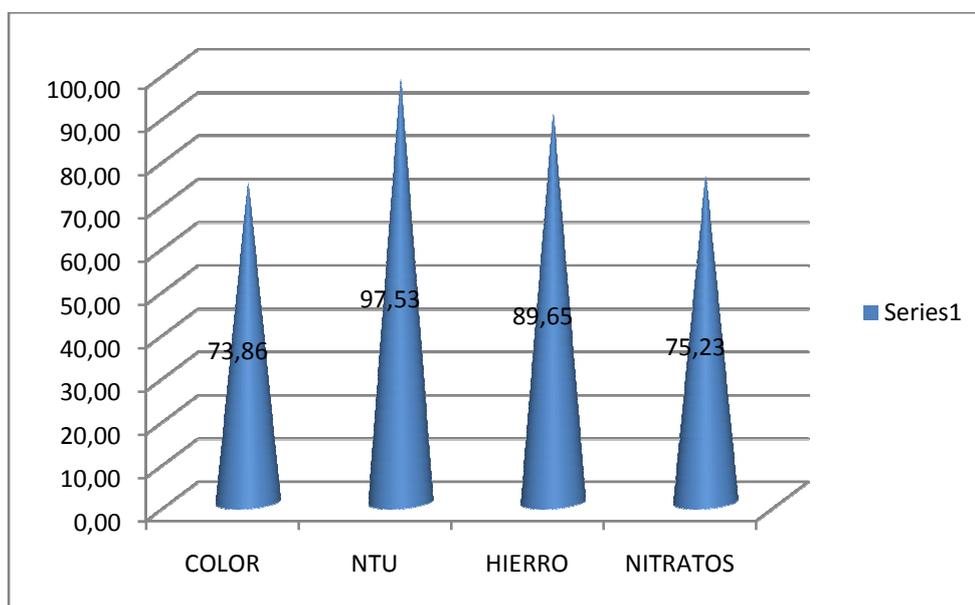
Análisis físico – químico del agua cruda y agua tratada



El análisis físico – químico realizado para el agua cruda y para el agua tratada tomando en cuenta parámetros de control como color, turbiedad, hierro y nitratos permitió determinar que el sistema trabaja adecuadamente disminuyendo los valores en los datos de promedio general que están dentro de las normativas establecidas lo que indica que si se entrega agua segura apta para el consumo humano. Los altos valores en color y turbiedad en el agua cruda obedecen a que se trata de aguas de origen superficial que son conducidas hasta la planta mediante canal abierto lo que hace pronosticar que durante su transcurso se puede ver afectado por la presencia de contaminantes tanto orgánicos e inorgánicos.

**GRÁFICO 3.4.1 – 2**

Eficiencia del proceso para (color, turbiedad, hierro y nitratos)



El gráfico nos indica la alta eficiencia que posee el sistema de tratamiento el momento de la remoción de contaminantes e impurezas que se evidencian en parámetros como color, turbiedad, hierro y nitratos que son los principales valores a controlar cuando se trata de aguas destinadas para el consumo humano. La eficiencia del sistema radica en la etapa de filtración donde se utilizan los 3 filtros lentos que trabajan eficientemente reportando valores altos en la separación de los contaminantes y sustancias extrañas del agua cruda.

### 3.4.2 PRUEBA DE JARRAS

En la **TABLA 2.3.2.2 – 1** se puede apreciar que al adicionar polímero a partir de 3mL correspondientes a 15ppm hasta 8mL que contienen 40ppm los NTU disminuyen al igual que el color debido a la acción coagulante del producto químico.

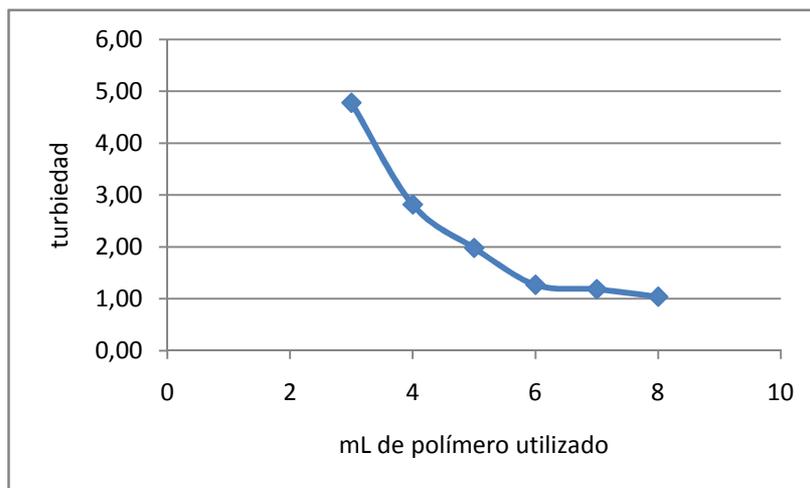
**TABLA 3.4.2 – 1**

Promedio semana 1 de polímero utilizado y turbiedad

<b>Promedio de polímero utilizado</b>	<b>Promedio NTU</b>
3	4,78
4	2,82
5	1,98
6	1,27
7	1,19
8	1,04

**GRÁFICO 3.4.2 – 1**

Curva de acción del polímero promedio semana 1



La curva nos indica que la relación de la turbiedad en función del polímero de aluminio es inversamente proporcional, ya que a mayor cantidad de producto químico disminuye la turbiedad indicando la cantidad óptima entre 6 y 7mL correspondientes a 30 y 35ppm respectivamente.

En la **TABLA 2.3.2.2 – 2** se puede considerar que al adicionar polímero a partir de 3mL correspondientes a 15ppm hasta 8mL que contienen 40ppm los NTU disminuyen al igual que el color debido a la acción coagulante del producto químico.

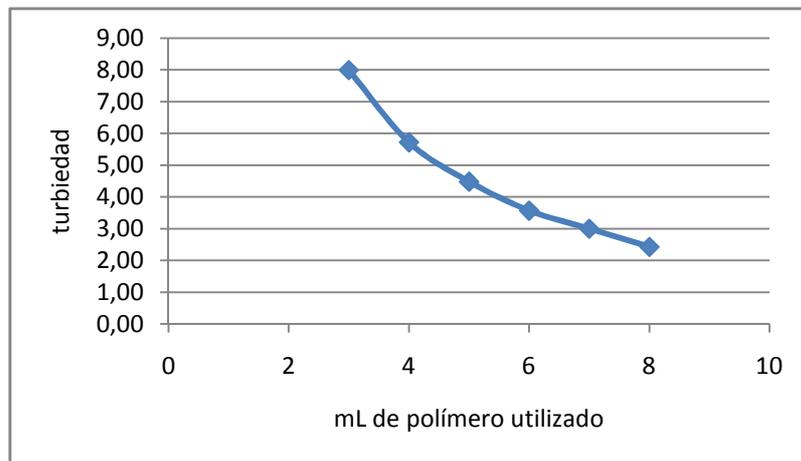
**TABLA 3.4.2 – 2**

Promedio semana 2 de polímero utilizado y turbiedad

Promedio mL de polímero utilizado	Promedio NTU
3	7,99
4	5,72
5	4,48
6	3,57
7	3,00
8	2,43

**GRÁFICO 3.4.2 – 2**

Curva de acción del polímero promedio semana 2



La curva nos indica que la relación de la turbiedad en función del polímero de aluminio es inversamente proporcional, ya que a mayor cantidad de producto químico disminuye la turbiedad indicando la cantidad óptima entre 6 y 7mL correspondientes a 30 y 35ppm respectivamente.

En la **TABLA 2.3.2.2 – 3** se puede apreciar que al adicionar polímero a partir de 2mL correspondientes a 10ppm hasta 7mL que contienen 35ppm los NTU disminuyen al igual que el color debido a la acción coagulante del producto químico. Aquí se aplicó desde 2mL porque las condiciones iniciales de color y turbiedad registraban valores más bajos que las semanas anteriores.

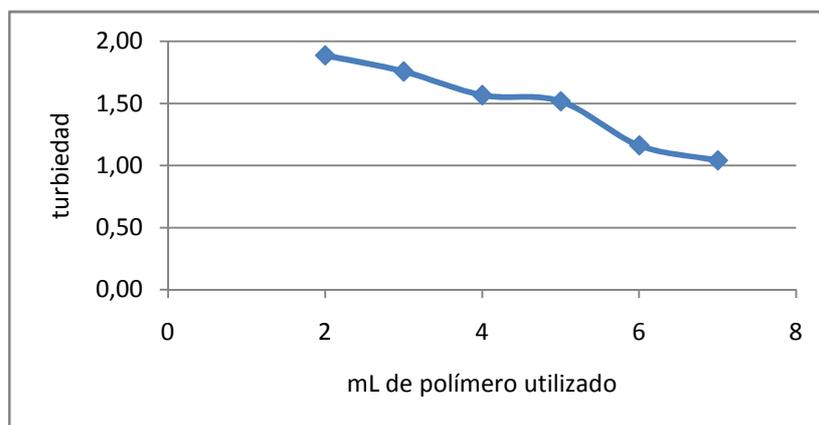
**TABLA 3.4.2 – 3**

Promedio semana 3 de polímero utilizado y turbiedad

Promedio mL de polímero utilizado	Promedio NTU
2	1,89
3	1,76
4	1,57
5	1,52
6	1,16
7	1,04

**GRÁFICO 3.4.2 – 3**

Curva de acción del polímero promedio semana 3



La curva nos indica que la relación de la turbiedad en función del polímero de aluminio es inversamente proporcional, ya que a mayor cantidad de producto químico disminuye la turbiedad indicando la cantidad óptima entre 4 y 5mL correspondientes a 20 y 25ppm respectivamente que es en donde se aprecia una pequeña estabilidad.

En la **TABLA 2.3.2.2 – 4** se puede apreciar que al adicionar polímero a partir de 3mL correspondientes a 15ppm hasta 8mL que contienen 40ppm los NTU disminuyen al igual que el color debido a la acción coagulante del producto químico.

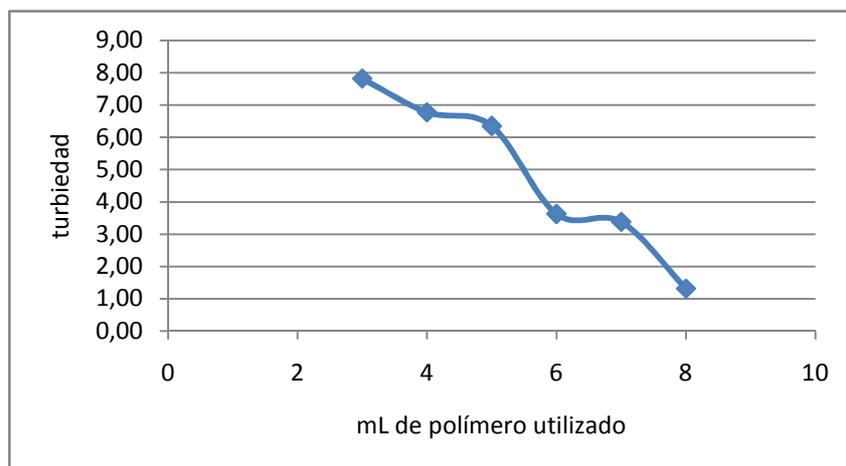
**TABLA 3.4.2 – 4**

Promedio semana 4 de polímero utilizado y turbiedad

Promedio mL de polímero utilizado	Promedio NTU
3	7,82
4	6,78
5	6,35
6	3,63
7	3,38
8	1,32

**GRÁFICO 3.4.2 – 4**

Curva de acción del polímero promedio semana 4



La curva nos indica que la relación de la turbiedad en función del polímero de aluminio es inversamente proporcional, ya que a mayor cantidad de producto químico disminuye la turbiedad indicando la cantidad óptima entre 6 y 7mL correspondientes a 30 y 35ppm

respectivamente, aunque se presenta otro rango aparente de estabilidad entre los 4 y 5mL pero luego volviendo a decaer a los 6 y 7mL.

En la **TABLA 2.3.2.2 – 5** se puede apreciar que al adicionar polímero a partir de 3mL correspondientes a 15ppm hasta 8mL que contienen 40ppm los NTU disminuyen al igual que el color debido a la acción coagulante del producto químico.

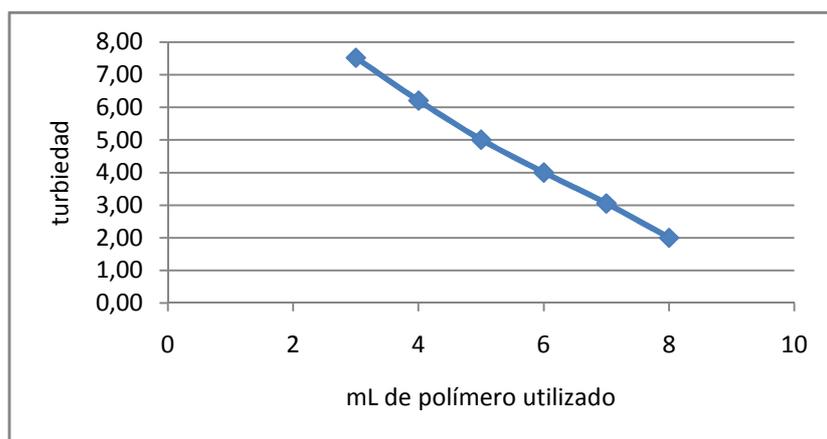
**TABLA 3.4.2 – 5**

Promedio semana 5 de polímero utilizado y turbiedad

Promedio mL de polímero utilizado	Promedio NTU
3	7,52
4	6,21
5	5,01
6	4,00
7	3,05
8	2,00

**GRÁFICO 3.4.2 – 5**

Curva de acción del polímero promedio semana 5



La curva nos indica que la relación de la turbiedad en función del polímero de aluminio es inversamente proporcional, ya que a mayor cantidad de producto químico disminuye la turbiedad indicando la cantidad óptima entre 6 y 7mL correspondientes a 30 y 35ppm respectivamente.

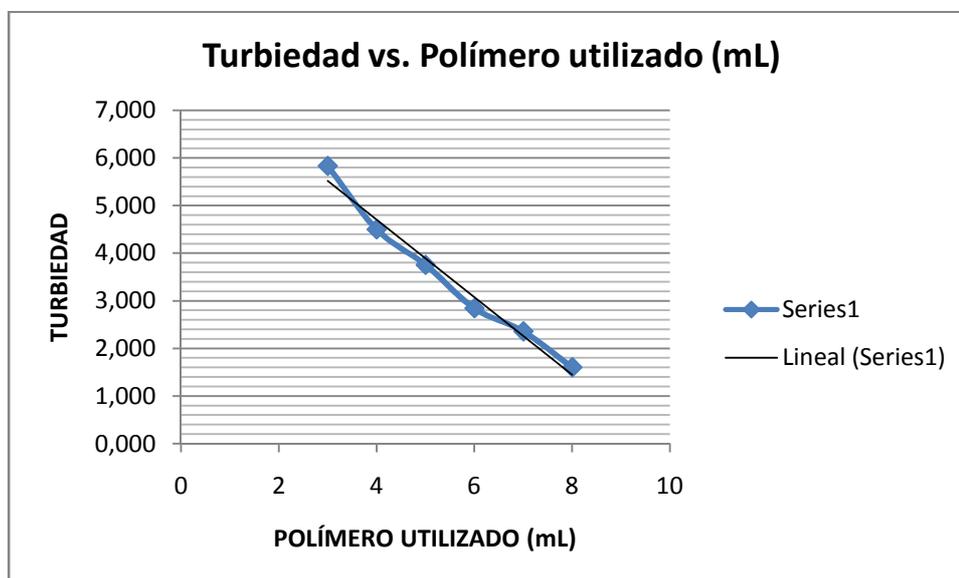
Con la caracterización del agua tanto cruda como tratada se pudo determinar que los parámetros se encuentran dentro de los límites permisibles según la norma de calidad INEN 1108 para aguas destinadas al consumo humano.

**TABLA 3.4.2 – 6**

**PROMEDIO GENERAL DE POLÍMERO UTILIZADO Y TURBIEDAD**

<b>Polímero utilizado (mL)</b>	<b>Turbiedad NTU</b>
3	5,830
4	4,500
5	3,756
6	2,844
7	2,360
8	<b>1,606</b>

**GRÁFICO 3.4.2 – 6**  
**CURVA DE ACCIÓN DEL POLÍMERO PROMEDIO GENERAL**

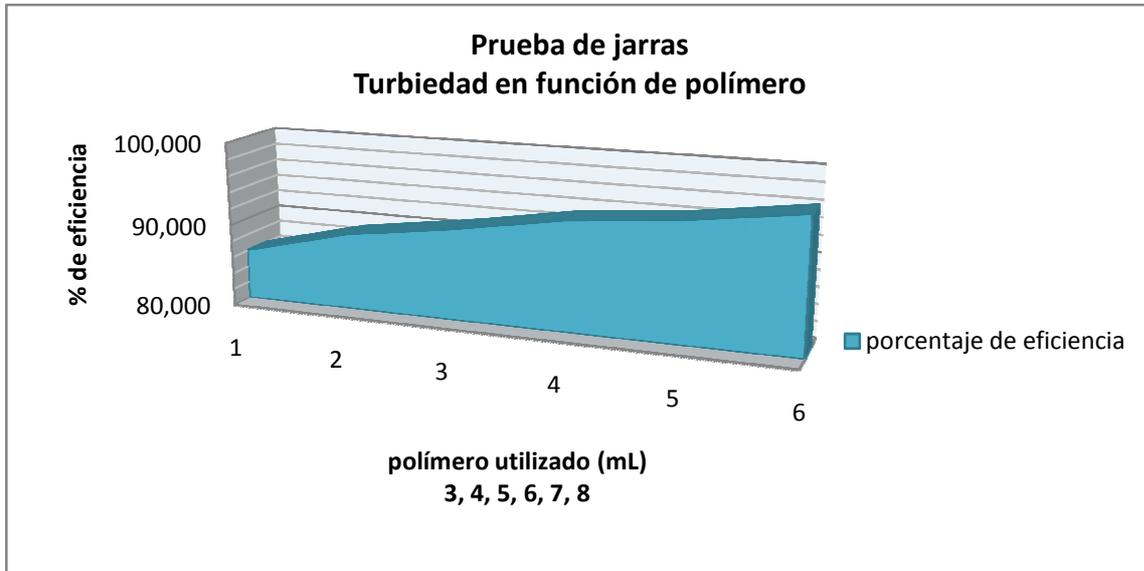


La gráfica nos indica que según los resultados obtenidos en la prueba de jarras para el agua cruda utilizando policloruro de aluminio como producto químico coagulante se tiene una tendencia generalizada hacia la disminución de la turbiedad cuando la cantidad de polímero utilizado es mayor. Es decir se da una relación inversamente proporcional. Esto nos indica que la utilización de polímero puede mejorar la calidad del agua ya que luego de un proceso de filtración el agua para el consumo estaría con un valor muy óptimo dentro de los niveles que estima la normativa establecida.

**TABLA 3.4.2 – 7**  
**PROMEDIO GENERAL PRUEBA DE JARRAS**

PRUEBA DE JARRAS								
	TURBIEDAD					Prom. General	Turbiedad (%)	Eficiencia (%)
Polímero utilizado (mL)	Semana 1	Semana 2	Semana 3	Semana 4	Semana 5			
	<b>40,93</b>	<b>44,2</b>	<b>8,79</b>	<b>55,33</b>	<b>60,07</b>	<b>41,864</b>		
3	4,84	6,78	2,03	8,38	7,12	5,830	13,926	86,074
4	3,15	4,42	1,84	6,88	6,21	4,500	10,749	89,251
5	2,41	3,43	1,69	6,09	5,16	3,756	8,972	91,028
6	1,83	2,81	1,62	3,92	4,04	2,844	6,793	93,207
7	1,51	2,38	1,38	3,54	2,99	2,360	5,637	94,363
8	<b>1,36</b>	<b>1,95</b>	<b>1,24</b>	<b>1,51</b>	<b>1,97</b>	<b>1,606</b>	<b>3,836</b>	<b>96,164</b>

**GRÁFICO 3.4.2 – 7**  
**PORCENTAJE DE EFICIENCIA EN FUNCIÓN DE POLÍMERO UTILIZADO**

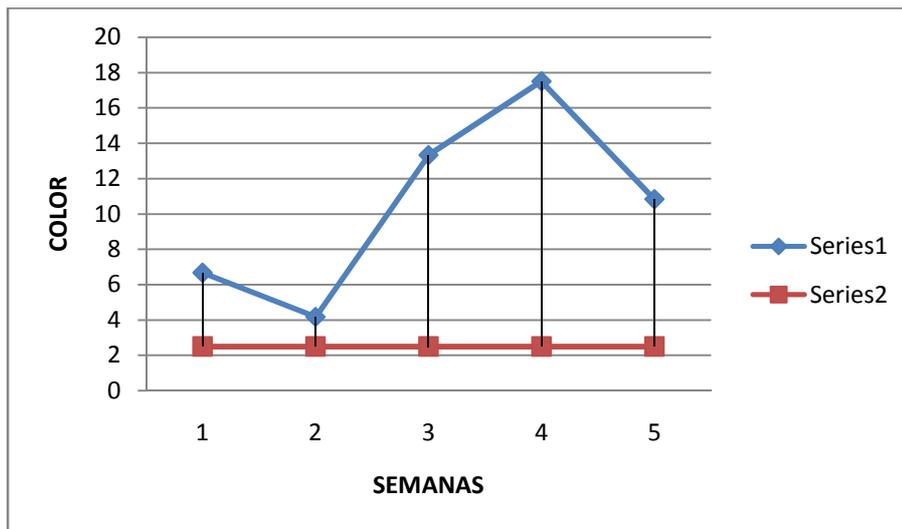


La disminución en los porcentajes de turbiedad que demuestra el proceso con la adición de polímero de cloruro de aluminio se evidencia en el alto porcentaje de eficiencia del proceso que es directamente proporcional ya que a mayor cantidad de polímero utilizado menor es la turbiedad siendo mayor el porcentaje de remoción.

**TABLA 3.4.2 – 8**  
**PRUEBA DE TRATABILIDAD CON POLICLORURO DE ALUMINIO**  
**(COLOR)**

	floculación	sedimentación
semana 1	6,67	2,5
semana 2	4,17	2,5
semana 3	13,33	2,5
semana 4	17,5	2,5
semana 5	10,83	2,5
PROMEDIO	10,5	2,5

**GRÁFICO 3.4.2 – 8**  
**DATOS EN LA ETAPA DE FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN**  
**(COLOR)**

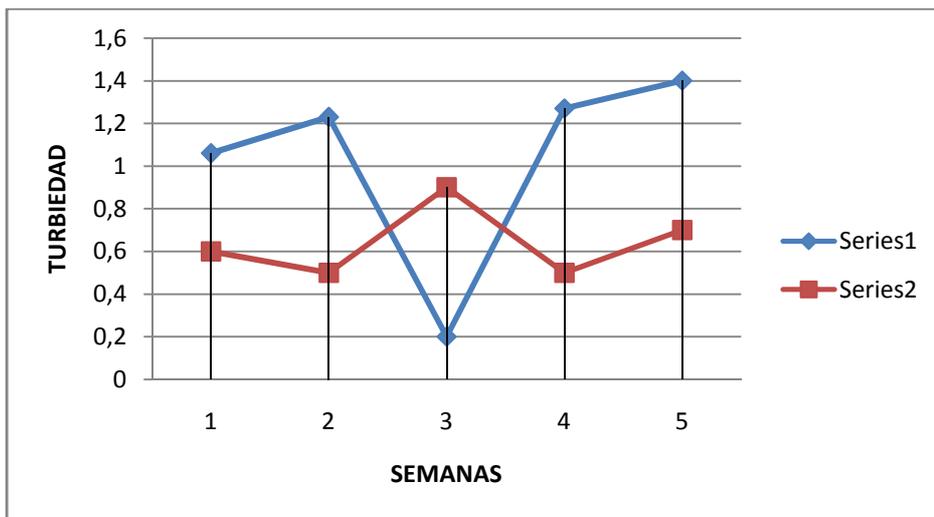


El gráfico nos indica que en la etapa de sedimentación los valores de color disminuyen notablemente hasta mantenerse en un promedio constante de 2,5 lo que indica que luego de la utilización del polímero el agua alcanza los valores establecidos en la norma INEN 1108.

**TABLA 3.4.2 – 9**  
**PRUEBA DE TRATABILIDAD CON POLICLORURO DE ALUMINIO**  
**(TURBIEDAD)**

	floculación	sedimentación
semana 1	1,06	0,6
semana 2	1,23	0,5
semana 3	0,2	0,9
semana 4	1,27	0,5
semana 5	1,4	0,7
PROMEDIO	1,032	0,64

**GRÁFICO 3.4.2 – 9**  
**DATOS EN LA ETAPA DE FLOCULACIÓN Y SEDIMENTACIÓN**  
**(TURBIEDAD)**



El gráfico revela que los datos de turbiedad disminuyen notablemente luego de la adición de policloruro de aluminio. Existe un dato atípico en la semana 3 ya que la turbiedad del agua a la entrada era baja y luego de adicionar polímero la turbiedad se incrementó lo que puede deberse a que queda residuos de polímero en exceso que no sedimentó.

# **CAPÍTULO IV**

## **Conclusiones y**

## **Recomendaciones**

## **CAPÍTULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1 CONCLUSIONES.**

El diagnóstico del estado actual de la planta permitió concluir que el agua que se distribuye a la población de Santa Rosa presenta problemas de turbiedad y color, parámetros que varían en función de la climatología, condiciones que han provocado la inconformidad de los usuarios, situación que evidencia el deterioro de la planta.

En cuanto al caudal de tratamiento la planta se encuentra trabajando al máximo de su capacidad que son 9,41L/s; el rediseño no implica un aumento de caudal ya que no existe otra fuente que provea de agua para el sistema de potabilización.

La caracterización del agua de entrada y salida de la planta, se verificó que el proceso actual logra remover la turbiedad del agua en un 97% siendo su valor de salida un promedio de 1,03NTU, para el color el porcentaje de remoción esta en el orden de 73,8% y los valores del agua de salida tienen un promedio de 10,5 unidades, en el contenido de organismos coliformes se logró una remoción del 92% de los organismos. Estos resultados indican que la calidad del agua de salida no cumple con los requerimientos de la normativa establecida, de ahí surge la necesidad de implementar nuevas etapas en el sistema.

Se dimensionó el sistema para el adecuado tratamiento mediante los cálculos de ingeniería empezando por la determinación del caudal máximo de tratamiento de 9,41L/s, el canal de mezcla rápida con un tiempo de mezcla de 0,59s, el canal de floculación hidráulica de flujo horizontal de 24,25m de longitud total interior de la cámara con un tiempo de permanencia de 30min según la prueba de jarras, los sedimentadores utilizando placas de 1,95m x 0,80m x 0,01m con una separación de placas de 0,06m teniendo un tiempo de retención en el tanque de 35, 423min y dos filtros rápidos para tratar 813,024m<sup>3</sup>/día.

## **4.2 RECOMENDACIONES**

Aplicar el estudio realizado para así mejorar el sistema de tratamiento cambiando el sistema actual a un sistema de tipo convencional con mezcla rápida para el uso de productos químicos floculantes, y procesos de floculación, sedimentación y filtración rápida para proveer a la población de la parroquia agua que cumpla con la norma de calidad establecida.

Equipar un laboratorio de control de calidad con los equipos básicos para monitorear constantemente el agua que ingresa a la planta y el agua luego del tratamiento.

## BIBLIOGRAFÍA

### LIBROS:

- BRITO MOINA, H. Operaciones Unitarias III: texto básico. Riobamba: copiwrite, 2001
- HERRERA V. y otros, Colección [La Ciencia](#) al Día: [Química](#) 1. Bogotá: Norma, 1999
- INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN). Técnicas para el Análisis del Agua. Quito-Ecuador: INEN, 1982. (NTE INEN 1108, Segunda Revisión, Agua Potable, Requisitos )
- PERRY, J. Manual del Ingeniero Químico. 2da. ed. Mexico: McGraw Hill 1985

### ESPECIFICA

- APHA y otros. Métodos Estándar para el Examen de Aguas y Aguas de Desecho. España, 1990.
- ARBOLEDA, J. Purificación del Agua: Teoría y Práctica, tomo I, 3era. ed. Colombia, 2000.
- GUERRERO, R. Manual de Tratamiento de Aguas. 1ra. ed. Mexico: Limusa, 1976.
- PURSCHEL, W. Calidad de las Aguas y su Tratamiento. Mexico: URMO, 1999
- RIVAS, G. Abastecimiento de Agua y Alcantarillados. 2da. ed. Caracas: Vegas, 2001.
- ROMERO, J. Purificación del Agua. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería, 2002
- APHA, y otros. STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER. Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales. 17ª. ed. España: Díaz de Santos, 1992.

## **BIBLIOGRAFÍA INTERNET:**

- Agua Potable,  
<http://www.netsalud.sa.cr/aya/club/chapt05.html>  
2008 – 06 – 18
- Calidad del Agua.  
[http://html.rincondelvago.com/agua\\_9.html](http://html.rincondelvago.com/agua_9.html)  
2008 – 06 – 20
- Potabilización del Agua:  
<http://www.osm.com.ar/html/Potabilizacion.htm>.  
[http://es.wikipedia.org/wiki/Agua\\_potable"](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua_potable)  
2008 – 06 – 20

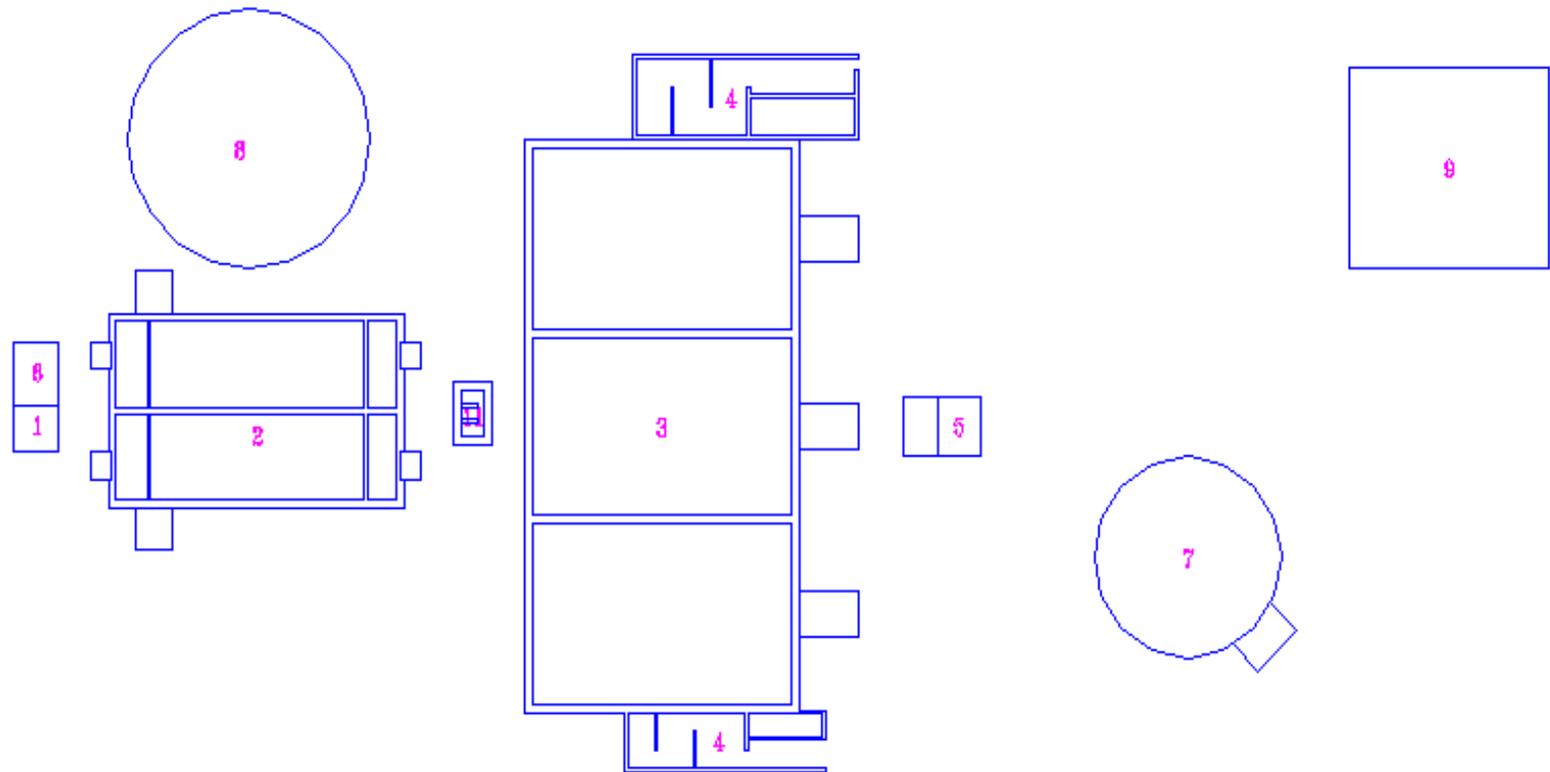
# **ANEXOS**

## ANEXO A

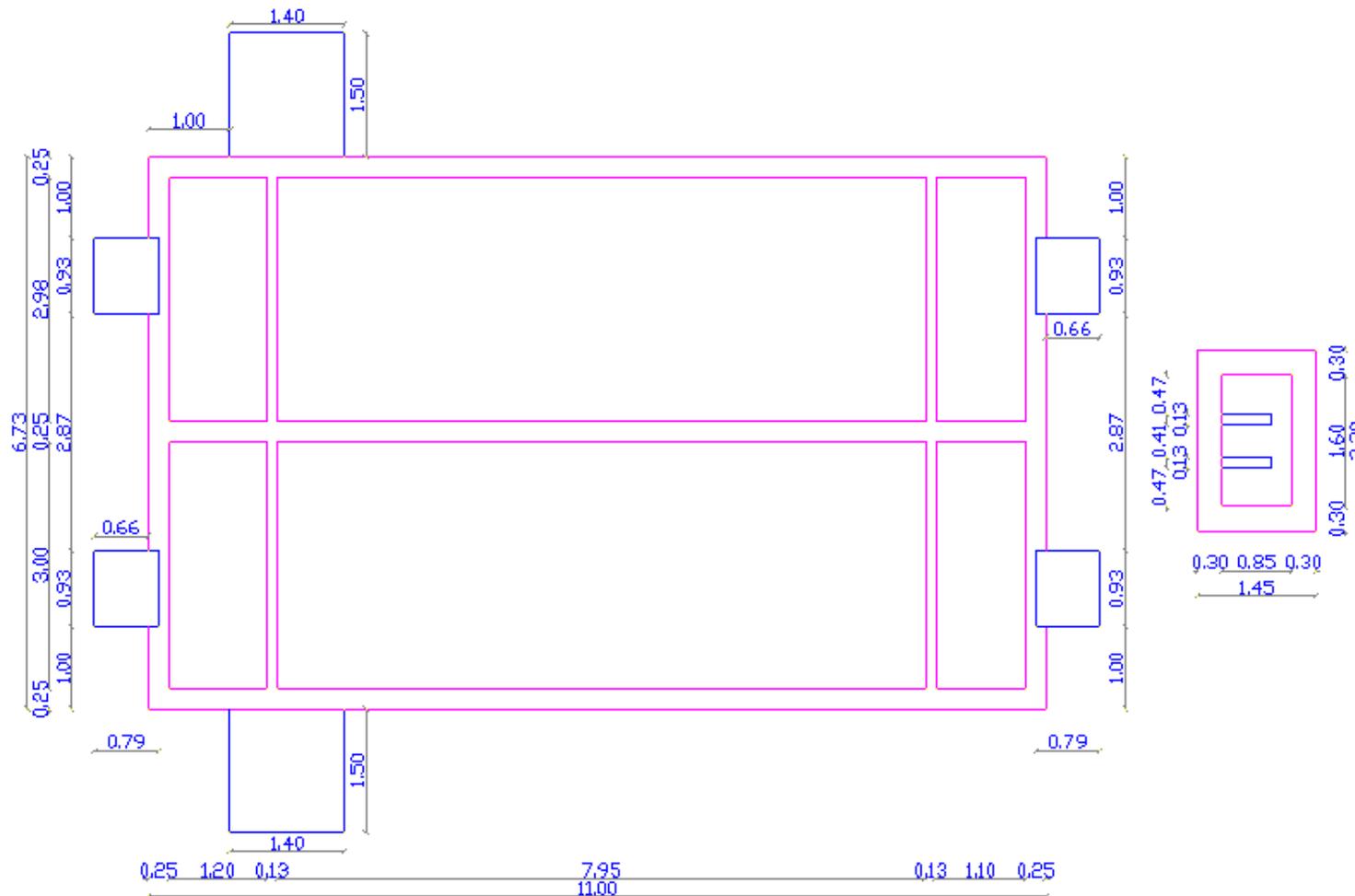
### VISTA PLANO DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE “SANTA ROSA”

10

L E Y E N D A	
1	CAPTACIÓN
2	PRESEDIMENTACIÓN
3	FILTROS LENTOS DE ARENA
4	LAVADEROS DE ARENA
5	CAJON RECEPCIÓN AGUA FILTRADA
6	CASETA DE CLORACIÓN
7	TANQUE DE ALMACENAMIENTO
8	TANQUE DE ALMACENAMIENTO GENERAL
9	VIVIENDA
10	PUERTA DE ING-RESO
11	VERTEDERO DEL PRESEDIMENTADOR



**ANEXO B**  
**VISTA PLANO DE PRESEDIMENTADORES**



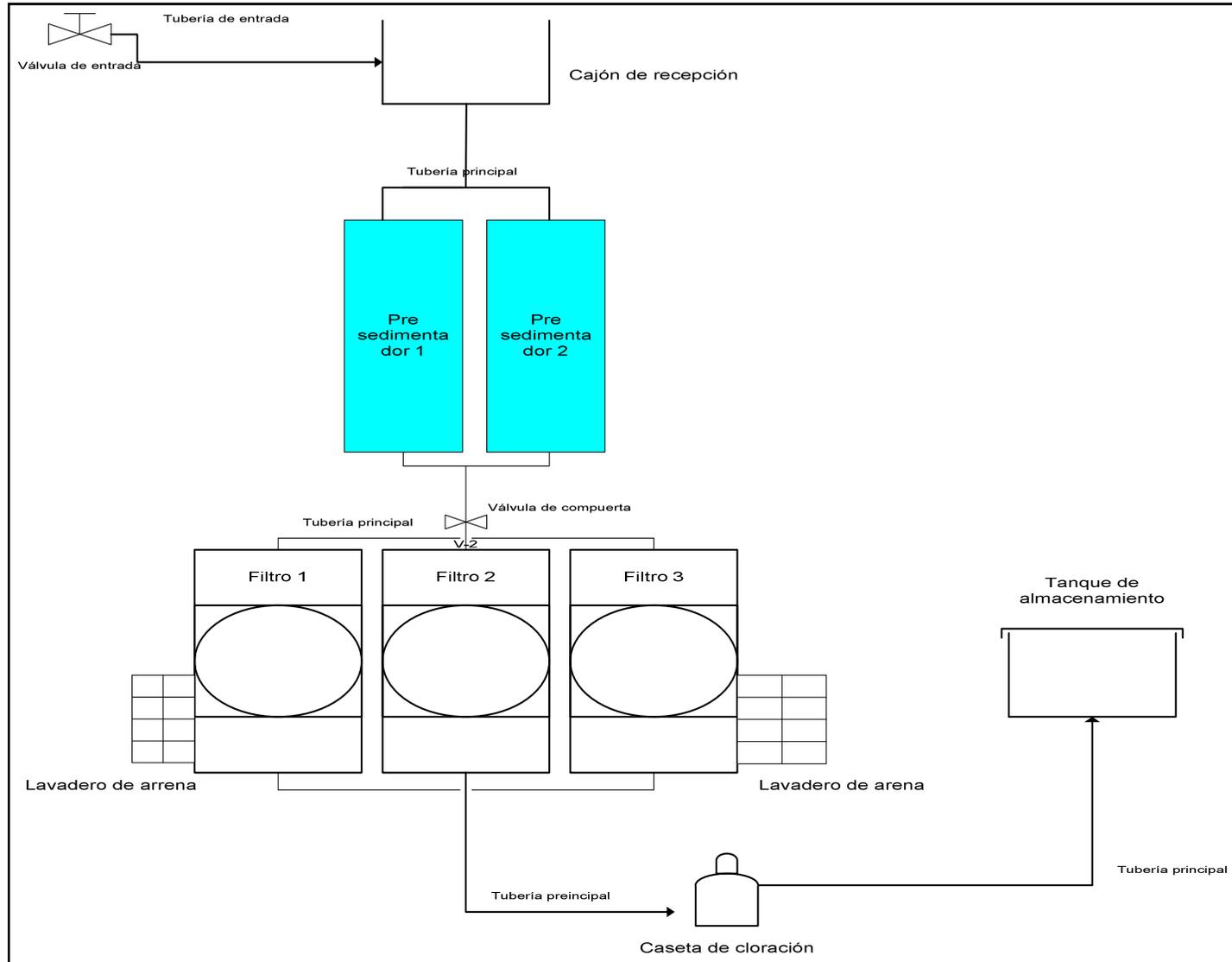
**PRESIDEMENTADORES**

ESC: 1.....50



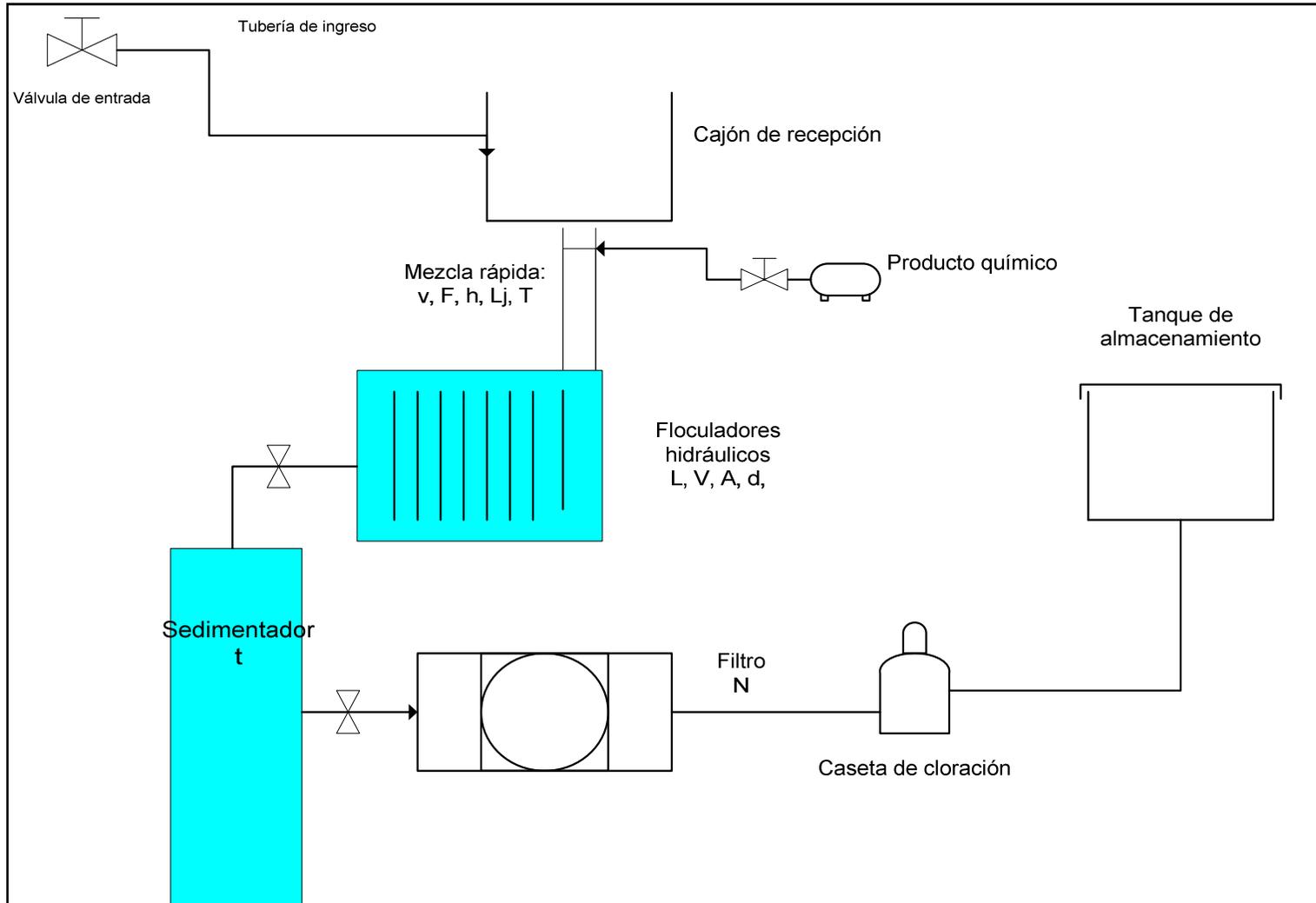
# ANEXO D

## SISTEMA ACTUAL DE TRATAMIENTO



## ANEXO E

### SISTEMA PROPUESTO PARA TRATAMIENTO APLICADO EL REDISEÑO



## **ANEXO F**