



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE CIENCIAS**

**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

***“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE  
PARA LA PARROQUIA MONTERREY CANTÓN LA CONCORDIA,  
PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”***

**TESIS DE GRADO**

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO QUÍMICO**

**AUTOR: JOSÉ BOLÍVAR JARAMILLO BARREIRO**

**TUTOR: Ing. HUGO CALDERÓN**

**RIOBAMBA – ECUADOR**

**2015**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por haberme dado el don de la sabiduría para poder llegar hasta estas instancias de mi vida, lograr este momento importante en mi formación académica. A mi madre por ser el ángel que guía mi camino, demostrándome siempre el cariño y amor incondicional, a mi padre quien es un ejemplo a seguir, que con sacrificio y lucha, soy quien soy en la vida. A mi hermano quien también es un ejemplo para mí, supo darme buenos consejos, a mis hermanas queridas dándome sus afectos y alientos para seguir y culminar mi carrera universitaria. A mis amigos, compañeros de aula, personas especiales que contribuyeron de una u otra manera a que día a día mi meta vaya culminando. Al Gobierno Autónomo Descentralizado Rural de Monterrey y a la Junta de Agua de la misma por darme la oportunidad de realizar este proyecto en sus instalaciones. A los Ingenieros Mónica Andrade y Hugo Calderón quienes con su conocimiento, guía y apoyo me supieron encaminar a lo largo de este trabajo de investigación.

José Bolívar Jaramillo Barreiro

## DEDICATORIA

A mi madre Norma, mi padre Bolívar, mis hermanos Henry, Dassania y Liseth para ellos es todo mi esfuerzo, sacrificio y tenacidad, y este y todos mis logros es gracias a ellos. En general a mis amigos, y todas las personas que formaron parte de mi vida, quienes con sus alientos me ayudaron a ser una buena persona día a día.

José Bolívar Jaramillo Barreiro



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

El Tribunal de Tesis certifica que: El trabajo de investigación: **“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE PARA LA PARROQUIA MONTERREY CANTÓN LA CONCORDIA, PROVINCIA SANTO DOMINGO DE LOS TSÁCHILAS”**, de responsabilidad del señor José Bolívar Jaramillo Barreiro, ha sido prolijamente revisado por los Miembros de Tesis, quedando autorizada su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Dra. Nancy Veloz <b>DECANA FAC. CIENCIAS</b>	_____	_____
Dr. Marcelo Ramos <b>DIRECTOR ESC. ING. QUÍMICA</b>	_____	_____
Ing. Hugo Calderón <b>DIRECTOR DE TESIS</b>	_____	_____
Ing. Mónica Andrade <b>COLABORADORA DE TESIS</b>	_____	_____
Abgda. Bertha Quintanilla <b>COORDINADORA DEL SISTEMA DE BIBLIOTECA</b>	_____	_____
<b>NOTA DE TESIS</b>	_____	_____

“Yo, **JOSÉ BOLÍVAR JARAMILLO BARREIRO**, declaro que 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**”

---

José Bolívar Jaramillo Barreiro

## ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<b>a</b>	Número de lados por donde se recolecta el agua.
<b>A<sub>s</sub></b>	Área de sedimentación acelerada.
<b>A<sub>Tc</sub></b>	Área del tanque para la mezcla de cloro.
<b>b<sub>p</sub></b>	Espesor de las placas.
<b>B</b>	Ancho del vertedero.
<b>B<sub>s</sub></b>	Ancho del sedimentador.
<b>cmd</b>	Caudal medio diario.
<b>CMD</b>	Caudal Máximo Diario.
<b>C<sub>v</sub></b>	Profundidad del canal del vertedero.
<b>DB</b>	Dotación Básica.
<b>D</b>	Dosis de cloro necesario.
<b>e<sub>p</sub></b>	Distancia entre las placas.
<b>f<sub>s</sub></b>	Factor de seguridad.
<b>F</b>	Número de Froude.
<b>g</b>	Gravedad.
<b>G</b>	Gradiente de velocidad.
<b>h<sub>c</sub></b>	Profundidad crítica de flujo.
<b>h<sub>1</sub></b>	Profundidad Supercrítica.
<b>h<sub>2</sub></b>	Profundidad Subcrítica.
<b>h</b>	Pérdida de energía en el resalto.
<b>H</b>	Carga sobre el vertedero.
<b>H<sub>Tc</sub></b>	Altura del tanque para la mezcla de cloro.

$k_1$	Coefficiente de variación diaria.
$k_2$	Constante de variación.
$l$	Longitud del canal.
$l_p$	Longitud de las placas.
$L_m$	Longitud de salto.
$L_j$	Longitud del resalto.
$L_s$	Longitud del área de sedimentación acelerada.
$L_r$	Longitud relativa del sedimentador.
$L'$	Longitud relativa en la región de transición.
$L_c$	Longitud relativa corregida.
$N_t$	Población Futura.
$N_o$	Población Actual.
$N_c$	Número de canales.
$N_{Re}$	Número de Reynolds.
$N_p$	Número de placas.
$\theta$	Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación.
$P$	Altura de la pared del vertedero.
$\rho$	Densidad del PAC.
$P_{Cl}$	Peso de cloro necesario.
$q$	Caudal por unidad de ancho.
$Q_{captación}$	Caudal de captación.
$Q_{vertedero}$	Caudal del vertedero.
$Q$	Caudal de diseño.
$r$	Tasa de crecimiento anual.

$\gamma$	Peso específico del agua.
$S_c$	Constante para cada tipo de módulo.
$t$	Tiempo de diseño.
$t_{rp}$	Tiempo de retención en las placas.
$t_{rs}$	Tiempo de retención en el tanque de sedimentación.
$T_{us}$	Total de usuarios servidos.
$\mu$	Viscosidad dinámica del agua.
$v_1$	Velocidad del agua en el salto.
$v_2$	Velocidad del agua en el resalto.
$v_m$	Velocidad media en el resalto.
$v_{so}$	Carga Superficial después de instalar las placas.
$\nu$	Viscosidad cinemática del fluido.
$v_{sc}$	Velocidad crítica de sedimentación.
$V_{Ts}$	Volumen del Sedimentador.
$V_{Tc}$	Volumen del tanque para la mezcla de cloro.
$V_H$	Volumen del Hipoclorador.
$V_{ac}$	Volumen de agua consumida.
$x$	Cantidad de PAC a utilizar por día.
$Z_s$	Altura del sedimentador.

## TABLA DE CONTENIDOS

	<b>Pag.</b>
ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE GRÁFICOS	iv
ÍNDICE DE ECUACIONES	v
ÍNDICE DE REACCIONES	vii
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
RESUMEN	ix
SUMMARY	x
INTRODUCCIÓN	xi
<b>CAPÍTULO I</b>	
1. <b>MARCO TEÓRICO</b>	4
1.1. <b>Agua</b>	4
1.1.1 <i>Clasificación de las fuentes de agua</i>	4
1.1.2. <i>El agua y el mundo</i>	5
1.1.3. <i>Calidad del agua</i>	6
1.1.4. <i>Abastecimientos de agua</i>	7
1.1.4.1. <i>Abastecimientos Subterráneos</i>	7
1.1.5. <i>Agua potable tratada</i>	10
1.1.6. <i>Importancia de los análisis de laboratorio y su caracterización</i>	10
1.1.7. <i>Parámetros físicos</i>	11
1.1.8. <i>Parámetros químicos</i>	13
1.1.9. <i>Parámetros microbiológicos</i>	15
1.1.10. <i>Muestreo</i>	15
1.1.10.1. <i>Tipos de Muestras</i>	15
1.1.10.1.1. <i>Muestra Simple o Puntual</i>	15
1.1.10.1.2. <i>Muestras Compuestas</i>	16

1.1.10.1.3.	<i>Muestras Integradas</i>	16
1.2.	<b>Potabilización</b>	16
1.2.1.	<b><i>Tipos de tratamientos para potabilizar el agua</i></b>	16
1.2.1.1.	<i>Componentes o impurezas a eliminar</i>	16
1.2.1.2.	<i>Parámetros de calidad</i>	17
1.3.	<b>Proceso de potabilización</b>	17
1.3.1.	<b><i>Sistema de captación</i></b>	17
1.3.1.1.	<i>Captación de Aguas Subterráneas</i>	18
1.3.2.	<b><i>Aducción</i></b>	18
1.3.2.1.	<i>Tipos de tuberías de Abastecimiento de agua</i>	19
1.3.2.1.1.	<i>Tuberías Metálicas</i>	19
1.3.2.1.2.	<i>Tuberías No Metálicas</i>	19
1.3.3.	<b><i>Medición del caudal</i></b>	20
1.3.3.1.	<i>Método Volumétrico</i>	20
1.3.3.2.	<i>Método Velocidad – Área</i>	21
1.3.3.3.	<i>Método del Aforo</i>	21
1.3.3.3.1.	<i>Método del Flotador</i>	21
1.3.3.3.2.	<i>Método del Correntómetro o Molinete</i>	22
1.3.4.	<b><i>Tipos de vertederos</i></b>	22
1.3.5.	<b><i>Mezcla rápida</i></b>	25
1.3.5.1.	<i>Tipos de Mezcladores</i>	25
1.3.5.1.1.	<i>Mezcla Rápida en Vertedero Rectangular</i>	26
1.3.6.	<b><i>Resalto hidráulico</i></b>	27
1.3.6.1.	<i>Clasificación Resalto Hidráulico</i>	27
1.3.6.2.	<i>Usos de Resalto Hidráulico</i>	28
1.3.7.	<b><i>Agentes coagulantes</i></b>	29
1.3.7.1.	<i>Policloruro de Aluminio</i>	29
1.3.7.2.	<i>Sulfato de Aluminio o Alumbre</i>	29
1.3.7.3.	<i>Sulfato Ferroso y Cal</i>	30
1.3.8.	<b><i>Formas de sedimentación</i></b>	30
1.3.8.1.	<i>Sedimentación Laminar</i>	30
1.3.8.2.	<i>Sedimentación de Alta Tasa</i>	31
1.3.8.3.	<i>Componentes de un Sedimentador</i>	32
1.3.8.4.	<i>Factores que afectan el diseño del sedimentador</i>	32

1.3.9.	<b>Desinfección</b>	33
1.3.10.	<b>Formas de desinfección</b>	34
1.3.10.1.	<i>Cloro Gas</i>	34
1.3.10.2.	<i>Hipoclorito de Sodio</i>	35
1.3.10.3.	<i>Hipoclorito de Calcio</i>	35
1.3.10.4.	<i>Cal Clorada</i>	36
1.3.11.	<b>Almacenamiento y distribución</b>	36
1.3.12.	<b>Prueba de jarras</b>	36
1.4.	<b>Parámetros de diseño</b>	37
1.4.1.	<b>Caudal de diseño</b>	37
1.4.1.1.	<i>Población de Diseño</i>	37
1.4.1.2.	<i>Nivel de Complejidad del Sistema</i>	38
1.4.1.3.	<i>Dotación Básica</i>	38
1.4.1.4.	<i>Dotación Futura</i>	38
1.4.1.5.	<i>Caudal Medio Diario (cmd)</i>	39
1.4.1.6.	<i>Caudal Máximo Diario (CMD)</i>	39
1.4.1.7.	<i>Caudal de Captación</i>	39
1.4.2.	<b>Vertedero rectangular</b>	40
1.4.2.1.	<i>Caudal del Vertedero</i>	40
1.4.2.2.	<i>Canal del Vertedero</i>	40
1.4.2.3.	<i>Ancho del Vertedero</i>	41
1.4.2.4.	<i>Caudal por unidad de ancho</i>	41
1.4.3.	<b>Mezcla rápida en el vertedero rectangular</b>	41
1.4.3.1.	<i>Profundidad crítica de flujo</i>	41
1.4.3.2.	<i>Longitud del Salto</i>	42
1.4.3.3.	<i>Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto</i>	42
1.4.3.4.	<i>Velocidad del agua en el salto</i>	43
1.4.3.5.	<i>Número de Froude</i>	43
1.4.3.6.	<i>Profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto</i>	44
1.4.3.7.	<i>Velocidad del agua en el resalto</i>	44
1.4.3.8.	<i>Pérdida de energía en el resalto</i>	44
1.4.3.9.	<i>Longitud del resalto</i>	45
1.4.3.10.	<i>Velocidad media en el resalto</i>	45
1.4.3.11.	<i>Tiempo de mezcla</i>	45

1.4.3.12. <i>Gradiente de Velocidad</i>	46
1.4.4. <b>Coagulación</b>	46
1.4.4.1. <i>Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)</i>	46
1.4.5. <b>Sedimentador laminar</b>	46
1.4.5.1. <i>Carga Superficial después de instalar las placas</i>	47
1.4.5.2. <i>Área de sedimentación acelerada</i>	47
1.4.5.3. <i>Longitud del área de sedimentación acelerada</i>	47
1.4.5.4. <i>Longitud relativa del sedimentador</i>	48
1.4.5.5. <i>Longitud relativa en la región de transición</i>	48
1.4.5.6. <i>Longitud relativa corregida</i>	48
1.4.5.7. <i>Velocidad crítica de sedimentación</i>	49
1.4.5.8. <i>Número de Reynolds</i>	49
1.4.5.9. <i>Volumen del Sedimentador</i>	49
1.4.5.10. <i>Tiempo de retención en el tanque de sedimentación</i>	50
1.4.5.11. <i>Número de placas</i>	50
1.4.6. <b>Desinfección</b>	50
1.4.6.1. <i>Peso de cloro necesario</i>	51
1.4.6.2. <i>Volumen del Hipoclorador</i>	51
1.4.6.3. <i>Tanque de contacto para la mezcla de cloro</i>	51
1.4.6.4. <i>Altura del tanque para la mezcla de cloro</i>	52
<b>CAPÍTULO II</b>	
2. <b>PARTE EXPERIMENTAL</b>	53
2.1. <b>Localización</b>	53
2.2. <b>Límites</b>	53
2.3. <b>Topografía</b>	53
2.4. <b>Climatología</b>	54
2.5. <b>Muestreo</b>	54
2.5.1. <i>Recopilación de la información</i>	54
2.5.2. <i>Transporte y manipulación de muestras</i>	55
2.6. <b>Metodología</b>	56
2.6.1. <i>Metodología de trabajo</i>	56
2.6.2. <i>Tratamiento de muestras</i>	56
2.7. <b>Métodos y técnicas</b>	56

2.7.1.	<b>Métodos</b>	56
2.7.2.	<b>Técnicas</b>	57
2.7.2.1.	<i>Potencial de Hidrógeno pH</i>	57
2.7.2.2.	<i>Conductividad</i>	58
2.7.2.3.	<i>Turbidez</i>	58
2.7.2.4.	<i>Dureza</i>	58
2.7.2.5.	<i>Calcio</i>	58
2.7.2.6.	<i>Alcalinidad</i>	59
2.7.2.7.	<i>Cloruros</i>	59
2.7.2.8.	<i>Sulfatos</i>	59
2.7.2.9.	<i>Nitritos</i>	59
2.7.2.10.	<i>Color</i>	60
2.7.2.11.	<i>Nitratos</i>	60
2.7.2.12.	<i>Fosfatos</i>	60
2.7.2.13.	<i>Hierro</i>	61
2.7.2.14.	<i>Sólidos Totales</i>	61
2.7.2.15.	<i>Sólidos Totales Disueltos</i>	61
2.7.2.16.	<i>Contaminación Microbiológica</i>	61
2.8.	<b>Datos experimentales</b>	62
2.8.1.	<b><i>Situación inicial – caracterización del agua de captación</i></b>	62
2.8.2.	<b><i>Parámetros fuera de los límites permisibles</i></b>	64
2.8.3.	<b><i>Prueba de jarras</i></b>	66
2.8.4.	<b><i>Situación actual</i></b>	67
<b>CAPÍTULO III</b>		
3.	<b>CÁLCULOS Y RESULTADOS</b>	68
3.1.	<b>Cálculos de diseño</b>	68
3.1.1.	<b><i>Población futura</i></b>	68
3.1.1.1.	<i>Nivel de Complejidad del Sistema</i>	69
3.1.1.2.	<i>Dotación Básica</i>	69
3.1.1.3.	<i>Dotación Futura</i>	70
3.1.1.4.	<i>Caudal Medio Diario (cmd)</i>	70
3.1.1.5.	<i>Caudal Máximo Diario (CMD)</i>	70
3.1.2.	<b><i>Cálculos de ingeniería</i></b>	71
3.1.2.1.	<i>Cálculo del Caudal de Captación</i>	71

3.1.2.2. <i>Dimensionamiento del Vertedero Rectangular</i>	71
3.1.2.2.1. <i>Caudal del Vertedero</i>	71
3.1.2.2.2. <i>Canal del Vertedero</i>	72
3.1.2.2.3. <i>Ancho del Vertedero</i>	72
3.1.2.2.3. <i>Caudal por unidad de ancho</i>	73
3.1.2.3. <i>Mezcla rápida (Resalto Hidráulico) en el vertedero rectangular</i>	74
3.1.2.3.1. <i>Profundidad crítica de flujo</i>	74
3.1.2.3.2. <i>Longitud del Salto</i>	74
3.1.2.3.3. <i>Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto</i>	74
3.1.2.3.4. <i>Velocidad del agua en el salto</i>	75
3.1.2.3.5. <i>Número de Froude</i>	75
3.1.2.3.6. <i>Profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto</i>	76
3.1.2.3.7. <i>Velocidad del agua en el resalto</i>	76
3.1.2.3.8. <i>Pérdida de energía en el resalto</i>	76
3.1.2.3.9. <i>Longitud del resalto, para resalto estable</i>	77
3.1.2.3.10. <i>Velocidad media en el resalto</i>	77
3.1.2.3.11. <i>Tiempo de mezcla</i>	77
3.1.2.3.12. <i>Gradiente de Velocidad</i>	78
3.1.2.4. <i>Coagulación</i>	79
3.1.2.5. <i>Dimensionamiento del Sedimentador Laminar</i>	80
3.1.2.5.1. <i>Carga Superficial después de instalar las placas</i>	80
3.1.2.5.3. <i>Longitud del área de Sedimentación acelerada</i>	81
3.1.2.5.4. <i>Longitud relativa del sedimentador</i>	81
3.1.2.5.5. <i>Longitud relativa en la región de transición</i>	82
3.1.2.5.6. <i>Longitud relativa corregida</i>	82
3.1.2.5.7. <i>Velocidad crítica de Sedimentación</i>	82
3.1.2.5.8. <i>Número de Reynolds</i>	83
3.1.2.5.9. <i>Volumen del Sedimentador</i>	83
3.1.2.5.10. <i>Tiempo de retención en el tanque de sedimentación</i>	84
3.1.2.5.11. <i>Número de placas</i>	84
3.1.2.6. <i>Desinfección</i>	86
3.1.2.6.1. <i>Peso de cloro Necesario</i>	86
3.1.2.6.2. <i>Volumen del Hipoclorador</i>	86
3.1.2.6.3. <i>Tanque de contacto para la mezcla de cloro</i>	87
3.1.2.6.4. <i>Altura del tanque para la mezcla de cloro</i>	87
3.2. <b>Resultados</b>	88

3.2.1.	<i>Proyección futura</i>	88
3.2.2.	<i>Procesos de potabilización</i>	88
3.2.3.	<i>Situación final – resultados de análisis físico, químicos y microbiológicos del agua tratada</i>	89
3.2.4.	<i>Rendimiento del proceso de potabilización propuesto</i>	90
3.3.	<b>Propuesta</b>	92
3.4.	<b>Análisis y discusión de resultados</b>	93
3.5.	<b>Análisis económico</b>	94
3.5.1.	<i>Costo de inversión</i>	94
3.5.2.	<i>Costo de operación al día</i>	95
	<b>CONCLUSIONES</b>	96
	<b>RECOMENDACIONES</b>	97
	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Distribución del agua en la Tierra	5
Tabla 1-2	Procesos Unitarios en función de los contaminantes presentes	16
Tabla 1-3	Procesos Unitarios referidos a cada Grado de Tratamiento	17
Tabla 2-1	Climatología de la Zona	54
Tabla 2-2	Recolección de Muestras	54
Tabla 2-3	Métodos de Análisis de Aguas	56
Tabla 2-4	STANDARD METHODS *4500 HB	57
Tabla 2-5	STANDARD METHODS *2510	58
Tabla 2-6	STANDARD METHODS *2130 B	58
Tabla 2-7	STANDARD METHODS *2340 B Y C	58
Tabla 2-8	STANDARD METHODS *3500 Ca	58
Tabla 2-9	STANDARD METHODS *2320 B	59
Tabla 2-10	STANDARD METHODS *4500 Cl B	59
Tabla 2-11	STANDARD METHODS *4500 SO <sub>4</sub> E	59
Tabla 2-12	STANDARD METHODS *4500 NO <sub>2</sub>	59
Tabla 2-13	MÉTODO HACH*	60
Tabla 2-14	MÉTODO HACH*	60
Tabla 2-15	MÉTODO HACH*	60
Tabla 2-16	MÉTODO HACH*	61
Tabla 2-17	STANDARD METHODS *2540	61
Tabla 2-18	MÉTODO HACH*	61
Tabla 2-19	STANDARD METHODS	61
Tabla 2-20	Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 1	62
Tabla 2-21	Análisis Microbiológicos del Agua de Pozo 1	62
Tabla 2-22	Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 2	62
Tabla 2-23	Análisis Microbiológicos del Agua de Pozo 2	63
Tabla 2-24	Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado	63
Tabla 2-25	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1	64
Tabla 2-26	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 1	64
Tabla 2-27	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 2	64
Tabla 2-28	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 2	64
Tabla 2-29	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado	64
Tabla 2-30	Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 1 Semana	67
Tabla 2-31	Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 2 Semana	67
Tabla 2-32	Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 3 Semana	67
Tabla 3-1	Proyección de la Población	68
Tabla 3-2	Nivel de Complejidad del Sistema	69
Tabla 3-3	Pérdidas Técnicas	70
Tabla 3-4	Valores de $k_1$	71
Tabla 3-5	Caudales de Diseño para los elementos de un Sistema de Agua Potable	71
Tabla 3-6	Factor de Seguridad	72
Tabla 3-7	Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera	78
Tabla 3-8	Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares	80
Tabla 3-9	Parámetros de Diseño de las Placas planas de Asbesto – Cemento	80

Tabla 3-10	Viscosidad Cinemática del agua a 1 Atmósfera	82
Tabla 3-11	Valores de $S_c$ Típicos	83
Tabla 3-12	Demanda de cloro para aguas	86
Tabla 3-13	Resultados proyección futura (2039)	88
Tabla 3-14	Resultados Vertedero Rectangular	88
Tabla 3-15	Resultados Mezcla Rápida (Resalto Hidráulico) en el vertedero rectangular	88
Tabla 3-16	Coagulación	89
Tabla 3-17	Resultados Sedimentador Laminar	89
Tabla 3-18	Resultados Desinfección	89
Tabla 3-19	Resultado de Análisis de Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada	89
Tabla 3-20	Resultados de Análisis de Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada	90
Tabla 3-21	Rendimiento de Potabilización, pH y Fosfatos	91
Tabla 3-22	Rendimiento de Potabilización, CT Y CF	91
Tabla 3-23	Costo de Equipos y Accesorios	94
Tabla 3-24	Costo de Instalación Hidráulica y mano de obra	94
Tabla 3-25	Costo Total de Inversión	94
Tabla 3-26	Costos de operación al día	95

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1	Vertedero Rectangular	23
Figura 1-2	Vertedero Triangular	24
Figura 1-3	Vertedero Trapezoidal	24
Figura 1-4	Mezclador Mecánico	25
Figura 1-5	Mezclador Hidráulico	26
Figura 1-6	Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular	26
Figura 1-7	Sedimentador Laminar	31
Figura 1-8	Sedimentador de Alta Tasa	32
Figura 1-9	Tanque Cloro Gas	34
Figura 1-10	Hipoclorito de Sodio	35
Figura 1-11	Hipoclorito de Calcio	36
Figura 2-1	Monterrey	53
Figura 2-2	Topografía del Sector	54
Figura 2-3	Muestreo Pozo 1 y Pozo 2	55
Figura 2-5	Conservación de Muestras	55
Figura 3-1	Dimensionamiento Vertedero Rectangular	73
Figura 3-2	Dimensiones del Vertedero Rectangular con Resalto Hidráulico	79
Figura 3-3	Dimensiones del Sedimentador Laminar	85
Figura 3-4	Dimensiones Placas del Sedimentador Laminar	85
Figura 3-5	Dimensiones del tanque para mezcla de cloro	88

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 2-1	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1	64
Gráfico 2-2	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 1	65
Gráfico 2-3	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 2	65
Gráfico 2-4	Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 2	66
Gráfico 2-5	Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado	66
Gráfico 3-1	Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada	90
Gráfico 3-2	Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada	90
Gráfico 3-3	Rendimiento pH y Fosfatos	91
Gráfico 3-4	Rendimiento Coliformes Totales y Coliformes Fecales	91
Gráfico 3-5	Propuesta Diseño de Tratamiento de Agua Potable	92

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ec. (1-1)	20
Ec. (1-2)	21
Ec. (1-3)	21
Ec. (1-4)	22
Ec. (1-5)	23
Ec. (1-6)	24
Ec. (1-7)	25
Ec. (1-8)	38
Ec. (1-9)	38
Ec. (1-10)	39
Ec. (1-11)	39
Ec. (1-12)	39
Ec. (1-13)	39
Ec. (1-14)	40
Ec. (1-15)	40
Ec. (1-16)	41
Ec. (1-17)	41
Ec. (1-18)	42
Ec. (1-19)	42
Ec. (1-20)	42
Ec. (1-21)	43
Ec. (1-22)	43
Ec. (1-23)	44
Ec. (1-24)	44
Ec. (1-25)	44
Ec. (1-26)	45
Ec. (1-27)	45
Ec. (1-28)	45
Ec. (1-29)	46
Ec. (1-30)	46
Ec. (1-31)	47
Ec. (1-32)	47
Ec. (1-33)	47
Ec. (1-34)	48

Ec. (1-35)	48
Ec. (1-36)	48
Ec. (1-37)	49
Ec. (1-38)	49
Ec. (1-39)	49
Ec. (1-40)	50
Ec. (1-41)	50
Ec. (1-42)	51
Ec. (1-43)	51
Ec. (1-44)	51
Ec. (1-45)	52

## ÍNDICE DE REACCIONES

Rx.1-1	29
Rx.1-2	30
Rx.1-3	30

## ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A	Ficha Técnica Policloruro de Aluminio (PAC)	99
ANEXO B	Ficha Técnica Hipoclorito de Sodio (ClONa)	100
ANEXO C	Procedimiento Dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC)	101
ANEXO D	Procedimiento Dosificación Hipoclorito de Sodio (ClONa)	102
ANEXO E	Norma NTE INEN 1108:2006, Agua Potable. Requisitos	103
ANEXO F	Resultados Análisis Físico, Químicos Pozo 1 y 2, 1ª Semana	104
ANEXO G	Resultados Análisis Físico, Químicos Pozo 1, 2 y Homogenizado, 2ª Semana	105
ANEXO H	Resultados Análisis Físico, Químicos Pozo 1, 2 y Homogenizado, 3ª Semana	106
ANEXO I	Resultados Análisis Físico, Químicos Pozo 1, 2 y Homogenizado, 4ª Semana	107
ANEXO J	Resultados Análisis Físico, Químicos Pozo 1, 2 y Homogenizado, 5ª Semana	108
ANEXO K	Resultados Análisis Microbiológicos Agua Cruda, Pozo 1 y 2	109
ANEXO L	Resultados Análisis Físico, Químico y Microbiológicos, Agua Tratada	110
ANEXO M	Tratamiento del agua cruda en el Laboratorio	111
ANEXO N	Fuentes de Abastecimiento de Agua. Pozos	112
ANEXO O	Diseño Planta de Tratamiento de Agua Potable	113
ANEXO P	Diseño Planta de Tratamiento de Agua Potable	114
ANEXO Q	Diseño Planta de Tratamiento de Agua Potable	115
ANEXO R	Diseño Planta de Tratamiento de Agua Potable	116
ANEXO S	Diseño Planta de Tratamiento de Agua Potable	117

## RESUMEN

Se diseñó una planta de tratamiento de agua potable para la Parroquia Monterrey del cantón La Concordia, provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, para mejorar la calidad de vida de los habitantes del cantón. Se realizó caracterizaciones físico, químicas y microbiológicas del agua de captación proveniente de pozos, y pruebas de dosificación del Policloruro de Aluminio e Hipoclorito de Sodio; determinando parámetros requeridos y Test de Jarras. Los resultados obtenidos en las pruebas realizadas y los cálculos de ingeniería, determinaron que el sistema para la potabilización del agua debe constar de un vertedero rectangular con resalto hidráulico para la dosificación del Policloruro de Aluminio, un sedimentador laminar, un tanque de desinfección y distribución, el caudal de diseño es de 12,8 L/s, para una población futura de 6167 habitantes con proyección de 25 años; en el caso del Policloruro de Aluminio se hará con una dosificación de 3% y de Hipoclorito de Sodio de 0,3 mg/L. El rendimiento de la planta de acuerdo a los parámetros fuera de norma son de 92% para el aumento del pH, 60% para la remoción de Fosfatos y de 100 % para la eliminación de Coliformes Totales y Coliformes Fecales. Se concluye que para que exista agua de calidad y satisfacer las necesidades de los habitantes de la parroquia Monterrey, se debe implementar el sistema propuesto, ya que se comprobó mediante pruebas de tratabilidad que es un sistema eficiente. Recomendamos el uso del Policloruro de Aluminio mediante dosificación manual, y no con una bomba dosificadora; esto reducirá costos, no afectará la calidad estética y la parte de salubridad del agua.

<POTABILIZACIÓN> <ANÁLISIS DE AGUA> <PAC> <PARÁMETROS DE CALIDAD>  
<SEDIMENTADOR> <VERTEDERO RECTANGULAR> <PRUEBAS DE TRATABILIDAD>  
<CARACTERIZACIÓN DEL AGUA> <POZOS SUBTERRÁNEOS> <DISEÑO>

## SUMMARY

Treatment plant water for Monterrey La Concordia Parish Canton province of Santo Domingo de los Tsáchilas was designed to improve the quality of life of the inhabitants of the county. Physical, chemical and microbiological water uptake characterizations from wells, and test dosage of polyaluminium chloride and sodium hypochlorite was carried out; determining parameters required and Test of Jars. The results obtained in testing and engineering calculations determined that the system for drinking water treatment should consist of a rectangular weir with hydraulic jump for dosing of Polyvinyl Aluminum, a settler laminar, a tank disinfection and distribution, design flow is 12.8 L / s, for a future population of 6167 inhabitants projection 25; in the case of Polyvinyl Aluminum will be done with a dosage of 3% sodium hypochlorite and 0.3 mg / L. The performance of the plant according to the parameters are outside the norm of 92% for the increase in pH, 60% for the removal of phosphates and 100% for the disposal of Total Coliform and Fecal Coliform. We conclude that the existence of water quality and meet the needs of the inhabitants of the parish Monterrey, you must implement the proposed system, as it was proved by treatability tests is an efficient system. We recommend using aluminum Polyvinyl by manual dosing, not with a metering pump; this will reduce costs, will not affect the aesthetic quality and water safety part.

## INTRODUCCIÓN

La purificación del agua es uno de los problemas que se tiene que solucionar con más brevedad posible. Lo primordial es proveer a todos los habitantes de agua potable, ya que de esta manera cada comunidad o pueblo satisface un requerimiento fundamental para la vida.

La Junta Administradora del Agua Potable de Monterrey interesada por mejorar la calidad del agua para la distribución a los habitantes de la parroquia, me permitió desarrollar y diseñar este proyecto para de esta manera ofrecer agua con características aceptables.

En la presente investigación se expone información sobre el diseño de una planta de tratamiento para la potabilización del agua en la Parroquia Monterrey, cuya fuente principal es agua subterránea (pozos), misma que es succionada, almacenada y distribuida a la parroquia a través de tuberías de Asbesto y PVC.

Cuando el agua no recibe ningún tratamiento, se considera que es poco aceptable o inaceptable para el consumo humano puesto que al realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua, se identificaron varios parámetros fuera de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006“Agua Potable. Requisitos”.

No todas las aguas son iguales, ya que existen diversas fuentes de agua; por ello, el tipo de tratamiento de potabilización requerido para producir agua potable también varía, por esta razón se seleccionó el tratamiento más conveniente, con operaciones simples adaptadas a las necesidades de la parroquia, de fácil manejo y mantenimiento; mediante pruebas de tratabilidad realizadas en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias, que tratará de mejorar la calidad del agua, garantizando su distribución a la población de la Parroquia Monterrey cumpliendo con los requisitos establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006“Agua Potable. Requisitos

## ANTECEDENTES

Monterrey es una parroquia rural del cantón La Concordia situada en la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas en el Ecuador. Monterrey fue fundada en 1965 y es parroquia rural desde el 11 de septiembre del 2011 hasta la actualidad. Se encuentra localizada a 20 minutos del centro del cantón La Concordia y constituye junto con Las Villegas y Plan Piloto una de las tres parroquias rurales que tiene La Concordia.

Se localiza en la parte noroccidental del país, está situada a una altura de 200 msnm, tiene un clima tropical húmedo, la superficie total es de 102 Km<sup>2</sup>. Al norte limita con la Zona Excluida, al sur con el cantón Santo Domingo, al este con la parroquia Las Villegas y al oeste con la Provincia de Manabí.

Actualmente la parroquia Monterrey tiene una población total de 6000 habitantes, siendo en el centro parroquial donde está la población más extensa de alrededor de 4000 habitantes, el agua es extraída mediante pozos profundos y llevada a un tanque que sirve como almacenamiento y posterior distribución del agua mediante tubería PVC sin embargo existen sectores que cuentan con tubería antigua de Asbesto para la transportación del agua consumida por sus habitantes sin ningún tipo de tratamiento adecuado que garantice el agua potable de buena calidad.

## JUSTIFICACIÓN

El agua y el saneamiento son los principales motores para la salud pública. Es esencial y vital para el desarrollo de las actividades e higiene del ser humano.

Para el desarrollo rural se requiere contar con los recursos hídricos que le permitan entregar a los habitantes el recurso necesario para cubrir sus necesidades diarias, requiriendo cantidades significativas de este elemento de acuerdo al número de habitantes que tiene. Este recurso deberá ser por tanto garantizado en su cantidad y calidad.

En la actualidad el abastecimiento de agua potable insuficiente e inadecuada que implica riesgos, representa un problema constante sobre la salud de la población de la parroquia Monterrey. La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 80 % de todas las enfermedades en el mundo en desarrollo, son causadas por la falta de agua limpia y saneamiento adecuado, siendo esta una de las causas principales de enfermedades y muertes sobre todo en los niños.

La presente investigación busca estudiar, analizar y proponer una alternativa para controlar el nivel de contaminantes presentes en el agua, ya que no existen tratamientos previos similares al estudio propuesto, por lo que es necesario el diseño de una planta de tratamiento de agua potable que disponga de todas las etapas, dentro de las cuales tenemos los puntos de recolección, tratamiento, análisis y distribución correctamente establecidos, para lograr el objetivo propuesto de tal manera que el agua captada reciba un tratamiento adecuado previa su distribución, puesto que es requerido para proteger la salud de los habitantes de la zona.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

- Diseñar una planta de tratamiento de agua potable para la parroquia Monterrey del cantón La Concordia, Provincia Santo Domingo de los Tsáchilas.

### **ESPECÍFICOS**

- Realizar la caracterización físico – química y microbiológica del agua proveniente de pozos, que se consume en la parroquia Monterrey.
- Identificar los parámetros de calidad del agua establecidos por la Norma NTE INEN – REQUISITOS 1108:2006.
- Establecer las variables de proceso que se requieren para el diseño de la planta de tratamiento.
- Realizar el dimensionamiento de la planta de tratamiento de potabilización en base a cálculos de ingeniería.
- Validar el diseño del sistema de tratamiento de agua a través de las pruebas de tratabilidad, establecidos por la Norma NTE INEN – REQUISITOS 1108:2006.

# CAPÍTULO I

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. Agua

“Todo el mundo sabe qué es el agua; se conoce que es una sustancia química compuesta de 2 átomos de hidrógeno y 1 de oxígeno y que puede presentarse en cualquiera de los tres estados: líquido, gas (vapor) y sólido (hielo). Se conoce además, que en la naturaleza sigue un ciclo (ciclo hidrológico). Sin embargo, es poca la gente que se acuerda o tiene presente sus propiedades.

Todas las características que posee el agua, ya sea que se encuentre contaminada o no, se les conoce como propiedades del agua. Las propiedades son las características que distinguen al agua de los demás líquidos.”<sup>1</sup>

#### 1.1.1 Clasificación de las fuentes de agua

“Todas las fuentes de agua están interconectados, desde la atmósfera hasta los océanos a través del ciclo hidrológico, es necesario definir los cuerpos de agua que componen la Tierra:

**Ríos.-** Son fuentes de agua, comúnmente denominados corrientes, se caracterizan porque fluyen unidireccionalmente con velocidades relativamente altas que oscilan entre 0,1 y 1 m/s. La corriente en los ríos es variable y depende de las condiciones climáticas y de las características del área de drenaje. En general, los ríos son cuerpos de agua los cuales pueden considerarse permanentemente mezclados, y en la mayoría de ellos, la calidad del agua es importante en el sentido del flujo.

**Lagos.-** Tienen una velocidad promedio relativamente baja: oscilan entre 0,01 y 0,001 m/s (valores en la superficie). Esto hace que el agua permanezca en el sistema desde unos pocos días hasta varios años. Respecto a la calidad del agua, esta se comporta o está gobernada de acuerdo con el estado trófico y con los periodos de estratificación.

**Aguas Subterráneas.-** En los acuíferos el régimen de flujo es relativamente estable en términos de velocidad y dirección. Las velocidades promedio pueden variar entre  $10^{-10}$  y  $10^{-3}$  m/s y son gobernadas por la porosidad y la permeabilidad del estrato. La dinámica del agua en los acuíferos es bastante complicada.

Existen otros tipos de fuentes de agua de carácter temporal que están caracterizados por su variabilidad hidrodinámica. Entre ellos, los más importantes son:

---

<sup>1</sup> SIERRA, Carlos A., Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico., Bogotá – Colombia., 2011., p.p. 53.

Embalses: Se consideran fuentes de agua intermedios entre lagos y ríos y se singularizan porque su hidrodinámica y calidad de agua dependen de las reglas de operación.

Ciénagas: Son ecosistemas considerados fuentes de agua intermedios entre lago y un acuífero freático. Estuarios: Son medios acuáticos intermedios entre ríos y mar.

Como se puede observar, la variedad de regímenes hidráulicos que se presentan en los distintos cuerpos de agua hace que estén caracterizados por su tamaño y las condiciones climáticas de la cuenca. El factor que caracteriza los ríos es la variabilidad del caudal. En los lagos y embalses lo más importante es el tiempo de residencia (estado trófico) y su régimen térmico, mientras que en las aguas subterráneas importa el grado de saturación del suelo.”<sup>2</sup>

### 1.1.2. El agua y el mundo

“El agua circula naturalmente a través de los océanos, la atmósfera, lagos y ríos, glaciares y agua subterráneas. El aire y el agua son los elementos físicos más móviles que tiene el sistema Tierra, y su movilidad permite operar el ciclo del agua. La circulación constante del agua desde los océanos a la atmósfera (evaporación), desde la atmósfera a la Tierra o de regreso a los océanos (precipitación) y desde la Tierra a los océanos y atmósfera (evaporación y escorrentía) puede ser llamada el ciclo planetario del agua, y existen muchos subciclos regionales y locales.

Para ilustrar la disponibilidad del agua en el mundo, la tabla 1-1 presenta un resumen de los valores estimados.

**Tabla 1-1 Distribución del agua en la Tierra**

Situación del agua	Volumen en km <sup>3</sup>		Porcentaje	
	Agua dulce	Agua salada	de agua dulce	de agua salada
Océanos y mares	-	1.338.000.000	-	96,5
Casquetes y glaciares polares	24.064.000	-	68,7	1,74
Agua subterránea salada	-	12.870.000	-	0,94
Agua subterránea dulce	10.530.000	-	30,1	0,76
Glaciares continentales y Permafrost	300.000	-	0,86	0,022
Lagos de agua dulce	91.000	-	0,26	0,007
Lagos de agua salada	-	85.400	-	0,006
Humedad del suelo	16.500	-	0,05	0,001
Atmósfera	12.900	-	0,04	0,001
Embalses	11.470	-	0,03	0,0008
Ríos	2.120	-	0,006	0,0002
Agua biológica	1.120	-	0,003	0,0001
Total agua dulce	35.029.110		100	-
Total agua en la tierra	1.386.000.000		-	100

Fuente: [http://es.wikipedia.org/wiki/Agua#Distribuci.C3.B3n\\_de\\_agua\\_en\\_la\\_naturaleza](http://es.wikipedia.org/wiki/Agua#Distribuci.C3.B3n_de_agua_en_la_naturaleza)

<sup>2</sup>SIERRA, Carlos A., Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico., Bogotá – Colombia., 2011., p.p. 27 – 28.

Al analizar la tabla 1-1 se puede observar que mientras los océanos representan el mayor volumen, los ríos son un porcentaje muy bajo de la totalidad del agua disponible en el mundo. Sin embargo, el agua presente en los océanos no es apta para el consumo humano debido a la salinidad que contiene y su desalinización es un proceso supremamente costoso.

Las aguas superficiales (lagos de agua dulce, ríos, lagunas, ciénagas) que son las que el hombre utiliza para desarrollar sus funciones básicas (abastecimiento de agua potable, navegación, recreación, etc.), desafortunadamente son las que se encuentran más contaminadas debido a que reciben directamente las descargas de aguas residuales sin ningún tratamiento. Muchas corrientes superficiales en el mundo se encuentran en estos avanzados de contaminación y no tienen ningún uso, excepto el de ser receptoras de desechos.

Los lagos y las ciénagas en el mundo son abundantes y juegan un papel importante en los balances locales de agua. Los grandes lagos del mundo están localizados en el hemisferio norte; en el sur solo son de importancia los ubicados en África.”<sup>3</sup>

### **1.1.3. Calidad del agua**

“La calidad del agua depende de su origen e historia. Las aguas naturales muestran, en general, las calidades más características de sus fuentes. Sin embargo, muchos factores producen variaciones en la calidad de las aguas obtenidas del mismo tipo de fuente. Estas variaciones provienen de la oportunidad que tiene el agua de absorber sustancias en forma de solución o tenerlas en suspensión. Las condiciones climatológicas, geográficas y geológicas son factores importantes para determinar la calidad del agua.”<sup>4</sup>

“El agua pura no existe en la naturaleza. El agua lluvia recoge impurezas mientras pasa a través del aire. Los ríos y las quebradas recogen impurezas provenientes del suelo.

Y de la descarga de aguas residuales domésticas e industriales, transportándolas a los lagos, embalses y mares. Existe menos posibilidad de polución en las aguas superiores de un río, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación, a pesar que la purificación natural ocurre en todo cuerpo de agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas.

El agua subterránea puede contener cantidades variables de materia disuelta proveniente de los estratos a través de los cuales pasa. Por otra parte, las impurezas suspendidas que adquiere como agua superficial son removidas por filtración al pasar a través del suelo; por eso, en general las aguas de pozo son claras.

---

<sup>3</sup> SIERRA, Carlos A., Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico. Bogotá – Colombia., 2011., p.p. 29 – 30.

<sup>4</sup> American Water Works Association., Agua, su Calidad y Tratamiento., México D.F., 1968., p.p. 1

Las impurezas en el agua puede encontrarse en solución o en suspensión. La materia suspendida debe removerse, al igual que toda sustancia disuelta que se halle en exceso o que haga el agua inadecuada para su uso. El tipo de polución que puede ocurrir en el agua y las medidas que deben tomarse para prevenirla o removerla varían con la fuente de donde proviene el agua.

Aguas puras, en el sentido estricto de la palabra, no existen en la naturaleza; por consiguiente, se usa el concepto de agua segura y de agua potable. El agua segura es aquella cuyo consumo no implica ningún riesgo para la salud del consumidor, mientras que el agua potable es aquella que además de ser segura es satisfactoria desde el punto de vista físico, químico y biológico, es decir, atractiva para su consumo como bebida. Debe tomarse en cuenta que el concepto de agua segura tiene un valor relativo y no absoluto, esto es, que de acuerdo con la técnica y métodos disponibles se puede afirmar que un agua es segura cuando no existe evidencia de riesgo para la salud del consumidor.

La salud y el aspecto son los principales motivos para el tratamiento del agua. Una variedad de desarrollo en el campo de la calidad del agua desde los años setenta y una creciente comprensión de los efectos sobre la salud han creado un desarrollo en alza en el campo de tratamiento. Con la identificación en el agua de bajos niveles, de compuestos orgánicos potencialmente dañinos, el agua libre de Coliformes y de baja turbidez ya no es suficiente. Las nuevas informaciones relativas a los contaminantes inorgánicos como el plomo están forzando a los suministradores a mejorar el control de calidad del agua dentro de los sistemas de distribución. El aumento de las presiones en los lechos fluviales ha dado por resultado una mayor carga de entrada de microorganismos en muchas plantas de tratamiento. Aunque no ha ocurrido una intensa reevaluación de los aspectos estéticos de la calidad del agua, la calidad estética es importante. Problemas tales como la concentración mineral excesiva, la fijación de manchas y el color, afectan a la aceptación por parte del consumidor del suministro de agua.”<sup>5</sup>

#### ***1.1.4. Abastecimientos de agua***

“El agua fluye continuamente a través del ciclo hidrológico de precipitación o lluvia, escurrimiento, infiltración, y así sucesivamente. Compréndase por fuente de abastecimiento de agua aquel punto o fase del ciclo natural del cual se desvía o aparta el agua, eventualmente para ser utilizada, regresando finalmente a la naturaleza. Pero no necesariamente regresara a la fuente de origen, esto viene determinado por la manera como se dispone el agua de desecho.

##### ***1.1.4.1. Abastecimientos Subterráneos***

Parte de la lluvia que cae sobre la superficie de la tierra se filtra en el suelo y se transforma en agua subterránea. Al traspasar el suelo, el agua entra en contacto con muchas sustancias, tanto orgánicas como inorgánicas.

---

<sup>5</sup> ROMERO, J. Calidad del Agua. Bogotá- Colombia. 2009. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. p.p. 283-297.

Algunas de estas sustancias son fácilmente solubles en agua. Otras, como las que causan la alcalinidad y la dureza, son solubles en agua que contiene dióxido de carbono absorbido del aire o de las materias orgánicas en descomposición en la tierra.

La descomposición de materias orgánicas quita también el oxígeno disuelto del agua que se filtra a través de ellas. Esta agua, exenta de oxígeno y con un alto contenido de dióxido de carbono, disuelve el hierro y el manganeso del suelo. Las aguas que contienen hierro y manganeso favorecen el desarrollo de bacterias del género *Crenothrix* y otros organismos similares en los depósitos de agua subterránea almacenada. A veces, en las aguas subterráneas se produce sulfuro de hidrógeno cuando hay ausencia de oxígeno, descomposición de materias orgánicas o reducción de sulfatos.

Si bien las bacterias y otros organismos que viven en la superficie de la tierra pueden ser recogidos primero por la lluvia que cae sobre ellos, luego la filtración en el subsuelo da como resultado la separación de estos organismos. Hay una exclusión cuando cerca de la superficie las rocas presentan ciertas grietas como ocurre con la piedra caliza. En este caso, la contaminación de superficie puede ser llevada a grandes distancias sin tener un cambio importante.

Las condiciones sanitarias en la proximidad de las fuentes de agua subterránea son importantes, en particular cuando la polución en el subsuelo proviene de letrinas, pozos absorbentes y albañales con fugas. Especialmente seria es la polución que se presenta al nivel o debajo del manto freático. Las fuentes de polución situadas en la superficie de la tierra, aunque no deben ser ignoradas, son menos importantes que las fuentes subterráneas.

En general, las aguas subterráneas son claras, frías, sin color y más duras que el agua de superficie en la región en la cual se encuentran. En las formaciones calizas, las aguas subterráneas son muy duras, propensas a formar depósitos en las tuberías de agua, y son relativamente no corrosivas. En las formaciones graníticas las aguas subterráneas son suaves, con bajo contenido de minerales disueltos, un contenido relativamente alto de dióxido de carbono libre y son muy corrosivas. Con respecto a las bacterias, las aguas subterráneas son mucho mejores que las aguas de superficie, salvo en los lugares donde existe la polución subterránea. Aunque las variaciones de la extracción en los pozos suelen provocar cambios en la calidad del agua, las aguas subterráneas tienen, en general una calidad uniforme.

La temperatura del agua subterránea entre los 3 y 15 m debajo de la superficie equivale generalmente a la temperatura media atmosférica del lugar. Pasando los 15 m, la temperatura aumenta más o menos 1 grado centígrado por cada 10 m de profundidad. La temperatura de las aguas subterráneas permanece bastante constante durante todo el año.

## **Manantiales**

El agua subterránea que corre en la parte superior de un estrato impermeable puede salir a la superficie en forma de manantial. Esto sucede generalmente cuando el estrato impermeable aflora debajo de una extensión elevada de material permeable. A veces, los manantiales brotan entre las grietas de las rocas. Las aguas de manantiales provenientes de estratos someros se verán más probablemente afectadas por la contaminación superficial que las aguas profundas. En general, sus caracteres de calidad reflejan la formación geológica del lugar en que surgen. Normalmente, la cantidad de agua que se obtiene en manantiales es limitada y, por lo tanto, este modo de abastecimiento se aprovecha solamente para pequeñas poblaciones.

## **Pozos someros y galerías de filtración**

Los pozos someros son los que se forman en depósitos superficiales de material permeable encima de un estrato impermeable. De un modo arbitrario, los pozos someros con más de 15 m de profundidad se califican de “profundo” hay pozos someros de gran diámetro abiertos por excavación y los hay de pequeño diámetro abiertos por perforaciones y utilizados mediante tubería. Generalmente se extrae el agua por aspiración. El limitado descenso de nivel aprovechable reduce el tamaño del área de donde proviene el agua subterránea. Por lo tanto, la calidad del agua proveniente de un suelo de poca profundidad se determinará principalmente por el carácter de la zona vecina de captación. Los pozos someros debidamente protegidos con material permeable satisfactorio producirán agua de buena calidad.

Las galerías de filtración, como los pozos someros, se forman en capas someras de terreno, infiltradas con agua y cerca de corrientes o pantanos. En general, el agua proveniente de estas galerías tiene los mismos caracteres que la de los pozos someros de la región. A veces su rendimiento aumenta inundando zonas de material permeable en su vecindad, técnica que puede modificar considerablemente el carácter del agua de galería.

## **Pozos profundos**

Los pozos profundos se excavan o se perforan, según los estratos de la región. Frecuentemente atraviesan capas impermeables antes de alcanzar el estrato acuífero deseado. Al igual que en los pozos someros, las aguas provenientes de pozos profundos tienen los caracteres determinados por la naturaleza de la superficie tributaria de captación y las formaciones geológicas atravesadas por el agua. La superficie de captación puede encontrarse cerca de los pozos o lejos de ellos.

Generalmente, el terreno de captación para pozos profundos es bastante extenso. Esto significa que el agua subterránea recorrerá largas distancias y tendrá amplio contacto con las formaciones

rocosas y con la tierra. Las aguas de pozos profundos tienden a ser, por lo tanto, más intensamente mineralizadas que las aguas provenientes de pozos de poca profundidad.

Las aguas de pozos profundos son generalmente limpias y sin color, pero contienen frecuentemente hierro o manganeso, o ambos. Cuando entran en contacto con el aire, las aguas que llevan hierro o manganeso, aunque estén claras e incoloras al salir de la tierra, se enturbian y se tiñen por óxidos de los minerales. Las aguas de ciertos pozos profundos pueden contener cantidades indeseables de sulfuro de hidrógeno. Otras contienen cloruros, sulfatos y carbonatos que dificultan su tratamiento. Sin embargo, la dureza del agua debida al calcio o al magnesio puede eliminarse fácilmente por procesos normales de ablandamiento.

Las aguas de pozos profundos son generalmente buenas desde un punto de vista bacteriológico. Una contaminación temporal puede ocurrir durante la excavación o perforación. Es preciso, por lo tanto, dejar pasar algún tiempo después de construir un pozo para determinar su calidad exacta del agua extraída. En cuanto a pozos antiguos deberán considerarse sospechosos cuando se notan cambios marcados en determinaciones bacterianas.”<sup>6</sup>

#### ***1.1.5. Agua potable tratada***

“Se entiende como agua potable o agua tratada aquella a la cual se le han variado o cambiado sus características físicas, químicas y biológicas con la intención de que sea utilizada de forma beneficiosa. La calidad del agua tratada depende del uso que se le vaya a dar. Por ejemplo, la calidad del agua para consumo humano o la utilizable para riego tienen una calidad diferente a la calidad del agua requerida por un determinado sector industrial, debido a sus características.”<sup>7</sup>

#### ***1.1.6. Importancia de los análisis de laboratorio y su caracterización***

“Los análisis del agua en el laboratorio se llevan a cabo por varios motivos. Para ayudar a fomentar una opinión acerca de lo apropiado que sea el agua de un abastecimiento para el uso público.

Por esto se debe considerar diversos factores; si es apta para el consumo humano, según lo revela la presencia o ausencia de contaminación, si es corrosiva para la tubería metálica o es capaz de formar incrustaciones en sistemas de agua fría o caliente.

Si es atractiva o agradable en su apariencia y sabor; si es eficaz para usarse en el lavado doméstico de ropa; o si puede usarse en las industrias. Son importantes los análisis frecuentes de laboratorio para vigilar los procesos de tratamiento de agua y asegurar un efluente satisfactorio en todo momento. Las diferentes pruebas son realmente recursos que completan y amplían los sentidos humanos.

<sup>6</sup>SIERRA, Carlos A., Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico., Bogotá – Colombia., 2011., p.p.52.

<sup>7</sup>American Water Works Association., Agua, su Calidad y Tratamiento., México D.F., 1968., p.p.7- 10.

Los análisis de laboratorio se clasifican en: análisis físicos, análisis químicos, análisis bacteriológicos y análisis microscópicos. Los análisis físicos calculan y registran todas las propiedades que puedan ser observadas por los sentidos. Los análisis químicos identifican las cantidades de materia mineral y orgánica que existe en el agua y que puede afectar gravemente su calidad, proporcionando datos acerca de contaminaciones o mostrando las variaciones ocasionadas por el tratamiento, lo cual es indispensable para inspeccionar un proceso de tratamiento de agua.

Los análisis bacteriológicos advierten la presencia de bacterias que son causantes de la contaminación y consiguientemente la calidad de agua para consumo.

Los análisis microscópicos suministran información relativa de las proliferaciones en el agua que frecuentemente son los causantes de sabores y olores desagradables u obstrucción de los filtros.”<sup>8</sup>

Los parámetros Físicos, Químicos y Microbiológicos se clasifican de acuerdo a la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos.”

#### **1.1.7. Parámetros físicos**

“Son aquellas sustancias que tienen incidencia directa sobre las requisitos estéticos del agua.

**Turbiedad.-** Es la capacidad que tiene el material suspendido en el agua para obstruir el paso de la luz. La turbiedad es provocada por una gran variedad de causas.

La turbiedad es importante en el tratamiento del agua potable por las siguientes razones:

**Estética:** Cuando hay presencia de turbiedad en el agua causa la no aceptación en el consumidor. Además, existen ciertos procesos industriales (fabricación de textiles, alimentos) que requieren agua libre de turbiedad.

**Selección de los procesos de tratamiento:** La turbiedad es un parámetro elemental en la determinación de los procesos más convenientes para tratar el agua de abastecimiento.

Procesos como coagulación, sedimentación y filtración se diseñan y trabajan teniendo en cuenta el valor de la turbiedad.

**Filtración y cloración del agua:** La turbiedad puede incidir en la eficiencia de determinados procesos de tratamiento del agua, por ejemplo, la filtración y la desinfección. La filtración del agua se vuelve complicada y costosa cuando la turbiedad es alta; la turbiedad obstaculiza los filtros, provoca problemas de operación en el tratamiento del agua y ocasiona un aumento en la frecuencia de lavado de las unidades.

---

<sup>8</sup> American Water Works Association., Agua, su Calidad y Tratamiento., México D.F., 1968., p.p. 40.

Cuando la turbiedad es bastante alta se necesitan dosis mayores de cloro para desinfectar el agua. Esto es producido ya que los microorganismos se ocultan entre las partículas de turbiedad por lo que se requieren mayores cantidades de cloro para eliminarlos.

El instrumento que se utiliza para medir la turbiedad es el turbidímetro basado en principios nefelométricos. La sustancia patrón de medida es una mezcla de sulfato de hidracina y hexametilamina.

**Color.-** Conjuntamente con la turbiedad, el color en el agua puede considerarse como una característica independiente. Mientras que la turbiedad se considera ocasionada por partículas de gran tamaño (diámetro  $> 10^{-3}$  mm), el color es provocado por sustancias disueltas y por los coloides.

El origen más aceptado es el que el color es provocado, a excepción del ocasionado por las descargas industriales, por la descomposición natural de la materia vegetal de las plantas (humos) y por la disolución de ciertos minerales (especialmente hierro y manganeso) presentes en el subsuelo.

Se da como color aparente y color verdadero. El color aparente es producido por el material suspendido mientras que el color verdadero es el que permanece en el agua después de eliminar la turbiedad.

Es importante en el tratamiento del agua porque su presencia causa rechazo en los consumidores aunque no ocasione problemas sanitarios, como es el caso del color de origen natural. Cuando el color se da debido al vertimiento de desechos industriales se asocia a la presencia de sustancias tóxicas. El instrumento que se utiliza para medir el color es el colorímetro.

**Olor y sabor.-** Se mencionan en conjunto por estar íntimamente asociados. Los olores y sabores en el agua se producen con la presencia de sustancias indeseables causando el rechazo del consumidor. Los olores y sabores objetables se pueden deber a la presencia del plancton, compuestos orgánicos ocasionados por la actividad de las bacterias y algas, a los desechos industriales o a la descomposición de la materia orgánica. Específicamente la sustancia que produce olores en la descomposición de la materia orgánica es el  $H_2S$ . No existen instrumentos para determinar o calcular los olores y sabores en el agua; se pueden reportar en los análisis de aguas como presentes o no presentes.

**Temperatura.-** Puede ser el parámetro físico más importante del agua. Afecta tanto a la viscosidad y a la velocidad de las reacciones químicas, interviene en el diseño de la mayoría de los procesos de tratamiento del agua (coagulación, sedimentación, etc).

En nuestro medio, el agua se entrega a los consumidores con la temperatura que se encuentra en la fuente. Solamente en algunos procesos industriales es necesario entregar el agua a una determinada temperatura. Si se necesita a una temperatura mayor se calienta en las calderas y si se requiere rebajar se utilizan torres de enfriamiento.

**Sólidos.-** Para dar un diagnóstico acerca de la calidad del agua, es necesario determinar la cantidad de material sólido que contiene la muestra, los sólidos incluyen: Sólidos Totales; Sólidos Disueltos y Sólidos Suspendidos, Sólidos Volátiles y Sólidos Sedimentables.

**Sólidos Totales (ST).-** Los ST es todo el material que queda después de evaporar el agua a 105 °C, es decir, ST es todo aquello presente en la muestra, excepto el agua. Los ST se clasifican en:

**Sólidos Disueltos.-** En el agua la mayoría de los sólidos se hayan disueltos y consisten principalmente en sales y gases, se determinan pasando la muestra por un papel filtro y luego calculando los sólidos totales del filtrado.

**Sólidos Suspendidos.-** Se calculan restando los sólidos disueltos de los Sólidos totales.

**Sólidos Volátiles (SV).-** Es una cantidad de materia orgánica que puede volatizarse cuándo esta se quema en un horno mufla a una temperatura de 550 °C, la materia orgánica se oxida formando el gas carbónico y el agua que se volatilizan.

**Sólidos Sedimentables.-** Es el material que se sedimenta en el fondo de un recipiente de forma cónica (cono Imhoff) en el lapso de un periodo de 60 minutos. Los sólidos sedimentables se expresan en ml/L.

### **1.1.8. Parámetros químicos**

**pH.-** Expresa la intensidad de las condiciones ácidas o básicas del agua. Los instrumentos que se utilizan para medir el pH son electrónicos (pHómetro).

**Conductividad.-** Es un indicativo de las sales disueltas en el agua y mide la cantidad de iones especialmente de Ca, Mg, Na, P, bicarbonatos, cloruros y sulfatos. Cuando las aguas tienen altas concentraciones de conductividad se dicen que son corrosivas.

**Acidez.-** Se considera que todas las aguas que tienen un pH inferior a 8,5 unidades tienen acidez. La acidez en las aguas naturales es originada por la presencia de CO<sub>2</sub> o la presencia de un ácido fuerte (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, HNO<sub>3</sub>, HCl).

**Alcalinidad.-** Es la capacidad que tiene el agua para neutralizar los ácidos. La alcalinidad puede considerarse como la presencia de sustancias básicas en el agua, principalmente, sales de ácidos

débiles o bases fuertes (sustancias caracterizadas por el radical  $\text{OH}^-$ , por ejemplo la soda cáustica  $\text{NaOH}$ ).

La alcalinidad es importante en la calidad del agua por varias razones:

- En altas concentraciones le transmite un sabor desagradable al agua.
- En presencia de iones de  $\text{Ca}$  o  $\text{Mg}$  (dureza) forma precipitados que causan problemas de taponamiento y obstruyen el flujo en las tuberías.
- Tal vez la más importante razón es que la alcalinidad controla el proceso de coagulación en el tratamiento del agua potable, y la digestión anaeróbica en el caso del tratamiento del agua residual.

**Dureza.-** Es la propiedad que tienen ciertas aguas de cortar el jabón es decir, requieren grandes cantidades de jabón para producir espuma. Las aguas duras también tienen la singularidad de que a elevadas temperaturas forman incrustaciones en los equipos mecánicos y las tuberías.

La dureza la ocasiona la presencia de cualquier catión bivalente en el agua, principalmente  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ . La dureza ingresa al agua en el proceso natural de disolución de las formaciones rocosas presentes en el suelo.

**Hierro y manganeso.-** Se discuten en conjunto porque en la naturaleza siempre se encuentran juntos. Estos compuestos son básicamente importantes en las aguas subterráneas en las cuales se encuentran en altas concentraciones. La presencia de hierro y manganeso en las aguas superficiales y subterráneas se debe al poder disolvente que tiene el  $\text{CO}_2$  sobre los estratos del suelo reduciendo los compuestos férricos a hierro soluble.

El hierro y el manganeso se consideran importantes en el tratamiento del agua porque aunque no tienen efectos sobre la salud de los consumidores, tanto el hierro como el manganeso manchan la ropa y los aparatos sanitarios, además, cuando se agota el oxígeno forman compuestos que se depositan, corroen y obstruyen tuberías y equipos mecánicos.

**Nitrógeno.-** El nitrógeno (N) así como el fósforo (P) son esenciales para el crecimiento de protistas y plantas, razón por la cual reciben el nombre de nutrientes o bioestimuladores. Debido a que el N es absolutamente básico para la síntesis de proteínas, será preciso conocer datos sobre la presencia del mismo en las aguas, y en qué cantidades, para valorar la posibilidad de tratamiento de las aguas residuales domésticas e industriales mediante los procesos biológicos. El nitrógeno total está compuesto de nitrógeno orgánico, amoníaco, nitrito y nitrato.

**Fosforó.-** Es esencial para el crecimiento de algas y otros organismos biológicos. Debido a que en las aguas superficiales ocurren nocivas proliferaciones incontroladas de algas, actualmente existe

mucho interés en limitar la cantidad de fósforo que alcanzan las aguas superficiales por medio de vertimientos de aguas residuales, domésticas, industriales y por escorrentía.

### ***1.1.9. Parámetros microbiológicos***

El principio de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también pueden provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia.

Con la calidad y cantidad de microorganismos también va acompañando las características físicas y químicas del agua, puesto que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica.

En el análisis bacteriológico es fundamental detectar un grupo específico de bacterias llamado Grupo Coliforme, pero no todos los coliformes son de origen fecal, por lo que se distinguen los siguientes:

**Coliformes totales:** Comprenden la totalidad del grupo coliforme.

**Coliformes fecales:** El grupo coliforme incluye las bacterias anaeróbicas, Gram-negativas, no formadoras de esporas. Son un tipo de bacterias que se encuentran en las heces y pueden ocasionar enfermedades. Representan la fracción de coliformes presentes en intestinos y materias fecales del hombre o animales de sangre caliente.

Cuando existe presencia de coliformes fecales en el abastecimiento de agua, puede ser que esté contaminada con aguas negras u otro tipo de desechos en descomposición. Generalmente, las bacterias coliformes se localizan en mayor abundancia en la capa superficial del agua o en los sedimentos del fondo.”<sup>9</sup>

### ***1.1.10. Muestreo***

“Este proceso se lleva a cabo con mucho cuidado, ya que de los resultados del muestreo realizado depende la selección de las distintas etapas de tratamiento.

#### **1.1.10.1. Tipos de Muestras**

##### ***1.1.10.1.1. Muestra Simple o Puntual***

Aquella que representa la composición del cuerpo de agua original para el lugar, tiempo y circunstancias específicas en las que se realizó su captación.

---

<sup>9</sup>SIERRA, Carlos A., Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico., Bogotá – Colombia., 2011., p.p. 55-82.

Un cuerpo de agua puede estar debidamente interpretado por este tipo de muestreo, en el caso de algunas aguas de suministro, aguas superficiales y pocas veces de efluentes residuales. Es necesario escoger los intervalos de muestreo de acuerdo con la frecuencia esperada de los cambios, que puede variar desde tiempos tan cortos como 5 minutos hasta 1 hora o más.

Cuando la composición de las fuentes varía en el espacio más que en el tiempo, se necesita tomar las muestras en los sitios indicados.

#### 1.1.10.1.2. Muestras Compuestas

Es una combinación de muestras sencillas o puntuales tomadas en el mismo sitio durante distintos tiempos. En la mayoría de los casos se utilizan para observar concentraciones promedio, usadas para calcular las respectivas cargas o la eficiencia de una planta de tratamiento de aguas residuales.

#### 1.1.10.1.3. Muestras Integradas

Se refiere a las mezclas de muestras puntuales tomadas simultáneamente en distintos puntos, o lo más cercanas posible las cuales son analizadas. La necesidad de muestras integradas también se puede presentar si se propone un tratamiento combinado para varios efluentes residuales separados, cuya interacción puede tener un efecto significativo en la tratabilidad o en la composición.”<sup>10</sup>

## 1.2. Potabilización

### 1.2.1. Tipos de tratamientos para potabilizar el agua

“Los tratamientos para potabilizar el agua, se pueden clasificar de acuerdo con:

- Los componentes o impurezas a eliminar
- Parámetros de calidad

#### 1.2.1.1. Componentes o impurezas a eliminar

Se puede realizar una lista de procesos unitarios necesarios para la potabilización del agua en función de sus componentes. De esta manera, la clasificación sería la siguiente:

**Tabla 1-2 Procesos Unitarios en función de los contaminantes presentes**

Tipo de Contaminante	Operación Unitaria
Sólidos Gruesos	Desbaste
Partículas coloidales	Coagulación - Flocculación + Decantación o Filtración
Sólidos en Suspensión	Decantación – Filtración
Materia Orgánica	Preoxidación, Afino con carbón activado
Nitrógeno Amoniacal	Preoxidación: Cloración al Breakpoint
Gérmenes Patógenos	Desinfección
Metales no deseados (Fe, Mn)	Precipitación por oxidación + Filtración
Sólidos Disueltos (Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup> )	Ósmosis inversa

Fuente: GRUPO FORMASELECT. Manual de Tratamiento de Agua.

<sup>10</sup> Agua Potable para Poblaciones Rurales.

[http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guiacalde/2sas/d22/092\\_aforos/Agua\\_potable\\_para\\_poblaciones\\_rurales\\_\(CAP\[1\].%203\).pdf](http://www.bvsde.opsoms.org/bvsacg/guiacalde/2sas/d22/092_aforos/Agua_potable_para_poblaciones_rurales_(CAP[1].%203).pdf).

### 1.2.1.2. Parámetros de calidad

Las aguas ya sean superficiales o subterráneas destinadas a ser utilizadas para consumo humano quedan clasificadas, de acuerdo al grado de potabilización que deben incluir para su potabilización, en los tres grupos siguientes:

- **Tipo A1:** Tratamiento físico simple y desinfección.
- **Tipo A2:** Tratamiento físico normal, tratamiento químico y desinfección.
- **Tipo A3:** Tratamiento físico y químico intensivo, afino y desinfección.

Los procesos unitarios que corresponde cada grado de tratamiento serán los siguientes”<sup>11</sup>:

**Tabla 1-3 Procesos Unitarios referidos a cada Grado de Tratamiento**

Grado de tratamiento	Composición del tratamiento	Descripción
Tipo A1	Tratamiento Físico simple + Desinfección	Filtración rápida (sin reactivos) + Desinfección
Tipo A2	Tratamiento Físico normal + Tratamiento Químico + Desinfección	Preoxidación + Coagulación – Floculación + Decantación + Filtración + Desinfección
Tipo A3	Tratamiento Físico y Químico intensos + Afino + Desinfección	Cloración al Breakpoint + Coagulación – Floculación + Decantación + Filtración + Afino con Carbón Activo u otro tratamiento de afino + Desinfección

Fuente: GRUPO FORMASELECT. Manual de Tratamiento de Agua.

## 1.3. Proceso de potabilización

### 1.3.1. Sistema de captación

“Un sistema de abastecimiento de agua está conformado esencialmente por: la fuente de agua y su manera de captación, conducción o transporte, almacenamiento, tratamiento y distribución.

<sup>11</sup>GRUPO FORMASELECT. Contaminación de aguas y procesos de depuración, unidad potabilización del agua. España. 2007. p.p. 6-8, 13-17.

Las fuentes de abastecimiento por lo general deben ser permanentes y suficientes, cuando no son suficientes se busca la combinación de otras fuentes de abastecimiento para contrarrestar la demanda o es necesario su regulación.

En cuanto a su presentación en la naturaleza, pueden ser fuentes superficiales (ríos, lagos, mar) o subterráneas (acuíferos).

#### *1.3.1.1. Captación de Aguas Subterráneas*

El Acuífero es una formación geológica que permite almacenar y transportar agua y adicionalmente permite al hombre aprovechar el agua para cubrir sus necesidades.

Una de las clasificaciones más importantes para los acuíferos es la que lo agrupa de acuerdo a la presión hidrostática del agua contenida en los mismos.

Acuíferos Libres, no confinados o freáticos: aquellos acuíferos en los cuales existe una superficie libre del agua encerrada en ellos que está en contacto directo con el aire y por lo tanto a presión atmosférica más la presión hidrostática a medida que se profundiza en él. Debido a que la densidad del agua es de  $1\text{g/cm}^3$  la presión de fluidos aumentará  $1\text{ Kg/cm}^2$  por cada 10 metros de profundidad.

#### *1.3.2. Aducción*

Es el proceso por el cual pasa o se conduce el agua desde su captación hasta la planta de tratamiento.

Este sistema se caracteriza por contener un conjunto de elementos que pueden ser tuberías, canales, túneles y otros dispositivos que permitan la conducción o transporte de agua desde el punto de captación hasta un tanque de almacenamiento o planta de tratamiento o si las condiciones son buenas hasta el primer punto antes de la distribución de agua en la red.

#### **Conducción 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.

#### **Conducción forzada (tuberías)**

Se utilizan cuando el punto de toma está situado a una cota más baja que la entrada en la planta para salvar la diferencia de alturas, se emplean grupos de bombeo. Para soportar la presión de trabajo se dimensiona con materiales resistentes bien de chapas de acero o de hormigón reforzado con camisas de chapa.<sup>12</sup>

---

<sup>12</sup>HERNÁNDEZ, A., Calidad y Tratamiento del Agua., 5.a. ed., México- México., Editorial Mc. Graw Hill., 2002., p.p. 325-328.

### 1.3.2.1. Tipos de tuberías de Abastecimiento de agua

“Existen diferentes tipos de tuberías, y son las siguientes:

#### 1.3.2.1.1. Tuberías Metálicas

**Tubos de hierro fundido.-** Son utilizados por lo general en el servicio de agua y desagüe, sobre todo cuando la tubería debe estar en contacto directo con la tierra.

Las tuberías de hierro fundido son largamente utilizadas para aguas residuales, es recomendada para colectores de alcantarillados.

**Tuberías de acero.-** Se utilizan para transportar agua, vapores, aceites, combustibles y gases, se utiliza para altas temperaturas y presiones.

**Tuberías de cobre.-** La mayoría de las instalaciones modernas se hacen con tuberías de cobre, ya que es un material ligero, fácil de manipular y que suelda con facilidad. Además sirve para las conducciones tanto de agua fría como de agua caliente.

**Tuberías de bronce.-** Son indicadas para el suministro de agua, se debe unir con accesorios del mismo material para evitar corrosión galvánica, su costo es elevado comparado con los demás.

#### 1.3.2.1.2. Tuberías No Metálicas

**Tuberías cerámicas.-** Los tubos cerámicos son químicamente inertes, por esto logran resistir los ataques químicos corrosivos de las aguas domésticas e industriales. Poseen una buena resistencia a la abrasión. Se deben controlar y comprobar puesto que frágiles, permeables por fisuras y por la dificultad de ejecución de sus juntas.

**Tuberías de hormigón y de hormigón armado.-** Los tubos de hormigón se elaboran en moldes metálicos, empleando hormigones ricos en dosificación de cemento. Los tubos pueden ser de hormigón simple o de hormigón armado.

**Tuberías de poliéster.-** Son elaboradas con resinas de poliéster, refuerzos de fibra de vidrio y cargas inertes (arena, carbonato cálcico, etc) con secciones de 400 a 1500 mm, su desventaja es que son muy caros para el uso de conducción de agua potable.

**Tuberías de PVC.-** Gracias al gran desarrollo tecnológico de la industria de plásticos y la facilidad de manipulación de todos los productos fabricados con este material, hacen que en la actualidad tengan gran acogida para redes de alcantarillado de agua potable.

Solamente en diámetros pequeños de 6” a 8”, ya que para diámetros mayores su costo es muy elevado. Son de menor peso (peso específico 1.4 g/cm<sup>3</sup>). Son inertes a la corrosión por aguas y suelos agresivos. La superficie interior se considerara hidráulicamente lisa. Baja probabilidad de

obstrucciones. No favorecen el desarrollo de algas ni hongos. Si reciben tratamiento adecuado durante su uso, pueden llegar a tener una vida útil de 50 años.

**Tuberías de Polietileno (PE) y de Polipropileno (PP).**- Este tipo de tuberías se fabrican en forma análoga al PVC, es decir, por extracción, aunque la configuración molecular de ambas es bastante diferente. Se utilizan en especial para lanzamientos submarinos ya que resisten el ataque de microorganismos que pueden producir perforaciones en la tubería.”<sup>13</sup>

### **1.3.3. Medición del caudal**

“El caudal es la cantidad de flujo que circula a través de una sección de un ducto (tubería, cañería, oleoducto, río, canal, pozos, etc) por unidad de tiempo, normalmente se identifica con el flujo volumétrico o volumen que pasa por un área dada en la unidad de tiempo. Sin embargo a continuación se identifican más métodos de cómo medir el caudal.

Los pozos o manantiales son la mayoría de sistemas de abastecimiento de agua potable para poblaciones rurales.

Existen varios métodos para determinar el caudal de agua y los más utilizados en los proyectos de abastecimiento de agua potable en zonas rurales son los métodos volumétricos, y de velocidad-área, sin embargo existen otros como el método de aforo, método del flotador y método del correntómetro o molinete.

#### **1.3.3.1. Método Volumétrico**

Consiste en tomar el tiempo que demora en llenarse fácilmente con agua un recipiente de volumen conocido. Posteriormente, se divide el volumen en litros entre el tiempo promedio en segundos, obteniéndose el caudal:

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

**Ec. (1-1)**

**Dónde:**

**Q:** Caudal, L/s

**V:** Volumen del recipiente, L

**t:** Tiempo que tarda en llenarse el recipiente, s

Se recomienda tener un tiempo promedio, para lo cual se debe realizar como mínimo 5 mediciones.

---

<sup>13</sup><http://es.slideshare.net/freddyramirofloresvega/tipos-de-tuberias> – 2015-01-10.

### 1.3.3.2. Método Velocidad – Área

Consiste en medir la velocidad del agua que discurre del manantial tomando el tiempo que demora un objeto flotante en llegar de un punto a otro en una sección uniforme, teniendo en cuenta la distancia entre ambos puntos.

La velocidad del agua en la superficie es la máxima e irá disminuyendo a medida que las capas de agua estén a más profundidad. Teóricamente, la capa de agua más profunda, en contacto con el fondo, tiene velocidad nula. Por esta razón, se añade un coeficiente de corrección del 85% para homogenizar la velocidad de la corriente.

El caudal se determina de la siguiente manera:

$$Q = 0.085 \times v \times A$$

Ec. (1-2)

**Dónde:**

**Q:** Caudal, L/s

**v:** Velocidad superficial, m/s

**A:** Área de sección transversal, m<sup>2</sup>

Al igual que en el método volumétrico, para determinar el tiempo promedio se recomienda realizar un mínimo de 5 pruebas o mediciones, para mayor precisión.

### 1.3.3.3. Método del Aforo

Para realizar un aforo en un sistema hidráulico, se debe medir directamente el volumen, en un recipiente y el tiempo, con un cronómetro. Los métodos más conocidos de aforos de agua son los siguientes:

#### 1.3.3.3.1. Método del Flotador

Consiste en utilizar un flotador para medir el tiempo que toma desplazarse entre dos puntos a lo largo de la trayectoria del caudal de un canal abierto o una corriente, es recomendado para flujos constantes.

El caudal se determina de la siguiente manera:

$$Q = C \times V \times A$$

Ec. (1-3)

**Dónde:**

**Q** = Caudal, L/s.

**C** = Factor de corrección del caudal,

**V** = Velocidad del agua, m/s.

**A** = Área de la sección, m<sup>2</sup>.

#### 1.3.3.3.2. Método del Correntómetro o Molinete

En este método la velocidad del agua se mide por medio de un instrumento llamado correntómetro que mide la velocidad en un punto dado de masa de agua. Como el correntómetro mide la velocidad en un punto, para obtener la velocidad media de un curso de agua se deben en ciertos casos medir la velocidad en dos, tres o más puntos a diversas profundidades a lo largo de una vertical y a partir de una superficie del agua.

Conocidas las profundidades se calcula el área de la sección transversal, la que se utilizara para el cálculo del caudal. Es más utilizado para **calcular el caudal** de un río, y se lo calcula mediante la siguiente ecuación<sup>14</sup>:

$$Q = V \times A$$

**Ec. (1-4)**

#### **Dónde:**

**Q** = Caudal, L/s

**V** = Velocidad, m/s.

**A** = Área de la sección transversal, m<sup>2</sup>.

Para la medición de caudal de descarga se pueden utilizar estructuras de control de flujos insertadas en un canal abierto, y estos son los vertederos. Un vertedero es un hueco situado en el borde superior de una placa metálica o de madera. Esta placa se coloca en la acequia en sentido perpendicular a la corriente, de tal modo que toda el agua que circula por la acequia, pasa necesariamente por el vertedero.

#### **1.3.4. Tipos de vertederos**

“Entre los tipos de vertederos que se pueden utilizar para la mezcla rápida están:

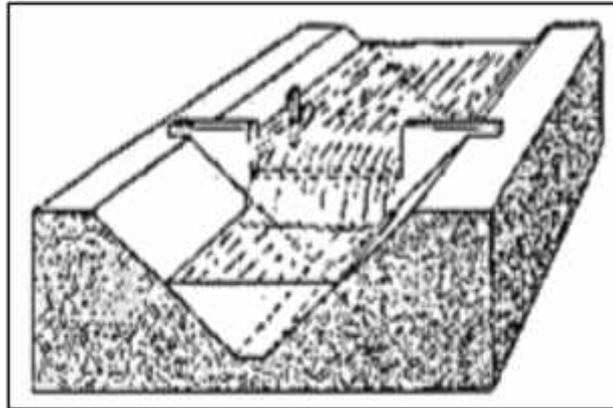
**Vertedero Rectangular:** Tienen la escotadura en forma rectangular y que puede variar de tamaño. Pueden dividirse en dos grupos: los sin contracción y los con contracción.

<sup>14</sup><http://www.fao.org/docrep/T0848S/t0848s06.htm> – 2015-02-03.

Cuando el canal rectangular tiene el mismo ancho del vertedero no hay contracción del área de flujo; y cuando el canal es más ancho que el vertedero, hay una reducción en el área de flujo, y es un vertedero con contracción.

Este tipo de vertedero tiene la ventaja de que es el más exacto para la medición de caudales.

**Figura 1-1 Vertedero Rectangular**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Tipos de Vertederos.

Para medir el caudal en el vertedero rectangular se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{2}{3} \times b \times \sqrt{2g} \times h^{3/2}$$

**Ec. (1-5)**

**Dónde:**

**Q** = Caudal, L/s.

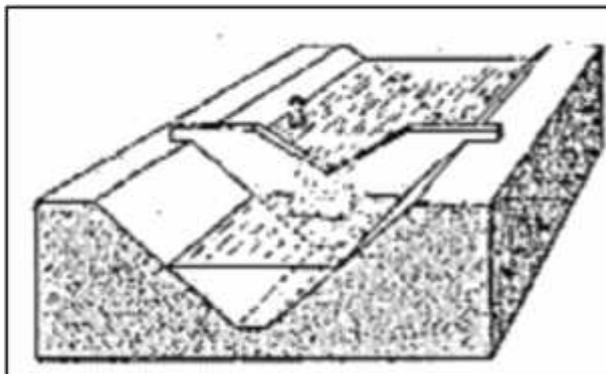
**b** = Ancho del vertedero, m.

**g** = Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

**h** = Altura de la lámina de agua, m.

**Vertedero Triangular:** Presenta la escotadura en forma de V, cuyo vértice es un ángulo recto. Este tipo de vertedero tiene la ventaja que puede medir con exactitud grandes fluctuaciones de caudal.

**Figura 1-2 Vertedero Triangular**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Tipos de Vertederos.

Para medir el caudal en el vertedero triangular se lo calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q = 0.315 \times \sqrt{2g} \times h^{5/2}$$

**Ec. (1-6)**

**Dónde:**

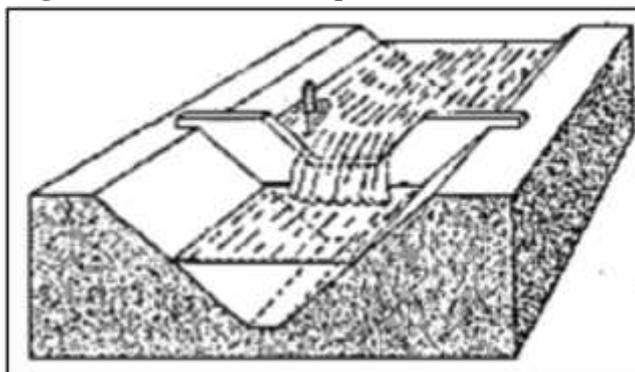
**Q** = Caudal, L/s.

**h** = Altura de la lámina de agua, m.

**g** = Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

**Vertedero Trapezoidal o Cipoletti:** El ingeniero Cipoletti propuso este tipo de vertedero para eliminar la corrección y longitud efectiva de la cresta. Este vertedero tiene los bordes con una inclinación de 4V:1H.<sup>15</sup>

**Figura 1-3 Vertedero Trapezoidal**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Tipos de Vertederos.

Para medir el caudal en el vertedero trapezoidal se lo calcula mediante la siguiente fórmula:

<sup>15</sup>ROMERO, J. A. Purificación del Agua. 2ª Ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006. p.p. 53-55.

$$Q = 1.86LH^{3/2}$$

Ec. (1-7)

**Dónde:**

**Q** = Caudal, L/s.

**L** = Longitud del vertedero, m.

**H** = Altura de la lámina de agua, m.

Luego de instalar el vertedero adecuado para el sistema, se utiliza un método para dispersar la sustancia química (coagulante), para lo cual se emplea una mezcla rápida que puede ser mecánico o hidráulico.

### 1.3.5. Mezcla rápida

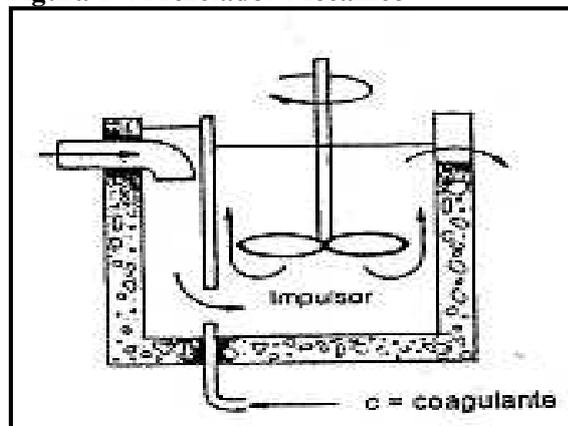
“Esta operación se utiliza en el tratamiento del agua con el fin de dispersar sustancias químicas y gases. En plantas de purificación de agua el mezclador rápido tiene el objetivo de dispersar rápida y uniformemente el coagulante a través de toda la masa o flujo de agua.

La mezcla rápida puede realizarse mediante turbulencia, provocada por medios hidráulicos o mecánicos, por ejemplo resaltos hidráulicos en canales, canaletas Parshall, vertederos rectangulares, tuberías de succión de bombas, mezcladores mecánicos en línea, rejillas difusoras, chorros químicos y tanques con equipos de mezcla rápida.

#### 1.3.5.1. Tipos de Mezcladores

**Mezcladores Rápidos Mecánicos:** Los mezcladores mecánicos tienen tanques de sección circular o cuadrada con hélices, paletas, turbinas u otros elementos semejantes acoplados a un eje de rotación impulsado por una fuerza motriz cualquiera.

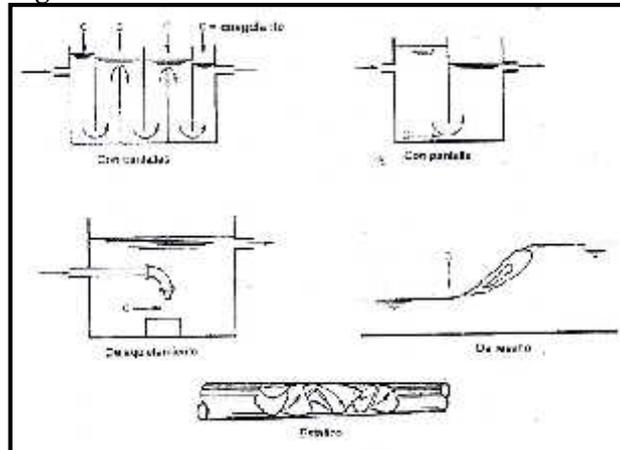
**Figura 1-4 Mezclador Mecánico**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

**Mezcladores Rápidos Hidráulicos:** Son utilizados cuando se tiene la energía suficiente en el flujo de entrada. Por lo general se usan resaltos hidráulicos, canaletas Parshall, dispersoras de tubos perforados y tanques con baffles, para disipar energía en turbulencia y aprovecharla para la mezcla del coagulante.

**Figura 1-5 Mezclador Hidráulico**



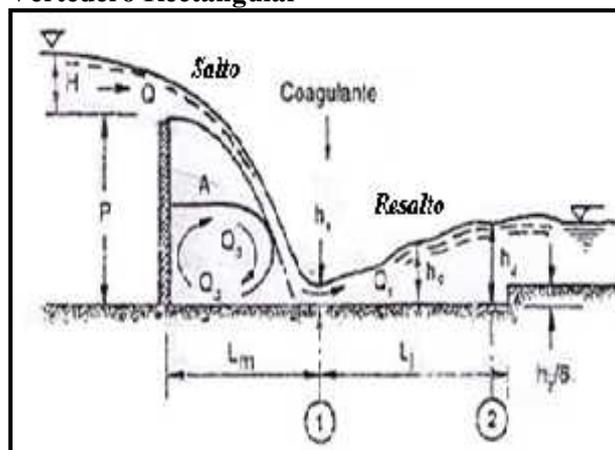
Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

**1.3.5.1.1. Mezcla Rápida en Vertedero Rectangular**

En los mezcladores rápidos hidráulicos, la mezcla se logra mediante la turbulencia generada por un resalto hidráulico.

Se considerará un mezclador hidráulico en vertedero rectangular sin contracciones ya que es uno de los más sencillos para su construcción, por su economía y además de poseer una excelente efectividad al momento de realizar la mezcla rápida; y por estos motivos es uno de los más usados.

**Figura 1-6 Configuración del Resalto en un Vertedero Rectangular**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Mezcla Rápida

Para la dispersión de la sustancia química (coagulante) se puede utilizar un mezclador hidráulico, lo cual se logra mediante un resalto hidráulico.

### 1.3.6. Resalto hidráulico

Es cuando una corriente líquida de gran velocidad en flujo supercrítico, con ciertas condiciones, atraviesa o pasa a un flujo subcrítico con una brusca elevación de la superficie libre.

Es el cambio que se dá súbitamente bajo condiciones apropiadas, de una corriente que fluye rápidamente en un canal abierto a una corriente que fluye lentamente con un área de sección transversal mayor y una elevación súbita en el nivel de la superficie del líquido. Por consiguiente, la corriente de gran velocidad se expansiona y convierte su energía cinética en térmica y potencial.

A medida que la altura del salto es mayor, las pérdidas de energía van hacer mayores. La distancia que hay desde la cara frontal del salto hasta un punto inmediato sobre la superficie del flujo aguas abajo de la ola asociada con el salto, se denomina longitud del salto hidráulico.

En la zona donde se forma el resalto se produce una macro turbulencia y un arrastre de aire hacia el interior de la masa líquida, estas propiedades son aprovechadas para mezclar productos químicos usados en la purificación del agua y para airearla cuando va a usarse en abastecimiento urbano o rural.

La distribución de velocidades aguas abajo del resalto no es uniforme, existiendo una mayor velocidad cerca del fondo del canal; en consecuencia, los coeficientes de corrección de velocidad y momentum están lejos de la unidad, obteniéndose resultados ligeramente diferentes a los obtenidos mediante análisis teóricos.

En cada punto de la superficie libre del remolino que cubre el salto, el nivel oscila rápidamente; pero el término medio de ese nivel puede ser considerado constante; ese nivel medio es el que determina la altura de presión sobre el fondo del canal, especialmente si la pendiente es pequeña.

#### 1.3.6.1. Clasificación Resalto Hidráulico

Los resaltos hidráulicos han sido clasificados por el personal de Bureau of Reclamation, de los Estados Unidos, desde el punto de vista de la energía disipada en función del número de Froude (F); dicha clasificación es la siguiente:

- **Para F de 1 a 1.7:** Solo hay una pequeña diferencia entre las profundidades conjugadas (las que existen antes y después del resalto). Se denominan ondas estacionarias.
- **Para F de 1.7 a 2.5:** La superficie del agua es tranquila, la velocidad es uniforme y la pérdida de energía es baja. Se denomina pre-resalto.

- **Para F de 2.5 a 4.5:** Ocurre un chorro oscilante entre el fondo y la superficie libre. Cada oscilación produce una onda de periodo irregular la cual puede viajar grandes trayectorias antes de decaer, pudiendo producir grandes daños en el canal, especialmente si no es revestido. Se denomina resalto oscilante.
- **Para F de 4.5 a 9:** Se tiene un intervalo de resaltos adecuados. El resalto está equilibrado y su acción es la deseada, siendo la disipación de energía de 45% al 70%. Se denomina resalto estable.
- **Para F de 9 en adelante:** Se generan olas intermitentes, que se desplazan hacia aguas abajo originando una superficie bastante alterada. La disipación de energía puede llegar al 80%. Se denomina resalto fuerte.

#### 1.3.6.2. Usos de Resalto Hidráulico

El salto hidráulico va acompañado de una turbulencia importante y una disipación de energía. En el campo de flujos en canales abiertos, el salto hidráulico suele tener muchas aplicaciones, entre las que se incluyen:

- ✓ La disipación de energía en flujos sobre diques, vertedores y otras estructuras hidráulicas.
- ✓ El mantenimiento de altos niveles de agua en canales que se utilizan para el propósito de distribución de agua.
- ✓ Incremento del gasto descargado por una compuerta deslizante al rechazar el retroceso del agua contra la compuerta, esto aumenta la carga efectiva y con ella la descarga.
- ✓ La reducción de la elevada presión bajo las estructuras mediante la elevación del tirante del agua sobre la guarnición de defensa de la estructura.
- ✓ La mezcla de sustancias químicas usadas para la purificación o el tratamiento de agua.
- ✓ La aerificación de flujos y el desclorinado en el tratamiento de agua.
- ✓ La remoción de bolsas de aire con flujos de canales abiertos en canales circulares.
- ✓ La identificación de condiciones especiales de flujo, como la existencia del flujo supercrítico o la presencia de una sección de control para la medición de la razón efectividad-costos del flujo.<sup>16</sup>

<sup>16</sup><http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulosos/flujoencanales/resaltohidraulico2/resaltohidraulico2.html> – 2014-12-02.

En el resalto hidráulico es donde se va añadir el coagulante adecuado para el sistema, a continuación se enumeran algunos tipos de coagulantes.

### **1.3.7. Agentes coagulantes**

#### *1.3.7.1. Policloruro de Aluminio*

“El policloruro de aluminio es un producto formado por una combinación de polímeros inorgánicos de hidróxido de cloruro de aluminio.

Es usado como floculante y/o coagulante para remover materia coloreada y coloidal en suspensión en sistemas acuosos, plantas potabilizadoras de agua, afluentes y plantas de tratamiento de efluentes líquidos industriales, como reemplazo del sulfato de aluminio, cloruro férrico y otras sales inorgánicas.

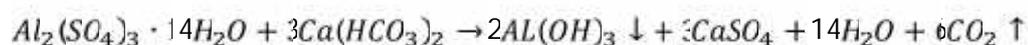
#### **Aplicación**

- Rápida formación de flóculos
- Tiempos cortos para reaccionar y sedimentar
- Muy versátil para tratar aguas de variada turbiedad, alcalinidad y contenido de materia orgánica.”<sup>17</sup>

#### *1.3.7.2. Sulfato de Aluminio o Alumbre*

“Es una sal ácida de aluminio que actúa como coagulante, dependiendo de su concentración y el pH del agua. El alumbre funciona mejor en el intervalo de pH de 5,5 – 7,0, puesto que esta sal produce protones en el proceso de hidrólisis, si el agua no tiene una alcalinidad adecuada será necesario añadir un producto alcalino para mantener el pH.

La reacción es la siguiente:



**Rx.1-1**

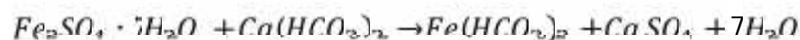
El alumbre genera lodos muy voluminosos, lo cual acarrea un problema de desechos de lodos y limpieza de clarificadores, aumenta el contenido de sólidos disueltos, aumentando la carga de los suavizadores.

Cuando éstos son utilizados para completar el tratamiento del agua, y el flóculo por sales metálicas es muy frágil y quebradizo, una vez que se rompe no vuelve a formarse.

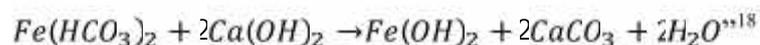
<sup>17</sup>GRUPO FORMASELECT. Contaminación de aguas y procesos de depuración, unidad potabilización del agua. España. 2007, p.p. 27-28

### 1.3.7.3. Sulfato Ferroso y Cal

Se suministran en forma sólida y para que sea realmente eficaz, el sulfato ferroso debe oxidarse a la férrica.



**Rx.1-2**



**Rx.1-3**

Después de la adición del coagulante, el agua debe pasar por un sedimentador para que las partículas coloidales que se formaron al añadir el coagulante por gravedad vayan al fondo de este sedimentador

### 1.3.8. Formas de sedimentación

#### 1.3.8.1. Sedimentación Laminar

“Básicamente, la sedimentación es la teoría de la gravedad, que indica que todas las partículas más pesadas que el agua tienden a asentarse, moviéndose hacia abajo a una velocidad que depende de su tamaño, de su peso y de su forma y de la resistencia friccional y de la viscosidad del agua. Casi todas las computaciones teóricas relacionadas con el diseño de estanques de sedimentación han sido hechas mediante una adaptación de la ley de Stokes y suponiendo que las partículas son esféricas.

Cuando se utilizan estanques de sedimentación juntamente con filtros, su objeto es asentar impurezas coaguladas hasta el punto en que el agua puede ser tratada satisfactoriamente por los filtros.

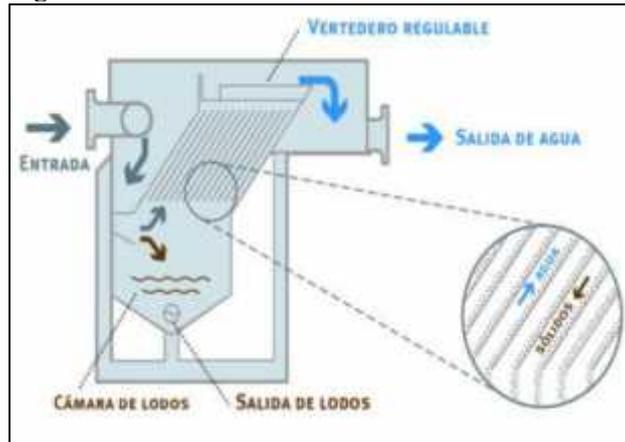
En otras palabras, la supresión de la turbiedad, sea natural o floculada, es el aspecto esencial de una buena sedimentación antes de proceder a la filtración. La eliminación de bacterias por sedimentación es de importancia secundaria, puesto que se han de emplear otros medios para este fin después de la filtración.

Donde se emplea la sedimentación sin la sucesiva filtración, los estanques se construyen, generalmente, siguiendo los lineamientos de grandes embalses de agua para un asentamiento de uno o varios días antes de bombear el agua en el sistema de distribución.”<sup>19</sup>

<sup>18</sup> VILLEGAS, M. P. Purificación de Aguas. 2ª Ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2007, p.p.83-84, 95-96.

<sup>19</sup> American Water Works Association., Agua, su Calidad y Tratamiento., México D.F., 1968, p.p.178-182.

**Figura 1-7 Sedimentador Laminar**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

### 1.3.8.2. Sedimentación de Alta Tasa

“El término “alta tasa” se refiere a módulos de pequeños tubos o placas paralelas inclinados generalmente a 60 grados, los cuales permiten una sedimentación gravitacional más eficiente.

El tiempo de retención en el módulo es de 3 a 20 min, dependiendo del tipo de módulo y la carga superficial. Esta última se calcula considerando el área del tanque cubierta por el módulo de sedimentación y es por lo general de 5 a 8,8 m/h.

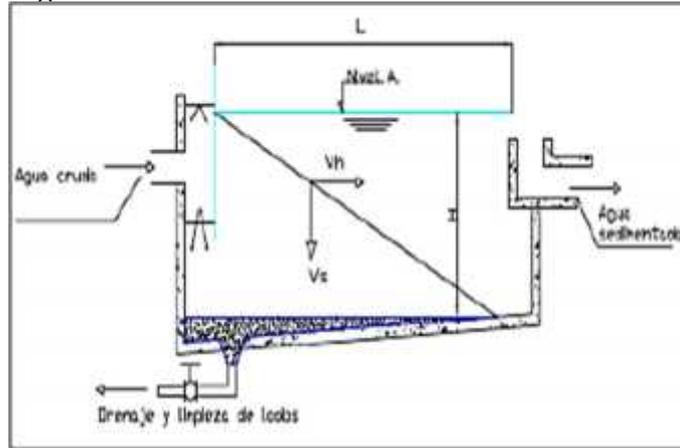
La eficiencia de sedimentación de módulos con elevadas cargas hidráulicas es equivalente a un sedimentador convencional con un tiempo de retención de 3 a 4 h y una carga superficial de 1.3 m/h.

En un módulo de placas, el agua entra en forma ascendente. El diseño de módulos de sedimentación de alta tasa debe cubrir los siguientes puntos:

- Velocidad de sedimentación y características de la materia suspendida.
- Velocidad del flujo en el módulo de sedimentación.
- Carga superficial.
- Selección apropiada de la unidad de colección de lodos.
- Espaciamiento del lavado cuando esté instalado el módulo, y sistema de soporte.”<sup>20</sup>

<sup>20</sup> ROMERO, J. A. Purificación del Agua. 2ª Ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006, p.p. 357-359.

**Figura 1-8 Sedimentador de Alta Tasa**



Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

#### 1.3.8.3. Componentes de un Sedimentador

**“Zona de entrada.-** Es la disposición hidráulica de transición que permite una distribución igual del flujo dentro del sedimentador.

**Zona de Sedimentación.-** Consta de un canal rectangular con volumen, longitud y medios de flujo adecuados para que se sedimenten las partículas. La dirección del flujo es horizontal y la velocidad es la misma en todos los puntos.

**Zona de Salida.-** Compuesta por un vertedero, canaletas o tubos con perforaciones que tienen el propósito de recolectar el efluente sin alterar la sedimentación de las partículas depositadas.

**Zona de recolección de lodos.-** Constituida por una tolva con capacidad para colocar los lodos sedimentación y una tubería y válvula para su evacuación periódica.”<sup>21</sup>

#### 1.3.8.4. Factores que afectan el diseño del sedimentador

“Prescindiendo del diseño estructural, los puntos más importantes que deben determinarse al diseñar un sistema de estanques de sedimentación son los siguientes:

- Número de tanques
- Largo
- Ancho
- Profundidad efectiva
- Velocidad de la corriente
- Artificio de introducción
- Artificios intermedios
- Artificios de salida

<sup>21</sup> IBIDEN. Capítulo 8. p.p. 440 – 441.

- Tiempo de detención
- Volumen de almacenamiento de lodo
- Método de extracción del lodo
- Cubierta, si la hay

A esta lista pueden añadirse otros factores y condiciones que afectan la sedimentación de materias en suspensión en el agua:

- Tamaño de partículas de sedimentación
- Densidad de las partículas
- Su tendencia a coagularse
- Viscosidad del agua
- Concentración de las partículas
- Efectos eléctricos
- Actividades biológicas
- Método de operación”<sup>22</sup>

El último paso que se realiza en todo sistema de tratamiento de agua potable es el proceso de desinfección.

### ***1.3.9. Desinfección***

“La desinfección es una operación de importancia incuestionable para el suministro de agua potable. La destrucción de microorganismos patógenos es una operación fundamental que muy frecuentemente se realiza mediante productos químicos reactivos como el cloro.

La desinfección constituye una barrera eficaz para numerosos patógenos (especialmente las bacterias) durante el tratamiento del agua de consumo y debe utilizarse tanto en aguas superficiales como en aguas subterráneas.

La desinfección residual se utiliza como protección parcial contra la contaminación con concentraciones bajas de microorganismos y su proliferación en el sistema de distribución. La eficacia de la desinfección puede también ser insatisfactoria frente a patógenos presentes en flóculos o partículas que los protegen de la acción del desinfectante.

Una turbidez elevada puede proteger a los microorganismos de los efectos de la desinfección, estimular la proliferación de bacterias y generar una demanda significativa de cloro.

---

<sup>22</sup>American Water Works Association., Agua, su Calidad y Tratamiento., México D.F., 1968, p.p.182-183.

El uso de productos químicos desinfectantes en el tratamiento del agua genera habitualmente subproductos. No obstante, los riesgos para la salud que ocasionan estos subproductos son extremadamente pequeños en comparación con los asociados a una desinfección insuficiente.

Es importante que el intento de controlar la concentración de estos subproductos no limite la eficacia de la desinfección.

Puede medirse y controlarse fácilmente la concentración de algunos desinfectantes del agua de consumo, como el cloro, y se recomienda realizar análisis frecuentes si se práctica la cloración del agua.”<sup>23</sup>

### **1.3.10. Formas de desinfección**

“Existen cuatro productos ampliamente utilizados para la desinfección, se lleva a cabo la cloración de agua potable, dada sus propiedades desinfectantes:

- Cloro Gas.
- Hipoclorito de Sodio.
- Hipoclorito de Calcio.
- Cal Clorada.

#### **1.3.10.1. Cloro Gas**

La forma más económica de clorar el agua es empleando gas cloro como germicida. Se suministra en cilindros especiales, bajo presión. Cuando se retira el gas del recipiente, la presión interior disminuye y se pierde calor. Para conservar el calor y la presión, se necesita una fuente de calor externa que puede ser agua o un irradiador en el caso de temperaturas bajas.

**Figura 1-9 Tanque Cloro Gas**



Fuente: <http://www.manutencaoesuprimentos.com.br/conteudo/3602-prevencao-de-acidentes-com-gas-cloro/>

<sup>23</sup> Organización Mundial de la Salud (OMS). (2006). Guías para la calidad del agua potable. Volumen I. Tercera Edición. p.p: 14.

### 1.3.10.2. Hipoclorito de Sodio

Este se presenta en forma de un líquido que es altamente corrosivo, que posee una densidad aproximada de  $1.200 \text{ g/cm}^3$ . El uso del hipoclorador de sodio es una forma muy conveniente y muy frecuentemente empleada para dosificación de cloro en fuentes pequeñas de suministro de agua potable.

**Figura 1-10 Hipoclorito de Sodio**



Fuente: <https://todaydentvzla.wordpress.com/tag/anteojos/>

Si el volumen de agua a consumir no es muy grande, se prefiere emplear esta forma de cloración, ya que aunque a igual disponibilidad de cloro activo, el costo de desinfección de agua es mayor por el mayor precio del hipoclorito de sodio en comparación con el del gas cloro. Pero la facilidad de manejo del reactivo, la disponibilidad del producto así como de partes y accesorios del equipo de dosificación, son lo que hacen muy conveniente el uso de este agente de desinfección.

### 1.3.10.3. Hipoclorito de Calcio

El hipoclorito de calcio es una de las formas en las cuales el cloro se encuentra como producto sólido con un porcentaje en peso de 65% aproximadamente. Para su empleo debe disolverse en agua, donde es muy soluble, y así es posible agregar la solución resultante empleando una bomba peristáltica, de manera similar a como se hace con el hipoclorito de sodio.

También es posible agregar este reactivo por medio de un clorador o dosificador de pastillas. En este tipo de dosificadores una fracción del volumen de agua a desinfectar pasa por el clorador y entra en contacto con las pastillas. Se forma una solución de hipoclorito de calcio que se inyecta a la corriente de agua que fluye y el control de dosificación de cloro se efectúa por medio de válvulas del clorador de pastillas. Este tipo de cloración son útiles y muy empleados para comunidades rurales y zonas marginadas donde no se cuenta con energía eléctrica, ya que no requieren de bomba para control de la dosis de cloro para desinfección del agua.

**Figura 1-11 Hipoclorito de Calcio**



Fuente: <http://digitalmorelos.moonfruit.com/shop/4580201537/hipoclorito-de-calcio-al-65/6775652>

#### *1.3.10.4. Cal Clorada*

Polvo blanco con una proporción de 20 a 30 % de cloro disponible. Cuando se almacena en un lugar seco y frío se pierde poco cloro, pero cuando el lugar es húmedo y caliente, se deteriora rápidamente. Se utiliza en instalaciones pequeñas, en casos de emergencia, fábricas y piscinas, con una solución de hasta 2.500 ppm de cloro disponible.”<sup>24</sup>

#### *1.3.11. Almacenamiento y distribución*

“El agua potable se almacena en tanques y se distribuye a los domicilios e industrias a través de una red subterránea de tuberías que conectan a la red pública de distribución con la red domiciliaria de distribución. Esta agua ya potable puede fluir por las tuberías por la fuerza de gravedad.

El agua potable se almacena en estanques que reservan el agua para las horas de mayor consumo y luego se dirige a la red de distribución.”<sup>25</sup>

#### *1.3.12. Prueba de jarras*

“La prueba de jarras es un procedimiento común de laboratorio para determinar las condiciones óptimas de funcionamiento para el agua o el tratamiento de aguas tanto de agua potable como residuales. Este método permite realizar ajustes en el pH, las variaciones en la dosis de coagulante o polímero, alternando velocidades de mezclado, o la prueba de coagulante o diferentes tipos de polímeros, a pequeña escala con el fin de predecir el funcionamiento de una operación a gran escala de tratamiento.

<sup>24</sup> IBIDEN. Capítulo 8. p.p. 490.

<sup>25</sup> <http://www.aguashuelva.com/ESP/168.asp> – 2015-02-03.

Una prueba de jarras simula los procesos de coagulación y floculación que fomentan la eliminación de los coloides en suspensión y materia orgánica que puede conducir a problemas de turbidez, olor y sabor.

Básicamente las pruebas de jarras se han diseñado con dos objetivos principales los cuales son:

- Como herramienta para diseñar una planta de tratamiento de agua potable

Se debe tener consideraciones específicas de las locaciones donde se requiere el diseño de la planta de tratamiento de agua conocer la calidad del agua de las captaciones así como su fuente siendo estas aguas superficiales o subterráneas, estos estudios se los realizara con la finalidad de garantizar la calidad del agua y el volumen de distribución durante un tiempo específico. Debemos tener en cuenta dos puntos muy importantes a detallar los cuales son:

1. Tiempo de retención del agua en determinada estación del tratamiento, este punto nos hace referencia al uso de las pruebas de jarras con el fin de determinar tiempos en que el agua debe permanecer retenida en alguna estación como ocurre generalmente en etapas de mezcla rápida, sedimentación o floculación a fin de que el insumo químico tenga los resultados esperados en la mejora de calidad del agua ya sea clarificándola, eliminando sólidos en suspensión, disminuyendo concentraciones de compuestos químicos o metales que alteren la composición normal del agua, etc.
  2. Los gradientes de velocidad para los periodos de retención, es decir las RPM en cada etapa para asegurar la mezcla y reacción completa de los productos químicos antes de ser pasados a la siguiente etapa. A partir de estos datos se puede realizar el diseño de la planta así como futuros cambios o rediseños de la misma en base a insumos químicos que se vaya a ocupar.
- Como simulador de laboratorios para determinación de dosificación de insumos químicos aplicables en una planta de tratamiento de agua con el objetivo de mejorar la calidad del agua.<sup>26</sup>

## **1.4. Parámetros de diseño**

### ***1.4.1. Caudal de diseño***

#### ***1.4.1.1. Población de Diseño***

La población de diseño o futura es un parámetro básico en el cálculo del caudal de diseño para una comunidad.

---

<sup>26</sup>ptasmosquera.orgfree.com - 2014-11-25.

Es necesario determinar las demandas futuras de una población para prever en el diseño las exigencias, de las fuentes de abastecimiento, líneas de conducción, redes de distribución, equipo de bombeo, planta de potabilización y futuras extensiones del servicio. Por lo tanto, es necesario predecir la población futura para un número de años.

$$N_t = N_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Ec. (1-8)**

**Dónde:**

$N_t$  = Población futura. (Tabla 3-1)

$N_o$  = Población actual.

$r$  = Tasa de crecimiento anual, %. (Según INEC; Población y Tasas de crecimiento según Parroquias del año 2010)

$t$  = Tiempo de diseño, años.

#### 1.4.1.2. Nivel de Complejidad del Sistema

La asignación del nivel de complejidad se hará de acuerdo con la población de diseño calculada y para su determinación se emplea la tabla 3-2.

#### 1.4.1.3. Dotación Básica

La dotación básica es la cantidad mínima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante sin considerar las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto, expresada en L/hab\*día.

$$DB = \frac{V_{ac}}{T_{us}}$$

**Ec. (1-9)**

**Dónde:**

$DB$  = Dotación Básica, L/hab\*día.

$V_{ac}$  = Volumen de agua consumida, m<sup>3</sup>/mes. (Junta de Agua Potable de Monterrey).

$T_{us}$  = Total de usuarios servidos, usuarios. (Junta de Agua Potable de Monterrey).

#### 1.4.1.4. Dotación Futura

La dotación futura es la cantidad máxima de agua requerida para satisfacer las necesidades básicas de un habitante considerando las pérdidas que puedan ocurrir en el sistema de acueducto.

$$\text{Dotación futura} = \frac{\text{Dotación básica}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

Ec. (1-10)

Las pérdidas técnicas para la dotación futura se determinan a partir de la tabla 3-3.

#### 1.4.1.5. Caudal Medio Diario (*cmd*)

Corresponde al promedio de los consumos diarios en un período de un año y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{cmd} = P_f \times \text{Dotación futura}$$

Ec. (1-11)

**Dónde:**

**cmd** = caudal medio diario, L/día.

**P<sub>f</sub>** = Población futura. (Tabla 3-1)

#### 1.4.1.6. Caudal Máximo Diario (*CMD*)

El caudal máximo diario es el consumo máximo registrado durante 24 horas durante un período de un año, y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\text{CMD} = k_1 \times \text{cmd}$$

Ec. (1-12)

**Dónde:**

**CMD** = Caudal Máximo Diario, L/s.

**k<sub>1</sub>** = Coeficiente de variación diaria, adimensional. (Tabla 3-4)

**cmd** = caudal medio diario, L/día.

Los valores del coeficiente de variación, *k<sub>1</sub>*, se determinan de acuerdo a la tabla 3-4.

#### 1.4.1.7. Caudal de Captación

El caudal de captación se calcula para dimensionar la carga del vertedero y que además es el caudal de nuestro diseño, mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{captación}} = \text{CMD} + k_2$$

Ec. (1-13)

**Dónde:**

$Q_{\text{captación}}$  = Caudal de captación, L/s.

$CMD$  = Caudal Máximo Diario, L/s.

$k_2$  = Constante de variación, adimensional. (Tabla 3-5)

Los valores de la constante de variación adimensional,  $k_2$ , se determinan de acuerdo a la tabla 3-5.

### 1.4.2. Vertedero rectangular

#### 1.4.2.1. Caudal del Vertedero

Se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$Q_{\text{vertedero}} = \frac{Q_{\text{captación}}}{N_c \times a \times l}$$

**Ec. (1-14)**

**Dónde:**

$Q_{\text{vertedero}}$  = Caudal del vertedero, L/s.

$Q_{\text{captación}}$  = Caudal de captación, L/s.

$N_c$  = Número de canales. (1 sólo canal, porque se unen los dos pozos)

$a$  = Número de lados por donde se recolecta el agua. (2: Pozo 1 y Pozo 2)

$l$  = Longitud del canal, m. (1 m Debido a que el caudal es pequeño y para que el agua tenga una buena caída y se genere turbulencia para la mezcla del PAC, se toma la longitud del canal como 1 m)

#### 1.4.2.2. Canal del Vertedero

De acuerdo a los parámetros establecidos en el capítulo de estructuras hidráulicas, educación virtual, Universidad Nacional de Colombia. la carga sobre el vertedero,  $H$ , es de 0,05 m como mínimo, y es el que se utiliza para el diseño.

$$C_v = f_s * H$$

**Ec. (1-15)**

**Dónde:**

$C_v$  = Profundidad del canal del vertedero, m.

$f_s$  = factor de seguridad, adimensional.(Tabla 3-6)

$H$  = Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua, m. (0.05 m Parámetro establecido para unidades hidráulicas Universidad Nacional de Colombia)

#### 1.4.2.3. Ancho del Vertedero

El ancho del vertedero se calcula a partir de la ecuación empleada para determinar el caudal de un vertedero rectangular sin contracciones laterales, en caída libre.

$$Q = 1,84BH^{3/2}$$

Ec. (1-16)

**Dónde.**

$Q$  = Caudal de Diseño, m<sup>3</sup>/s.

$B$  = Ancho del vertedero, m.

$H$  = Carga sobre el vertedero o altura de la lámina del agua, m. (0.05 m Parámetro establecido para unidades hidráulicas Universidad Nacional de Colombia)

#### 1.4.2.4. Caudal por unidad de ancho

El caudal unitario, caudal por unidad de ancho del vertedero, está dado por:

$$q = \frac{Q}{B}$$

Ec. (1-17)

**Dónde:**

$q$  = Caudal por unidad de ancho, m<sup>2</sup>/s.

$Q$  = Caudal de Diseño, m<sup>3</sup>/s.

$B$  = Ancho del vertedero, m.

### 1.4.3. Mezcla rápida en el vertedero rectangular

#### 1.4.3.1. Profundidad crítica de flujo

La profundidad crítica de flujo es la profundidad en la cual un determinado caudal transita por un canal con el mínimo de energía específica.

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

Ec. (1-18)

**Dónde.**

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo, m.

$q$  = Caudal por unidad de ancho, m<sup>2</sup>/s.

$g$  = Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

#### 1.4.3.2. Longitud del Salto

La longitud del salto es la distancia a la cual debe aplicarse el coagulante para asegurar una dispersión homogénea y continua del coagulante en toda la masa de agua cruda.

Para el cálculo de la longitud del salto se usa la ecuación siguiente:

$$L_m = 4,3P^{0,1}h_c^{0,9}$$

Ec. (1-19)

**Dónde:**

$L_m$  = Longitud del salto, m.

$P$  = Altura de la pared del vertedero, m. (Para tener un resalto estable y una mezcla eficiente, se toma el valor de 0.50 m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo, m.

#### 1.4.3.3. Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto

Cuando la profundidad del flujo es menor que la profundidad crítica, la velocidad será mayor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina supercrítico, o flujo rápido, o veloz. Cuando hay resalto, la profundidad del agua está relacionada con la profundidad crítica, por la ecuación White.

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

Ec. (1-20)

**Dónde:**

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

$P$  = Altura de la pared del vertedero, m. (Para tener un resalto estable y una mezcla eficiente, se toma el valor de 0.50 m)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo, m.

#### 1.4.3.4. Velocidad del agua en el salto

La velocidad del agua en el salto se calcula por la expresión:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

Ec. (1-21)

#### Dónde:

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto, m.

$q$  = Caudal por unidad de ancho, m<sup>2</sup>/s.

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

#### 1.4.3.5. Número de Froude

“El número de Froude es un número adimensional que en canales abiertos informa sobre el estado del flujo hidráulico.

Para que haya resalto estable y mezcla eficiente, el número de Froude debe estar comprendido entre 4,5 y 9,0.”<sup>27</sup>

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

Ec. (1-22)

#### Dónde:

$F$  = Número de Froude, adimensional.

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto, m.

$g$  = Gravedad, m/s<sup>2</sup>.

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

---

<sup>27</sup> ROMERO, J. A. Purificación del Agua. 2ª Ed. Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006, p.p. 73.

#### 1.4.3.6. Profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto

Cuando la profundidad del flujo es mayor que la profundidad crítica, la velocidad será menor que la velocidad crítica, y el flujo se denomina subcrítico, o flujo lento.

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F^2} - 1) h_1$$

Ec. (1-23)

**Dónde:**

$h_2$  = Profundidad Subcrítica, m.

F = Número de Froude, adimensional.

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

#### 1.4.3.7. Velocidad del agua en el resalto

La velocidad del agua en el resalto se calcula por la expresión:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

Ec. (1-24)

**Dónde:**

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto, m/s.

q = Caudal por unidad de ancho, m<sup>2</sup>/s.

$h_2$  = Profundidad Subcrítica, m.

#### 1.4.3.8. Pérdida de energía en el resalto

Cuando un flujo a régimen supercrítico se encuentra con una corriente Subcrítica, se presenta un choque. Debido al choque, en el salto hidráulico ocurre una fuerte turbulencia que ocasiona pérdidas de energía.

La pérdida de energía en el resalto, se calcula por la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

Ec. (1-25)

**Dónde:**

$h$  = Pérdida de energía en el resalto, m.

$h_2$  = Profundidad Subcrítica, m.

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

#### 1.4.3.9. Longitud del resalto

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

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

Ec. (1-26)

#### Dónde:

$L_j$  = Longitud del resalto, m.

$h_2$  = Profundidad Subcrítica, m.

$h_1$  = Profundidad Supercrítica, m.

#### 1.4.3.10. Velocidad media en el resalto

La velocidad media en el resalto se calcula por la siguiente ecuación:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

Ec. (1-27)

#### Dónde:

$v_m$  = Velocidad media en el resalto, m/s.

$v_1$  = Velocidad del agua en el salto, m.

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto, m/s.

#### 1.4.3.11. Tiempo de mezcla

El tiempo de mezcla o retención es el tiempo en el cual el agua cruda va a estar en contacto con el coagulante y se calcula por la ecuación:

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$

Ec. (1-28)

#### Dónde:

$t$  = Tiempo de mezcla, s.

$L_j$  = Longitud del resalto, m.

$v_m$  = Velocidad media en el resalto, m/s

#### 1.4.3.12. Gradiente de Velocidad

El gradiente de velocidad es ampliamente aceptado como un medio para calcular los requerimientos energéticos de mezcla.

El gradiente de velocidad se calcula con la ecuación siguiente:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}}$$

Ec. (1-29)

#### Dónde:

$G$  = Gradiente de velocidad,  $s^{-1}$ .

$\gamma$  = Peso específico del agua,  $N/m^3$ . (Tabla 3-7)

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua, Pas. (Tabla 3-7)

$t$  = Tiempo de mezcla, s.

$h$  = Pérdida de energía en el resalto, m.

#### 1.4.4. Coagulación

##### 1.4.4.1. Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

La cantidad de PAC a utilizar por día será:

$$x = \frac{Q * C}{100 - P * \rho}$$

Ec. (1-30)

#### Dónde:

$Q$  = Caudal de diseño,  $m^3/h$ .

$C$  = Concentración de acuerdo al test de jarras, ppm.

$P$  = Porcentaje de dilución, %. (Test de jarra en el laboratorio: 3 %)

$\rho$  = Densidad del PAC, kg/L. (ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices)

#### 1.4.5. Sedimentador laminar

Las partículas que se sedimentan sobre las placas inclinadas se acumulan y caen por sí mismas al fondo del sedimentador, y lo convierte en autolimpiable; siendo muy útil para la sedimentación de

partículas floculentas y precipitantes. La pendiente de fondo tendrá una profundidad de > 2% del total del volumen del sedimentador.

#### 1.4.5.1. Carga Superficial después de instalar las placas

La velocidad promedio del fluido en el elemento de sedimentación o carga superficial en el área de sedimentación está dado por:

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

Ec. (1-31)

#### Dónde:

$v_{so}$  = Carga Superficial después de instalar las placas, m/min.

$l_p$  = Longitud de las placas, m. (Tabla 3-9)

$t_{rp}$  = Tiempo de retención en las placas, min. (Tabla 3-8)

#### 1.4.5.2. Área de sedimentación acelerada

El área de sedimentación acelerada será:

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \sin \theta}$$

Ec. (1-32)

#### Dónde:

$A_s$  = Área de sedimentación acelerada, m<sup>2</sup>.

$Q$  = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/día.

$v_{so}$  = Carga Superficial después de instalar las placas, m/min.

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación. (Tabla 3-8)

#### 1.4.5.3. Longitud del área de sedimentación acelerada

La longitud del área de sedimentación acelerada será:

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

Ec. (1-33)

#### Dónde:

$L_s$  = Longitud del área de sedimentación acelerada, m.

$A_s$  = Área de sedimentación acelerada,  $m^2$ .

$B_s$  = Ancho del sedimentador, m. (Tabla 3-9)

#### 1.4.5.4. Longitud relativa del sedimentador

La longitud relativa del sedimentador está dada por la siguiente ecuación:

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

Ec. (1-34)

**Dónde:**

$L_r$  = Longitud relativa del sedimentador, adimensional.

$l_p$  = Longitud de las placas, m. (Tabla 3-9)

$e_p$  = Distancia entre placas, m. (Tabla 3-8)

#### 1.4.5.5. Longitud relativa en la región de transición

La longitud relativa en la región de transición se calcula de acuerdo con la ecuación de Schulze:

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ec. (1-35)

**Dónde:**

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición, adimensional.

$v_{so}$  = Carga Superficial después de instalar las placas, m/min.

$e_p$  = Distancia entre placas, m. (Tabla 3-8)

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido,  $m^2/s$ . (Tabla 3-10)

#### 1.4.5.6. Longitud relativa corregida

La longitud relativa corregida del sedimentador en la longitud de transición se calcula por:

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

Ec. (1-36)

**Dónde:**

$L_c$  = Longitud relativa corregida, adimensional.

$L_r$  = Longitud relativa del sedimentador, adimensional.

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición, adimensional.

#### 1.4.5.7. Velocidad crítica de sedimentación

La velocidad crítica de asentamiento o sedimentación está dada por:

$$v_{sc} = \frac{S_c * v_{so}}{\text{sen}\theta + L_r \text{cos}\theta}$$

Ec. (1-37)

**Dónde:**

$v_{sc}$  = Velocidad crítica de sedimentación, m/día.

$S_c$  = Constante para cada tipo de módulo, adimensional. (Tabla 3-11)

$v_{so}$  = Carga Superficial después de instalar las placas, m/día.

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación. (Tabla 3-8)

$L_r$  = Longitud relativa del sedimentador, adimensional.

#### 1.4.5.8. Número de Reynolds

El número de Reynolds se calcula para verificar que en el sedimentador se dé un flujo laminar, para lo cual se emplea la ecuación siguiente:

$$N_{Re} = \frac{v_{so} * e_p}{\nu}$$

Ec. (1-38)

**Dónde:**

$N_{Re}$  = Número de Reynolds, adimensional.

$v_{so}$  = Carga Superficial después de instalar las placas, m/día.

$e_p$  = Distancia entre placas, m. (Tabla 3-8)

$\nu$  = Viscosidad cinemática del fluido, m<sup>2</sup>/s. (Tabla 3-10)

#### 1.4.5.9. Volumen del Sedimentador

El volumen del tanque sedimentador es igual al producto de su área superficial por la profundidad y se calcula a partir de:

$$V_{Ts} = L_s * B_s * Z_s$$

Ec. (1-39)

**Dónde:**

$V_{Ts}$  = Volumen del sedimentador, m<sup>3</sup>.

$L_s$  = Longitud del área de sedimentación acelerada, m.

$B_s$  = Ancho del sedimentador, m. (Tabla 3-9)

$Z_s$  = Altura del sedimentador, m. (Tabla 3-8)

#### 1.4.5.10. Tiempo de retención en el tanque de sedimentación

El tiempo de retención en sedimentadores con placas inclinadas es igual al volumen del tanque dividido para el caudal y se calcula por la expresión:

$$t_{rs} = \frac{V_{Ts}}{Q}$$

Ec. (1-40)

**Dónde:**

$t_{rs}$  = Tiempo de retención en el tanque de sedimentación, min.

$V_{Ts}$  = Volumen del sedimentador, m<sup>3</sup>.

$Q$  = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s.

#### 1.4.5.11. Número de placas

El número de placas planas paralelas se calcula por la expresión:

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \operatorname{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

Ec. (1-41)

**Dónde:**

$N_p$  = Número de placas, adimensional.

$L_s$  = Longitud del área de sedimentación acelerada, m.

$l_p$  = Longitud de las placas, m. (Tabla 3-9)

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación. (Tabla 3-8)

$e_p$  = Distancia entre placas, m. (Tabla 3-8)

$b_p$  = Espesor de las placas, m. (Tabla 3-9)

#### 1.4.6. Desinfección

En todo proceso de potabilización del agua, la desinfección es la última etapa, donde se eliminan todos los microorganismos patógenos que pueden ser perjudiciales para la salud del ser humano.

#### 1.4.6.1. Peso de cloro necesario

El peso de cloro necesario para tratar el agua viene dado por la ecuación:

$$P_{Cl} = \frac{Q D 86400}{1000}$$

Ec. (1-42)

**Dónde:**

$P_{Cl}$  = Peso de cloro necesario, kg/día.

$Q$  = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s.

$D$  = Dosis de cloro necesario, mg/L. (Tabla 3-12)

#### 1.4.6.2. Volumen del Hipoclorador

El volumen del hipoclorador se determina por la siguiente ecuación:

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

Ec. (1-43)

**Dónde:**

$V_H$  = Volumen del Hipoclorador, m<sup>3</sup>.

$P_{Cl}$  = Peso del cloro necesario, kg/día.

$C$  = Concentración de la solución, %. (Concentración del producto comercial de Hipoclorito de sodio)

#### 1.4.6.3. Tanque de contacto para la mezcla de cloro

El tanque que se diseñará para el contacto del agua con el cloro a su vez será utilizado como tanque de almacenamiento, cuya capacidad se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

Ec. (1-44)

**Dónde:**

$V_{Tc}$  = Volumen del tanque para la mezcla de cloro, m<sup>3</sup>.

$Q$  = Caudal de diseño, m<sup>3</sup>/s.

$t$  = Tiempo de retención, s.

$f_s$  = Factor de seguridad. (Tabla 3-6)

#### 1.4.6.4. Altura del tanque para la mezcla de cloro

La altura del tanque para la mezcla de cloro será:

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

Ec. (1-45)

**Dónde:**

$H_{Tc}$  = Altura del tanque para la mezcla de cloro, m.

$V_{Tc}$  = Volumen del tanque para la mezcla de cloro, m<sup>3</sup>.

$A_{Tc}$  = Área del tanque para la mezcla de cloro, m<sup>2</sup>. (ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices)

## CAPÍTULO II

### 2. PARTE EXPERIMENTAL

El diseño de una planta de tratamiento de agua potable se desarrolló en la parroquia Monterrey del cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

#### 2.1. Localización

El proyecto se ejecutará en la parroquia rural de Monterrey del cantón La Concordia, Provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas, ubicada a 24 km del centro del cantón La Concordia con una elevación de 200 msnm, como se muestra en la figura 2-1.

**Figura 2-1 Monterrey**



Fuente: GOOGLE MAPS, 2014

#### 2.2. Límites

Limita al norte con la Zona Excluida.

Al sur con el cantón de Santo Domingo de los Colorados.

Al este con la parroquia rural Las Villegas.

Al oeste con la provincia de Manabí.

#### 2.3. Topografía

La topografía del terreno de la parroquia tiene características planas con niveles comprendidos los 200 m.s.n.m. y colinas que alcanzan hasta los 220 metros de elevación como nos indica la figura 2-2.

**Figura 2-2 Topografía del Sector**



Fuente: GOOGLE MAPS, 2014

## 2.4. Climatología

Tiene un clima tropical húmedo, en la tabla 2-1 se detalla más sobre el clima que cuenta Monterrey.

**Tabla 2-1 Climatología de la Zona**

<b>Precipitación Media Anual</b>	91,42 mm
<b>Humedad Relativa</b>	85,2 %
<b>Temperatura Máxima Absoluta</b>	29,2 °C
<b>Temperatura Media</b>	24,3 °C
<b>Temperatura Mínima</b>	21,4 °C

Realizado por: JARAMILLO, José

Fuente: Wikipedia/parroquia\_monterrey.com

## 2.5. Muestreo

### 2.5.1. Recopilación de la información

Toma de varias muestras de tipo sistemático simple, las muestras fueron tomadas de la captación de las aguas Subterráneas, durante 5 semanas.

**Tabla 2-2 Recolección de Muestras**

Lugar de Muestreo	Número de muestras por día	Número de muestras por semana	Total de muestras en las 5 semanas
Pozo 1	1	1	5
Pozo 2	1	1	5
Homogenizado: Pozo 1 y Pozo 2	1	1	5
<b>TOTAL</b>			<b>15</b>

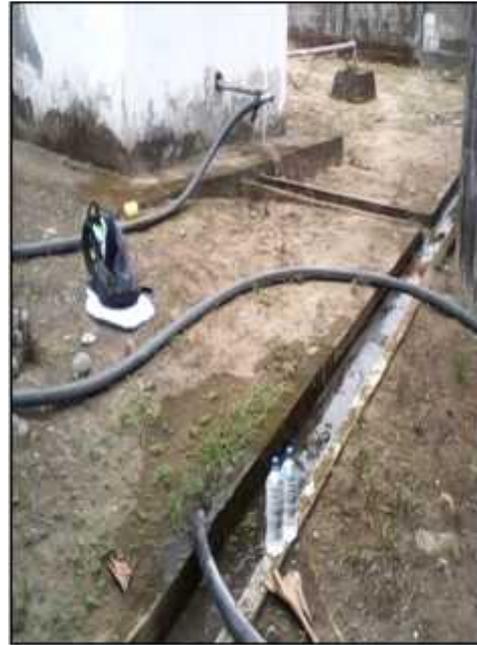
Realizado por: JARAMILLO, José

**Figura 2-3 Muestreo Pozo 1**



Realizado por: JARAMILLO, José

**Figura 2-4 Muestreo Pozo 2**



Realizado por: JARAMILLO, José

El muestreo se realizó tomando en cuenta la Norma INEN 2169:1998, “Agua. Calidad del Agua. Muestreo. Manejo y Conservación de Muestras”.

Para la recolección de las muestras se las realizó en condiciones lluviosas y soleadas en el sector de donde se localiza la captación del agua subterránea.

### ***2.5.2. Transporte y manipulación de muestras***

Para un adecuado transporte se dejó libre del 10 a 15% del volumen total del recipiente evitando derrames o pérdida de muestra, además se utilizó una caja culer para el transporte de las muestras. En cada toma de muestra se registró: las condiciones del clima, la temperatura, la fecha y hora de toma.

**Figura 2-5 Conservación de Muestras**



Fuente: JARAMILLO, José

## 2.6. Metodología

### 2.6.1. Metodología de trabajo

Los análisis físicos – químicos y Microbiológicos se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH. Se recogió 15 muestras durante 5 semanas, las mismas que fueron trasladadas al laboratorio el mismo día en un periodo de 12 horas teniendo el debido cuidado con la finalidad de no alterar sus parámetros y obtener resultados de la caracterización reales para poder identificar los parámetros que no se encuentran dentro de los límites permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”.

### 2.6.2. Tratamiento de muestras

Se realizó la caracterización físico – química de cada una de las muestras recolectadas, siendo los parámetros físico - químicos analizados: color, pH, conductividad, turbiedad, cloruros, dureza, calcio, magnesio, alcalinidad, bicarbonatos, sulfatos, amonios, nitritos, nitratos, hierro, fluoruros, fosfatos, sólidos totales y sólidos disueltos. También se realizó la caracterización microbiológica que está conformada por dos parámetros principalmente: Coliformes totales y Coliformes fecales.

## 2.7. Métodos y técnicas

### 2.7.1. Métodos

Tabla 2-3 Métodos de Análisis de Aguas

Parámetro	Método	Descripción
Color	Comparativo	Observación a través del comparador del color.
pH	Electrométrico	Utilización del pHmetro.
Conductividad	Electrométrico	Utilización del conductímetro.
Turbiedad	Nefelométrico	Utilización del turbidímetro.
Cloruros	Volumétrico	25 ml de muestra + 4 gotas de $K_2CrO_4$ . Titular con $AgNO_3$ (0,01N) de amarillo a ladrillo.
Dureza	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 ml Buffer pH 10 + indicador de Negro de Eriocromo T. Titular con EDTA (0,02 M) de rojo a azul.
Calcio	Volumétrico	25 ml de muestra + 1 ml KCN + indicador de Murexida. Titular con EDTA (0,02M)
Alcalinidad	Volumétrico	25 ml de muestra + 2 gotas de Fenolftaleína. Titular con $H_2SO_4$ hasta incoloro (pH = 6,1) + 3 gotas de Naranja de Metilo. Titular con $H_2SO_4$ de naranja a rosado (pH = 8).
Sulfatos	Espectrofotométrico	En un balón de 100 ml, colocar una porción de muestra + 2 ml de Solución Acondicionadora + 1 g de $BaCl_2$ , aforar con la muestra, medir en el Fotómetro a 410 nm.
Amonios	Espectrofotométrico	En un balón de 50 ml, colocar 25 ml de muestra + 1 ml NaK tartrato + 2 ml de Solución de Nessler, aforar con la muestra, medir en el Fotómetro a 425 nm.
Nitritos	Espectrofotométrico	En un balón de 50 ml, colocar 25 ml de muestra + 2 ml de Solución A + 2 ml de Reactivo B, aforar con la muestra, dejar reposar 30 min, medir en el Fotómetro a 510 nm.
Nitratos	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 355 N Nitrato RA PP, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de nitrato Nitrover 5 en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 1 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior

		de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerrar, colocar la muestra y leer el valor.
Hierro	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 265 Hierro FerroVer, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de Hierro FerroVer en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 3 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerrar, colocar la muestra y leer el valor.
Fluoruros	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 190 Fluoruro, llenar una cubeta con la muestra, añadir 2 ml de Reactivo circonio –ácidoSpands, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 3 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerrar, colocar la muestra y leer el valor.
Fosfatos	Espectrofotométrico	Seleccionar el test 490 P react. PV, llenar una cubeta con la muestra, añadir el contenido de un sobre de reactivo de PhosVer 3 en polvo, agitar, seleccionar el temporizador y esperar 2 min de reacción, preparar el blanco, limpiar el exterior de la cubeta, colocar el blanco en el equipo y encerrar, colocar la muestra y leer el valor.
Sólidos Totales	Gravimétrico	Pesar una caja petri, colocar 25 ml de muestra en la caja petri, someter a baño María hasta sequedad, introducir la caja en la estufa, colocarla en el desecador por 15 min y pesarla.
Sólidos Totales Disueltos	Electrométrico	Utilización del electrodo de cristal adecuado para la lectura de sólidos totales disueltos.
Microbiológicos (Coliformes totales y Coliformes fecales)	Sembrado	Esterilizar el equipo microbiológico de filtración por membranas, sembrar y tomar la lectura a las 24 horas y realizar el conteo de las colonias si las hubiere.

Fuente: Técnicas del Laboratorio de Análisis Técnicos

## 2.7.2. Técnicas

Para la caracterización de las diferentes muestras de agua se empleó el STANDARD METHODS FOR EXAMINATION OF WATER AND WASTEWATER, 20 TH EDITION DE LA AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF).

A continuación se indican los métodos empleados para cada uno de los análisis:

### 2.7.2.1. Potencial de Hidrógeno pH

**Tabla 2-4 STANDARD METHODS \*4500 HB**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La base de la determinación de medición electrométrica del pH es la actividad de los iones de hidrógeno por medida potenciométrica utilizando un electrodo de hidrógeno estándar y un electrodo de referencia. El pH es un indicador de la acidez o alcalinidad del agua, tiene un rango de 1 a 14. Si el agua tiene un pH menor a 7 se dice que es ácida, mayor a 7, básica y un valor igual a 7 es neutra.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ pH metro</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Lavar el electrodo del pH metro con agua destilada y calibrar el equipo con las soluciones Buffer pH 4, pH 7 y pH 10.</li> <li>✓ Colocar el electrodo en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

### 2.7.2.2. Conductividad

**Tabla 2-5 STANDARD METHODS \*2510**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La conductividad es la capacidad que tiene una solución acuosa para conducir corriente eléctrica. Está relacionada con la cantidad de sólidos totales disueltos presentes en el agua. La escala de 1999,9 $\mu\text{S}$ , corresponde a la conductividad de las agua potables naturales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conductímetro</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada.</li> <li>✓ Colocar el electrodo del conductímetro en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

### 2.7.2.3. Turbidez

**Tabla 2-6 STANDARD METHODS \*2130 B**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El método se basa en una comparación de la intensidad de la luz dispersada por una muestra en condiciones definidas, con la intensidad de la luz dispersada por una suspensión patrón de referencia en las mismas condiciones. Cuanto mayor sea la intensidad de la luz dispersada, mayor será la turbidez.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Turbidímetro</li> <li>✓ Celda para turbidímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar agua destilada en la celda para calibrar el equipo.</li> <li>✓ Colocar la muestra en la celda</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

### 2.7.2.4. Dureza

**Tabla 2-7 STANDARD METHODS \*2340 B Y C**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
La dureza se define como la suma de las concentraciones de calcio y magnesio presentes en el agua como carbonato de calcio y de magnesio, en miligramos por litro. Para la determinación de la dureza se utiliza el método complexométrico en el cual se emplea la sal sódica del ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) como agente complejante; formando complejos estables con los metales $\text{Ca}^{2+}$ y $\text{Mg}^{2+}$ .	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ EDTA 0,02 M</li> <li>✓ Solución Buffer pH 10</li> <li>✓ KCN</li> <li>✓ Negro de Eriocromo T.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.</li> <li>✓ Agregar 2 ml de solución Buffer pH 10.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de KCN.</li> <li>✓ Añadir el indicador Negro de Eriocromo T.</li> <li>✓ Titular con EDTA hasta que se dé un viraje de rojo a azul.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

### 2.7.2.5. Calcio

**Tabla 2-8 STANDARD METHODS \*3500 Ca**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Las sales de calcio contribuyen a la dureza total del agua. La cantidad de calcio se puede determinar directamente mediante	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ EDTA 0,02 M</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de KCN.</li> <li>✓ Agregar 1 ml de NaOH.</li> </ul>

una valoración con EDTA 0,02M.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ KCN</li> <li>✓ NaOH 1 N</li> <li>✓ Indicador Murexida</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Añadir el indicador Murexida.</li> <li>✓ Titular con EDTA hasta que dé un viraje de rosado a lila.</li> </ul>
--------------------------------	---	--

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

#### 2.7.2.6. Alcalinidad

**Tabla 2-9 STANDARD METHODS \*2320 B**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>La alcalinidad del agua es la capacidad para neutralizar ácidos y constituye la suma de todas las bases titulables, el valor medio puede variar con el pH.</p> <p>La alcalinidad se debe al contenido de carbonatos, bicarbonatos e hidróxidos.</p> <p>Se utiliza fenolftaleína como indicador para cuantificar la alcalinidad de hidróxidos y parte de carbonatos, y naranja de metilo para cuantificar la alcalinidad restante.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,1 N</li> <li>✓ Indicador Fenolftaleína</li> <li>✓ Indicador Naranja de Metilo</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer</li> <li>✓ Agregar 4 gotas de fenolftaleína</li> <li>✓ Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta que dé un viraje de rosado a incoloro</li> <li>✓ Agregar 3 gotas de naranja de metilo.</li> <li>✓ Titular con H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hasta que dé un viraje de naranja a rosado.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

#### 2.7.2.7. Cloruros

**Tabla 2-10 STANDARD METHODS \*4500 Cl B**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Los cloruros se pueden determinar en una solución neutra ligeramente alcalina mediante una titulación con nitrato de plata, usando como indicador cromato de potasio.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Erlenmeyer</li> <li>✓ Bureta</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ AgNO<sub>3</sub> 0,01 N</li> <li>✓ Indicador K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en el erlenmeyer</li> <li>✓ Agregar 4 gotas de K<sub>2</sub>CrO<sub>4</sub>.</li> <li>✓ Titular con AgNO<sub>3</sub> hasta que dé un viraje de amarillo a ladrillo.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

#### 2.7.2.8. Sulfatos

**Tabla 2-11 STANDARD METHODS \*4500 SO<sub>4</sub> E**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>El sulfato precipita en una solución de ácido clorhídrico como sulfato de bario por la adición de cloruro de bario.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balón aforado</li> <li>✓ Espectrofotómetro</li> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ Solución Acondicionadora</li> <li>✓ BaCl<sub>2</sub></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar una porción de muestra en un balón de 100 ml.</li> <li>✓ Agregar 2 ml de solución acondicionadora.</li> <li>✓ Agregar 1 g de BaCl<sub>2</sub></li> <li>✓ Aforar con la muestra.</li> <li>✓ Medir en el Espectrofotómetro a 410 nm.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

#### 2.7.2.9. Nitritos

**Tabla 2-12 STANDARD METHODS \*4500 NO<sub>2</sub>**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
<p>Los nitritos presentes en el agua se pueden determinar a través de</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Balón aforado</li> <li>✓ Espectrofotómetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en un balón de 50 ml.</li> </ul>

la formación de un colorante azoico de color morado rojizo por aplicación de sulfanilamidiazotado con N-(1 - naftil) - dihidrocloruro de etilendiamina. El rango de aplicación del método para mediciones espectrofotométricas es de 10 a 1000 µg de NO <sub>2</sub> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pipeta volumétrica</li> <li>✓ Solución A</li> <li>✓ Reactivo B</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Agregar 2 ml de solución A.</li> <li>✓ Agregar 2 ml de reactivo B.</li> <li>✓ Aforar con la muestra.</li> <li>✓ Dejar reposar la muestra por 30 min.</li> <li>✓ Medir en el Espectrofotómetro a 510nm.</li> </ul>
---	--	--

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

#### 2.7.2.10. Color

**Tabla 2-13 MÉTODO HACH\***

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
EL color del agua se debe al contacto con desechos orgánicos, sólidos en suspensión, presencia de taninos y residuos industriales. El color verdadero es el color de la muestra una vez que se ha removido la turbidez, y el color aparente es el que incluye no solamente el color de las sustancias en solución y coloidales, sino también el color debido al material suspendido.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

#### 2.7.2.11. Nitratos

**Tabla 2-14 MÉTODO HACH\***

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los niveles de nitratos en aguas subterráneas y superficiales son unos pocos miligramos por litro.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo N Nitrato RA PP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de N Nitrato RA PP en polvo.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

#### 2.7.2.12. Fosfatos

**Tabla 2-15 MÉTODO HACH\***

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El fósforo se encuentra en aguas naturales y en las aguas residuales casi exclusivamente como fosfatos. Estos se clasifican como ortofosfatos, fosfatos condensados y fosfatos ligados orgánicamente.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo PhosVer.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de PhosVer 3 en polvo.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

### 2.7.2.13. Hierro

**Tabla 2-16 MÉTODO HACH\***

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
El hierro se encuentra principalmente en aguas subterráneas, en cantidades apreciables, está presente como Fe <sup>2+</sup> creando problemas en suministros de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Equipo Hach</li> <li>✓ Celdas de la Hach</li> <li>✓ Pipeta</li> <li>✓ Agua destilada</li> <li>✓ Reactivo FerroVer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar 10 ml de agua destilada en una celda y encerar el equipo.</li> <li>✓ Colocar 10 ml de la muestra en una celda y añadir un sobre de reactivo de FerroVer en polvo.</li> <li>✓ Colocar la celda en el equipo</li> <li>✓ Tomar la lectura que indica en el equipo.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

### 2.7.2.14. Sólidos Totales

**Tabla 2-17 STANDARD METHODS \*2540**

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los sólidos totales se definen como el material que queda en el recipiente después de la evaporación de la muestra y su posterior secado en un horno a una temperatura definida. Los sólidos totales incluyen los sólidos suspendidos totales, sólidos retenidos en un filtro y sólidos disueltos totales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Caja Petri tarada</li> <li>✓ Baño María</li> <li>✓ Estufa</li> <li>✓ Desecador</li> <li>✓ Balanza Analítica</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Pesar la caja petri vacía</li> <li>✓ Colocar 25 ml de muestra en la caja petri.</li> <li>✓ Someter a baño María hasta sequedad</li> <li>✓ Secar en la estufa, enfriar y pesar.</li> </ul>

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

### 2.7.2.15. Sólidos Totales Disueltos

**Tabla 2-18 MÉTODO HACH\***

FUNDAMENTO	MATERIALES Y REACTIVOS	TÉCNICA
Los sólidos totales disueltos es la cantidad de materia disuelta en un volumen de agua.	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Electrodo sensible de Hach</li> <li>✓ Vaso de precipitación</li> <li>✓ Muestra problema</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Colocar la muestra en el vaso de precipitación, la misma que debe ser agitada.</li> <li>✓ Colocar el electrodo para sólidos totales disueltos en el interior del vaso de precipitación que contiene la muestra.</li> <li>✓ Tomar la lectura.</li> </ul>

Fuente: \*HACH MODEL DR/4000V

### 2.7.2.16. Contaminación Microbiológica

**Tabla 2-19 STANDARD METHODS**

REQUISITOS	ENSAYO	STANDARD METHODS
Coliformes totales	Filtración pro membranas. Sembrado	PEE/M-01
Coliformes fecales	Filtración pro membranas. Sembrado	PEE/M-01

Fuente: STANDARD METHODS, edición 17

## 2.8. Datos experimentales

### 2.8.1. Situación inicial – caracterización del agua de captación

Tabla 2-20 Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 1

Determinaciones	Unidades	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	Muestras					Promedio
			1	2	3	4	5	
Color	und Co/Pt	<15	4.00	9.00	2.00	1.00	1.00	3.4
pH	unid	6.5-8.5	6.08	6.31	6.30	6.57	6.62	6.34
Conductividad	μSiems/cm	<1250	197.0	180.0	189.90	186.20	200.00	190.62
Turbiedad	UNT	5	0.05	0.03	0.11	0.03	0.02	0.05
Cloruros	mg/l	250	7.1	11.3	11.3	9.9	8.5	9.62
Dureza	mg/l	300	168.0	180.0	136.0	152.0	128.0	152.8
Calcio	mg/l	70	32.0	32.0	48.0	41.6	44.8	39.68
Magnesio	mg/l	30 – 50	21.4	24.3	3.9	11.7	3.9	13.04
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	180.0	130.0	150.0	160.0	200.0	164.0
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	183.6	132.6	153.0	163.2	204.0	167.28
Sulfatos	mg/l	200	3.0	3.6	1.3	2.1	2.7	2.54
Amonios	mg/l	1.00	0.008	0.040	0.050	0.012	0.075	0.037
Nitritos	mg/l	0.01	0.006	0.001	0.001	0.001	0.000	0.00018
Nitratos	mg/l	10	0.900	0.400	0.400	0.300	0.300	0.460
Hierro	mg/l	0.3	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.012
Fosfatos	mg/l	0.1	0.382	0.260	0.278	0.193	0.209	0.264
Fluoruros	mg/l	<1.5	0.2	0.25	0.43	0.01	0.01	0.18
Sólidos Totales	mg/l	1000	170.0	172.0	192.0	44.0	144.0	144.4
Sólidos Disueltos	mg/l	500	82.0	70.2	79.1	76.0	80.0	77.46

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

Tabla 2-21 Análisis Microbiológicos del Agua de Pozo 1

Determinaciones	Unidades	*Límite Máximo Permisible	Muestra
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 2	26
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 2	15

Fuente: SAQMIC, Servicios Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos

Tabla 2-22 Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 2

Determinaciones	Unidades	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	Muestras					Promedio
			1	2	3	4	5	
Color	und Co/Pt	<15	7.00	3.00	0.00	1.00	2.00	2.6
pH	unid	6.5-8.5	6.28	6.38	6.50	6.63	6.69	6.47
Conductividad	μSiems/cm	<1250	215.0	189.40	206.0	203.0	190.69	200.82
Turbiedad	UNT	5	0.04	0.40	0.15	0.04	0.04	0.13

Cloruros	mg/l	250	8.5	8.5	14.2	7.1	9.9	9.64
Dureza	mg/l	300	136.0	200.0	152.0	176.0	224.0	177.6
Calcio	mg/l	70	25.6	64.0	41.6	35.2	54.4	44.16
Magnesio	mg/l	30 – 50	17.5	9.7	11.7	21.4	21.4	16.34
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	280.0	250.0	160.0	240.0	240.0	234
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	285.6	255.0	163.2	244.8	244.8	238.68
Sulfatos	mg/l	200	3.0	2.2	3.4	3.6	2.6	2.96
Amonios	mg/l	1.00	0.005	0.080	0.005	0.020	0.035	0.029
Nitritos	mg/l	0.01	0.003	0.001	0.001	0.002	0.000	0.0014
Nitratos	mg/l	10	0.900	0.700	0.800	0.900	0.600	0.780
Hierro	mg/l	0.3	0.02	0.01	0.01	0.02	0.01	0.014
Fosfatos	mg/l	0.1	0.370	0.220	0.304	0.230	0.192	0.263
Fluoruros	mg/l	<1.5	0.24	0.27	0.5	0.04	0.03	0.216
Sólidos Totales	mg/l	1000	208.0	176.0	188.0	176.0	112.0	172.0
Sólidos Disueltos	mg/l	500	85.0	81.0	79.2	88.0	82.0	83.04

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

**Tabla 2-23 Análisis Microbiológicos del Agua de Pozo 2**

Determinaciones	Unidades	*Límite máximo permisible	Muestra
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 2	22
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 2	16

Fuente: SAQMIC, Servicios Químicos y Microbiológicos en Aguas y Alimentos

**Tabla 2-24 Análisis Físico – Químicos del Agua de Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado**

Determinaciones	Unidades	*Límite máximo permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	Muestras				Promedio
			1	2	3	4	
Color	und Co/Pt	<15	3.00	2.00	1.00	1.00	1.75
pH	unid	6.5-8.5	6.40	6.46	6.65	6.74	6.56
Conductividad	µSiems/cm	<1250	196.30	193.10	189.10	191.50	192.5
Turbiedad	UNT	5	0.34	0.13	0.29	0.16	0.23
Cloruros	mg/l	250	7.1	9.9	9.9	12.8	9.9
Dureza	mg/l	300	184.0	152.0	160.0	248.0	186
Calcio	mg/l	70	38.4	44.8	48.0	57.6	47.2
Magnesio	mg/l	30 – 50	21.4	9.7	9.7	25.3	16.5
Alcalinidad	mg/l	250 – 300	160.0	220.0	180.0	240.0	200
Bicarbonatos	mg/l	250 – 300	163.2	224.4	183.6	244.8	204
Sulfatos	mg/l	200	2.0	4.0	3.0	3.2	3.1
Amonios	mg/l	1.00	0.170	0.065	0.022	0.045	0.076
Nitritos	mg/l	0.01	0.001	0.001	0.002	0.000	0.001
Nitratos	mg/l	10	0.700	1.000	0.600	0.700	0.75
Hierro	mg/l	0.3	0.01	0.02	0.03	0.03	0.02
Fosfatos	mg/l	0.1	0.232	0.314	0.187	0.199	0.233
Fluoruros	mg/l	<1.5	0.16	0.37	0.01	0.02	0.14
Sólidos Totales	mg/l	1000	212.0	160.0	12.0	108.0	123
Sólidos Disueltos	mg/l	500	77.8	77.0	77.2	77.3	77.3

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnicos Facultad de Ciencias

## 2.8.2. Parámetros fuera de los límites permisibles

**Tabla 2-25 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1**

Parámetros	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultado
pH	Unid.	6.5 – 8.5	6.34
Fosfatos	mg/l	0.1	0.264

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-26 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 1**

Parámetros	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultado
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 2	26
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 2	15

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-27 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 2**

Parámetros	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultado
pH	Unid.	6.5 – 8.5	6.47
Fosfatos	mg/l	0.1	0.263

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-28 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 2**

Parámetros	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultado
Coliformes Totales	UFC/100ml	< 2	22
Coliformes Fecales	UFC/100ml	< 2	16

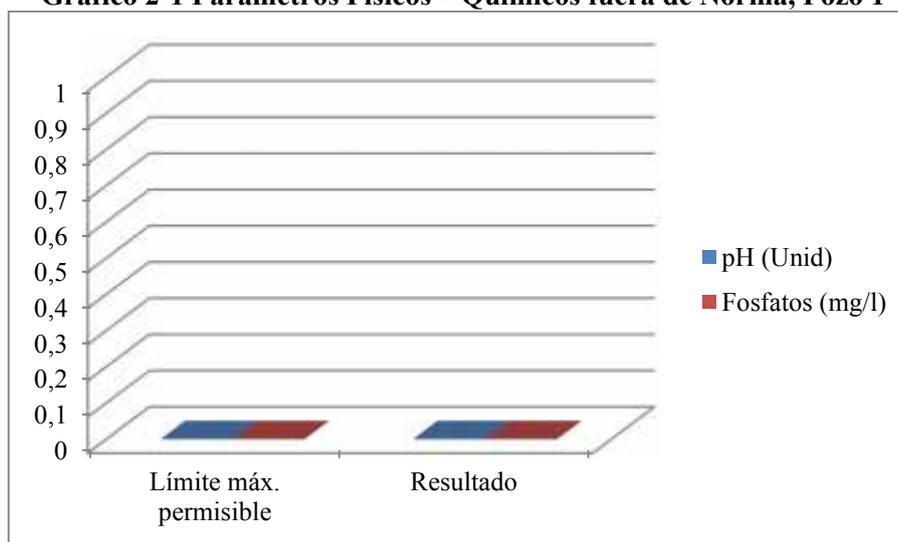
Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-29 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado**

Parámetros	Unidades	*Límite máximo permisible	Resultado
Fosfatos	mg/l	0.1	0.233

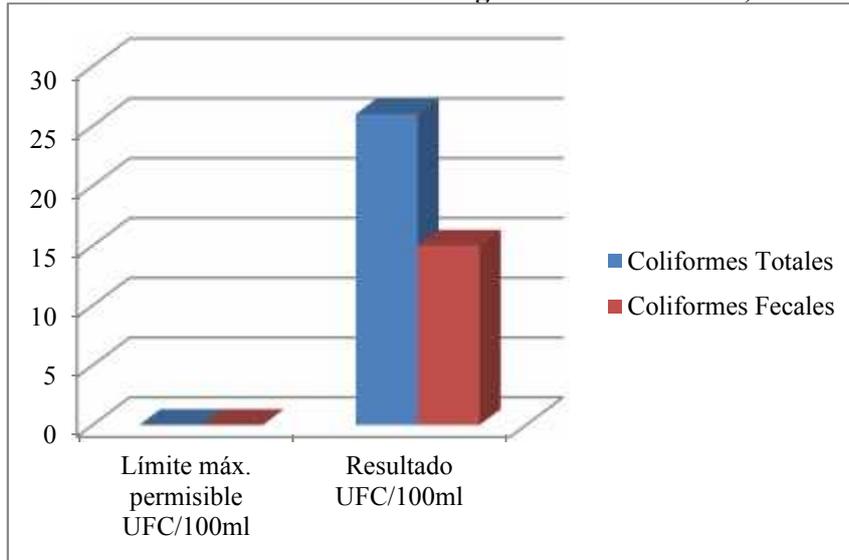
Realizado por: JARAMILLO, José

**Gráfico 2-1 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1**



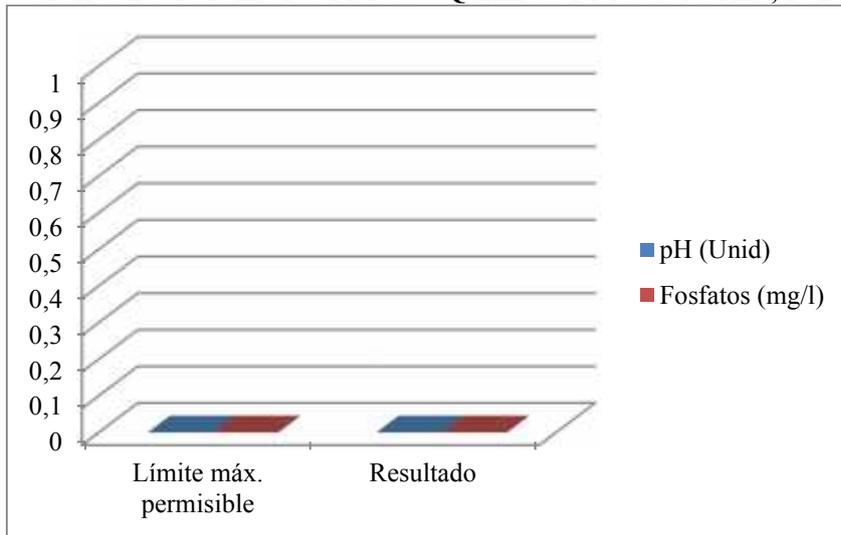
Realizado por: JARAMILLO, José

**Gráfico 2-2 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 1**



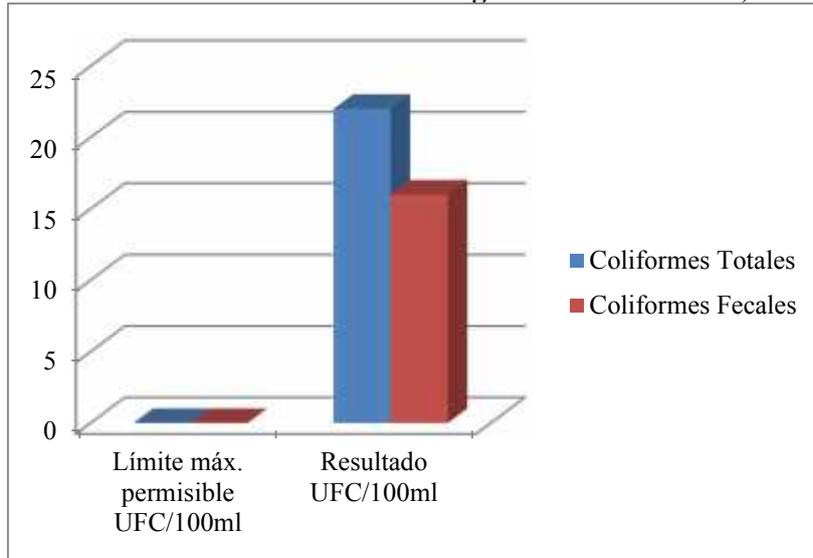
Realizado por: JARAMILLO, José

**Gráfico 2-3 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 2**



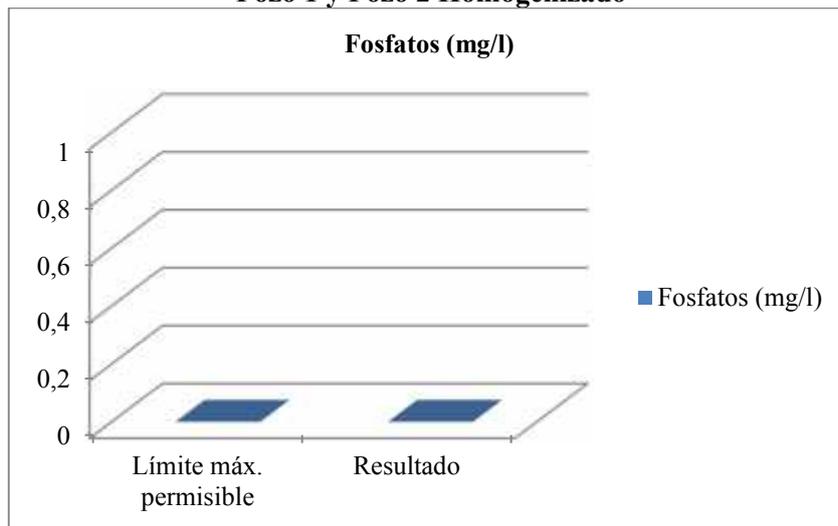
Realizado por JARAMILLO, José

**Gráfico 2-4 Parámetros Microbiológicos fuera de Norma, Pozo 2**



Realizado por: JARAMILLO, José

**Gráfico 2-5 Parámetros Físicos – Químicos fuera de Norma, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado**



Realizado por: JARAMILLO, José

### 2.8.3. Prueba de jarras

La Prueba de Jarras se realizó en el Laboratorio de Análisis Técnicos de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad Ciencias, se utilizó Policloruro de Aluminio para bajar la cantidad de fosfato fuera de norma y a su vez subir el pH.

Se dio una dosificación del Policloruro de Aluminio de 3 g diluido en 100 ml de agua destilada, haciendo pruebas con esta dilución con volúmenes de 1 ml, 3 ml, 5 ml y 7 ml, siendo la muestra que se adicionó los 3 ml de dilución de policloruro de aluminio que diera buenos resultados. Con las pruebas de jarras se determinó que tanto para época seca como para época invernal la dosificación ideal donde el agua entra en todos los parámetros de norma es de 3 g diluido en 100 ml.

**Tabla 2-30 Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 1 Semana**

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Fosfatos (mg/l)	pH (Unid.)	Turbiedad (NTU)
3	1	0.33	6.82	0.377
3	2	0.28	6.84	0.511
3	3	0.21	6.81	0.523
3	4	0.19	6.62	0.610

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-31 Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 2 Semana**

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Fosfatos (mg/l)	pH (Unid.)	Turbiedad (NTU)
3	1	0.31	6.86	0.391
3	3	0.05	6.73	0.521
3	5	0.04	6.57	0.749
3	7	0.05	6.42	0.943

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 2-32 Prueba de Jarras, Fosfatos, pH y Turbiedad, 3 Semana**

Concentración de PAC (ppm)	Volumen PAC (ml)	Fosfatos (mg/l)	pH (Unid.)	Turbiedad (NTU)
3	1	0.108	6.97	0.390
3	3	0.070	6.75	0.550
3	5	0.051	6.60	0.521
3	7	0.050	6.46	0.910

Realizado por: JARAMILLO, José

**2.8.4. Situación actual****Gráfico 2-6 Situación Actual Abastecimiento de Agua**

Realizado por: JARAMILLO, José

## CAPÍTULO III

### 3. CÁLCULOS Y RESULTADOS

#### 3.1. Cálculos de diseño

En base a los análisis realizados al agua consumida por los habitantes de la parroquia Monterrey se determinó que es necesario el diseño de una planta de tratamiento de agua potable que mejore la calidad del líquido vital y que cumpla con los parámetros establecidos en la norma obligatoria NTE INEN 1108:2006. Segunda Revisión.

##### 3.1.1. Población futura

De la Ec. (1-8), se tiene:

$$N_t = N_o \left(1 + \frac{r}{100}\right)^t$$

**Datos:**

$N_o$  = Población actual: 6000 hab.

$r$  = Tasa de crecimiento anual: 0.11 %. (Según INEC; Población y Tasas de crecimiento según Parroquias del año 2010)

$t$  = Tiempo de diseño: 25 años

$$N_{2039} = 6000 \left(1 + \frac{0.11}{100}\right)^{25}$$

$$N_{2039} = 6167 \text{ hab.}$$

**Tabla 3-1 Proyección de la Población**

N	Año	Población
0	2014	6000
1	2015	6007
2	2016	6013
3	2017	6020
4	2018	6026
5	2019	6033
6	2020	6040
7	2021	6046
8	2022	6053
9	2023	6060
10	2024	6066
11	2025	6073
12	2026	6080
13	2027	6086
14	2028	6093
15	2029	6100

16	2030	6106
17	2031	6113
18	2032	6120
19	2033	6127
20	2034	6133
21	2035	6140
22	2036	6147
23	2037	6154
24	2038	6160
25	2039	6167

Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.1.1.1. Nivel de Complejidad del Sistema

En base a la población futura calculada, se determina el nivel de complejidad del sistema de acuerdo a la tabla 3-2.

**Tabla 3-2 Nivel de Complejidad del Sistema**

Nivel	Población de diseño
Bajo	< 2500
Medio	2501 – 12500
Medio Alto	12501 – 60000
Alto	> 60000

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

Como la población de diseño proyectada para 25 años es de 6167 habitantes, se determina que el nivel de complejidad del sistema es medio.

### 3.1.1.2. Dotación Básica

De la Ec. (1-9), se tiene:

$$DB = \frac{V_{ac}}{T_{us}}$$

#### Datos:

$V_{ac}$  = Volumen de agua consumida: 15747 m<sup>3</sup>/mes (Junta de Agua Potable de Monterrey).

$T_{us}$  = Total de usuarios servidos: 546 usuarios (Junta de Agua Potable de Monterrey).

\*Apreciación Junta de Agua Potable de Monterrey, cada usuario representa a 5 habitantes.

$$DB = \frac{15747 \text{ m}^3/\text{mes}}{546 \text{ usuarios}}$$

$$DB = 28.8 \text{ m}^3/\text{mes} \cdot \text{usuario}$$

$$DB = \frac{2884 \text{ m}^3}{\text{mes} \cdot \text{usuario}} * \frac{100 \text{ L}}{1 \text{ m}^3} * \frac{1 \text{ mes}}{30 \text{ días}} * \frac{1 \text{ usuario}}{5 \text{ hab}}$$

$$DB = 192 \text{ L/hab} \cdot \text{día}$$

### 3.1.1.3. Dotación Futura

De la Ec. (1-10), se tiene:

$$\text{Dotación futura} = \frac{\text{Dotación básica}}{1 - \text{pérdidas técnicas}}$$

**Datos:**

**Pérdidas técnicas** = 0.30 (Tabla 3-3)

**DB** = Dotación Básica = 192 L/hab\*día

$$\text{Dotación futura} = \frac{192}{1 - 0.30}$$

$$\text{Dotación futura} = 274.29 \frac{L}{\text{hab} * \text{día}}$$

Las pérdidas técnicas para la dotación futura se determinan a partir de la tabla 3-3.

**Tabla 3-3 Pérdidas Técnicas**

Nivel de Complejidad	% Máximo admisible de pérdidas técnicas
Bajo	40
Medio	30
Medio Alto	25
Alto	20

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

### 3.1.1.4. Caudal Medio Diario (cmd)

De la Ec. (1-11), se tiene:

$$\text{cmd} = P_f \times \text{Dotación futura}$$

**Datos:**

**P<sub>f</sub>** = Población futura = 6167 hab

**Dotación futura** = 274.29 L/hab\*día

$$\text{cmd} = 6167 \times 274.29$$

$$\text{cmd} = 1691546.43 \frac{L}{\text{día}}$$

### 3.1.1.5. Caudal Máximo Diario (CMD)

De la Ec. (1-12), se tiene:

$$\text{CMD} = k_1 \times \text{cmd}$$

**Datos:**

**k<sub>1</sub>** = Coeficiente de variación diaria, adimensional = 1.3 (Tabla 3-4)

$cmd = 19.58 \text{ L/s}$ .

$$CMD = 1.3 * 19.58 \frac{L}{s}$$

$$CMD = 25.45 \frac{L}{s}$$

**Tabla 3-4 Valores de  $k_1$**

Nivel de Complejidad	$K_1$
Bajo	1,3
Medio	1,3
Medio Alto	1,2
Alto	1,2

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

### 3.1.2. Cálculos de ingeniería

#### 3.1.2.1. Cálculo del Caudal de Captación

De la Ec. (1-13), se tiene:

$$Q_{captación} = CMD + k_2$$

**Datos:**

$k_2 =$  Constante de variación adimensional = 0.15 (Tabla 3-5)

**CMD** = Caudal Máximo Diario

$$Q_{captación} = 25.45 + 0.15$$

$$Q_{captación} = 25.6 \text{ L/s}$$

**Tabla 3-5 Caudales de Diseño para los elementos de un Sistema de Agua Potable**

Elemento	Caudal
Captación de aguas superficiales	CMD + 20%
Captación de aguas subterráneas (de pozo)	CMD + 15%
Conducción de aguas superficiales	CMD + 10%
Conducción de aguas subterráneas	CMD + 5%
Red de Distribución	CMH + Incendio
Planta de Tratamiento	CMD + 10%

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

#### 3.1.2.2. Dimensionamiento del Vertedero Rectangular

##### 3.1.2.2.1. Caudal del Vertedero

De la Ec. (1-14), se tiene:

$$Q_{vertedero} = \frac{Q_{captación}}{N_c \times a \times l}$$

**Datos:**

$Q_{\text{captación}} = \text{Caudal de Captación} = 25.6 \text{ L/s}$

$N_c = \text{Número de canales} = 1$  (Porque se unen los dos pozos, se tiene solo un canal)

$a = \text{Número de lados por donde se recolecta el agua} = 2$  (Pozo 1 y Pozo 2)

$l = \text{Longitud del canal} = 1 \text{ m}$  (Debido a que el caudal es pequeño y para que el agua tenga una buena caída y se genere turbulencia para la mezcla del PAC, se toma la longitud del canal como 1 m)

$$Q_{\text{vertedero}} = \frac{25.6}{1 \times 2 \times 1}$$

$$Q_{\text{vertedero}} = 12.8 \text{ L/s}$$

El vertedero rectangular será construido de hormigón y diseñado para un caudal de 12.8 L/s, el mismo que será utilizado para dispersar de manera rápida el policloruro de aluminio a través del flujo de agua.

**3.1.2.2.2. Canal del Vertedero**

De la Ec. (1-15), se tiene:

$$C_v = f_s * H$$

**Datos:**

$f_s = \text{Factor de seguridad, adimensional: } 1.10$  (Tabla 3-6)

$H = \text{Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua: } 0.05 \text{ m}$  (Parámetro establecido para unidades hidráulicas Universidad Nacional de Colombia)

$$C_v = 1.10 \times (0.05)$$

$$C_v = 0.055 \text{ m}$$

**Tabla 3-6 Factor de Seguridad**

Nivel de Complejidad	$f_s$
Bajo	1.0
Medio	1.10
Medio Alto	1.15
Alto	2.0

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

**3.1.2.2.3. Ancho del Vertedero**

De la Ec. (1-16), se tiene:

$$Q = 1,84BH^{3/2}$$

**Dónde:**

**Q** = Caudal de diseño: 0.0128 m<sup>3</sup>/s

**H** = Carga sobre el vertedero o altura de la lámina de agua: 0.05 m (Parámetro establecido para unidades hidráulicas Universidad Nacional de Colombia)

$$B = \frac{0,0128}{1,84 \times (0,05)^{3/2}}$$

$$B = 0,622 \text{ m}$$

### 3.1.2.2.3. Caudal por unidad de ancho

De la Ec. (1-17), se tiene:

$$q = \frac{Q}{B}$$

**Datos:**

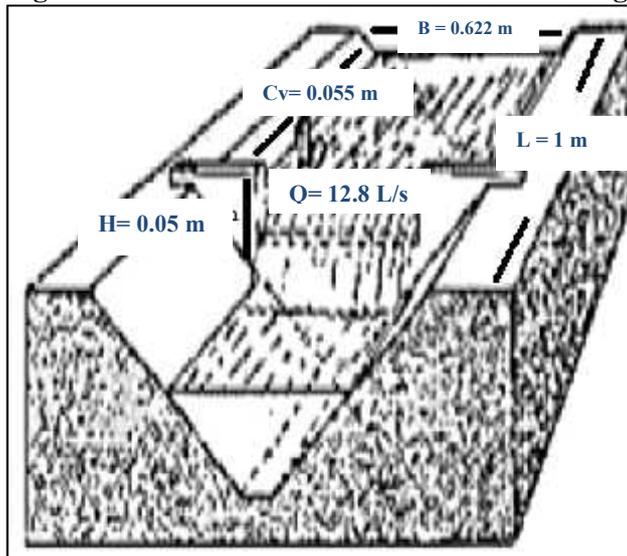
**Q** = Caudal de diseño: 0.0128 m<sup>3</sup>/s

**B** = Ancho del vertedero: 0.622 m

$$q = \frac{0,0128}{0,622}$$

$$q = 0,021 \text{ m}^2/\text{s}$$

**Figura 3-1 Dimensionamiento Vertedero Rectangular**



Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.1.2.3. Mezcla rápida (Resalto Hidráulico) en el vertedero rectangular

#### 3.1.2.3.1. Profundidad crítica de flujo

De la Ec. (1-18), se tiene:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3}$$

**Datos:**

$q$  = Caudal por unidad de ancho: 0.021 m<sup>2</sup>/s

$g$  = Gravedad: 9.8 m/s<sup>2</sup>

$$h_c = \left(\frac{(0.021)^2}{9.8}\right)^{1/3}$$

$$h_c = 0.036 \text{ m}$$

#### 3.1.2.3.2. Longitud del Salto

La altura de la pared del vertedero,  $P$ , será de 0,50 m para tener un resalto estable y mezcla eficiente, donde el número de Froude calculado en el literal 3.1.2.3.5 deberá estar comprendido entre 4,5 y 9.

De la Ec. (1-19), se tiene:

$$L_{rr} = 4,3P^{0,1}h_c^{0,9}$$

**Datos:**

$P$  = Altura de la pared del vertedero: 0.50 m (Para tener un resalto estable y una mezcla eficiente)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo: 0.036 m

$$L_{rr} = 4,3(0.50)^{0,1} \times (0.036)^{0,9}$$

$$L_{rr} = 0.201 \text{ m}$$

#### 3.1.2.3.3. Profundidad Supercrítica o altura del agua después del salto

De la Ec. (1-20), se tiene:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1,5}} h_c$$

**Datos:**

$P$  = Altura de la pared del vertedero: 0.50 m (Para tener un resalto estable y una mezcla eficiente)

$h_c$  = Profundidad crítica de flujo: 0.036 m

$$h_1 = \frac{\sqrt{2}}{1,05 + \sqrt{\frac{0,50}{0,036} + 1,5}} 0,036$$

$$h_1 = 0,010 \text{ m}$$

3.1.2.3.4. *Velocidad del agua en el salto*

De la Ec. (1-21), se tiene:

$$v_1 = \frac{q}{h_1}$$

**Datos:**

$q$  = Caudal por unidad de ancho: 0.021 m<sup>2</sup>/s

$h_1$  = Profundidad Supercrítica: 0.010 m

$$v_1 = \frac{0,021}{0,010}$$

$$v_1 = 2,1 \text{ m/s}$$

3.1.2.3.5. *Número de Froude*

De la Ec. (1-22), se tiene:

$$F = \frac{v_1}{\sqrt{gh_1}}$$

**Datos:**

$v_1$  = Velocidad de agua en el salto: 2.1 m/s

$g$  = Gravedad: 9.8 m/s<sup>2</sup>

$h_1$  = Profundidad Supercrítica: 0.010 m

$$F = \frac{2,1}{\sqrt{9,8 \times 0,010}}$$

$$F = 6,708$$

### 3.1.2.3.6. Profundidad Subcrítica o altura del agua después del resalto

De la Ec. (1-23), se tiene:

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8F^2} - 1)h_1$$

**Datos:**

F = Número de Froude: 6.708

$h_1$  = Profundidad Supercrítica: 0.010 m

$$h_2 = \frac{1}{2}(\sqrt{1 + 8 \times (6.708)^2} - 1) 0.010$$

$$h_2 = 0.090 \text{ m}$$

### 3.1.2.3.7. Velocidad del agua en el resalto

De la Ec. (1-24), se tiene:

$$v_2 = \frac{q}{h_2}$$

**Datos:**

q = Caudal por unidad de ancho: 0.021 m<sup>2</sup>/s

$h_2$  = Profundidad Subcrítica: 0.090 m

$$v_2 = \frac{0.021}{0.090}$$

$$v_2 = 0.233 \text{ m/s}$$

### 3.1.2.3.8. Pérdida de energía en el resalto

De la Ec. (1-25), se tiene:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4h_1h_2}$$

**Datos:**

$h_2$  = Profundidad Subcrítica: 0.090 m

$h_1$  = Profundidad Supercrítica: 0.010 m

$$h = \frac{(0.090 - 0.010)^3}{4 \times (0.010 \times 0.090)}$$

$$h = 0.142 \text{ m}$$

### 3.1.2.3.9. Longitud del resalto, para resalto estable

De la Ec. (1-26), se tiene:

$$L_j = 6(h_2 - h_1)$$

**Datos:**

$h_2$  = Profundidad Subcrítica: 0.090 m

$h_1$  = Profundidad Supercrítica: 0.010 m

$$L_j = 6(0.090 - 0.010)$$

$$L_j = 0.48 \text{ m}$$

### 3.1.2.3.10. Velocidad media en el resalto

De la Ec. (1-27), se tiene:

$$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$$

**Datos:**

$v_1$  = Velocidad de agua en el salto: 2.1 m/s

$v_2$  = Velocidad del agua en el resalto: 0.233 m/s

$$v_m = \frac{2.1 + 0.233}{2}$$

$$v_m = 1.167 \text{ m/s}$$

### 3.1.2.3.11. Tiempo de mezcla

De la Ec. (1-28), se tiene:

$$t = \frac{L_j}{v_m}$$

**Datos:**

$L_j$  = Longitud del resalto, para resalto estable: 0.48 m

$v_m$  = Velocidad media en el resalto: 1.167 m/s

$$t = \frac{0.48}{1.167}$$

$$t = 0.411 \text{ s}$$

### 3.1.2.3.12. Gradiente de Velocidad

El peso específico y la viscosidad dinámica del agua se obtienen de la tabla 3-7 a una temperatura de 20°C.

De la Ec. (1-29), se tiene:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}}$$

#### Datos:

$\gamma$  = Peso específico del agua: 9789 N/m<sup>3</sup> (Tabla 3-7)

$\mu$  = Viscosidad dinámica del agua: 1.002 × 10<sup>-3</sup> Pas (Tabla 3-7)

$t$  = Tiempo de mezcla: 0.411 s

$h$  = Pérdida de energía en el resalto: 0.142 m

$$G = \sqrt{\frac{(9789) \times (0.142)}{(1.002 \times 10^{-3}) \times (0.411)}}$$

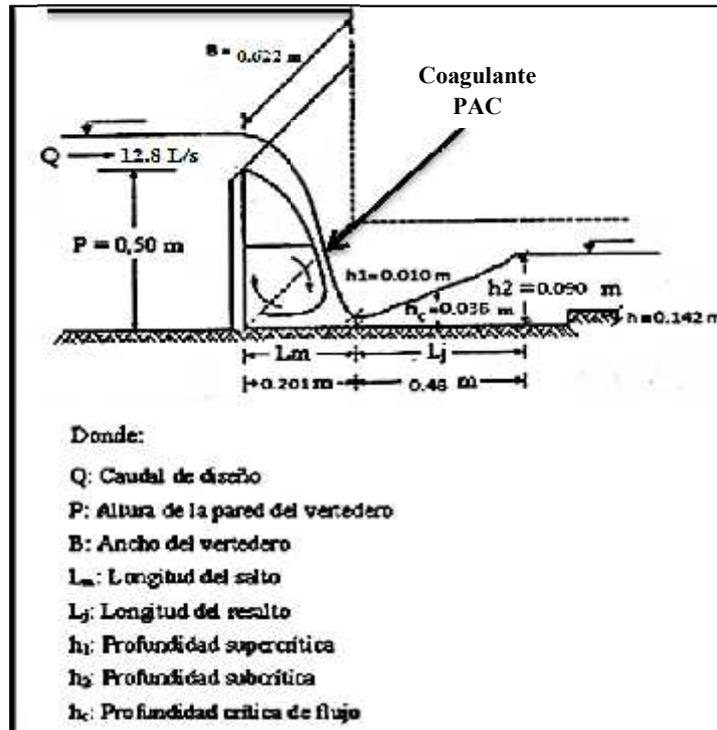
$$G = 1837.209 \text{ s}^{-1}$$

**Tabla 3-7 Propiedades Físicas del Agua a 1 Atmósfera**

Temperatura °C	Densidad $\rho$ Kg/m <sup>3</sup>	Peso específico $\gamma$ kN/m <sup>3</sup>	Viscosidad dinámica $\mu$ 10 <sup>-3</sup> Pa s
15	999,103	9,798	1,139
17	998,778	9,795	1,081
18	998,599	9,793	1,053
19	998,408	9,791	1,027
20	998,207	9,789	1,002

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

Figura 3-2 Dimensiones del Vertedero Rectangular con Resalto Hidráulico



Realizado por: JARAMILLO, José

#### 3.1.2.4. Coagulación

##### 3.1.2.4.1. Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)

La dosificación del policloruro de aluminio se efectuará por vía húmeda, empleando una bomba dosificadora, o a su vez manualmente en una solución al 3%, cuyo volumen necesario de la solución se determinó mediante un ensayo de laboratorio empleando la prueba de jarras.

De la Ec. (1-30), se tiene:

$$x = \frac{Q * C}{100 * P * \rho}$$

#### Datos:

Q = Caudal de diseño: 46.08 m<sup>3</sup>/h

C = Concentración de acuerdo al test de jarras: 3 ppm

P = Porcentaje de dilución: 3% (Test de jarra en el laboratorio)

$\rho$  = Densidad del PAC: 1.24 kg/L (ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices)

$$x = \frac{46.08 * 3}{100 * 3 * 1.24}$$

$$x = 0.619 \text{ ml/min}$$

Mediante conversión se tiene:

$$x = 0.619 \frac{\text{ml}}{\text{min}} \times \frac{L}{1000 \text{ ml}} \times \frac{60 \text{ min}}{h} \times \frac{24 h}{\text{día}}$$

$$x = 0.892 \text{ L/día}$$

### 3.1.2.5. Dimensionamiento del Sedimentador Laminar

#### 3.1.2.5.1. Carga Superficial después de instalar las placas

De la Ec. (1-31), se tiene:

$$v_{so} = \frac{l_p}{t_{rp}}$$

**Datos:**

$l_p$  = Longitud de las placas: 1.20 m (Tabla 3-9)

$t_{rp}$  = Tiempo de retención en las placas: 15 min (Tabla 3-8)

$$v_{so} = \frac{1.20}{15}$$

$$v_{so} = 0.08 \text{ m/min}$$

$$v_{so} = 115.2 \text{ m/día}$$

**Tabla 3-8 Parámetros de Diseño de Sedimentadores Laminares**

Parámetro	Valor
Tiempo de retención en las placas	15 – 25 min
Número de Reynolds	< 500 (Fisherstrom) < 250 (Arboleda) < 200 (Montgomery) < 280 (Schulz y Okun)
Inclinación de las placas	60°
Distancia entre placas	5 cm
Profundidad	3 – 5 m
Pendiente del fondo	> 2%

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

**Tabla 3-9 Parámetros de Diseño de las Placas planas de Asbesto – Cemento**

Parámetro	Valor
Longitud	1,20 m
Ancho	2,40 m
Espesor	0,01 m

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Sedimentación

### 3.1.2.5.2. Área de Sedimentación acelerada

De la Ec. (1-32), se tiene:

$$A_s = \frac{Q}{v_{so} \text{sen} \theta}$$

**Datos:**

$Q$  = Caudal de diseño: 1105.92 m<sup>3</sup>/día

$v_{so}$  = Carga superficial después de instalar las placas: 115.2 m/día

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación: 60° (Tabla 3-8)

$$A_s = \frac{1105.92}{115.2 \times \text{sen} 60^\circ}$$
$$A_s = 11.085 \text{ m}^2$$

### 3.1.2.5.3. Longitud del área de Sedimentación acelerada

De la Ec. (1-33), se tiene:

$$L_s = \frac{A_s}{B_s}$$

**Datos:**

$A_s$  = Área de Sedimentación acelerada: 11.085 m<sup>2</sup>

$B_s$  = Ancho del sedimentador: 2.40 m (Tabla 3-9)

$$L_s = \frac{11.085}{2.40}$$
$$L_s = 4.619 \text{ m}$$

### 3.1.2.5.4. Longitud relativa del sedimentador

De la Ec. (1-34), se tiene:

$$L_r = \frac{l_p}{e_p}$$

**Datos:**

$l_p$  = Longitud de las placas: 1.20 m (Tabla 3-9)

$e_p$  = Distancia entre placas: 5 cm: 0.05 m (Tabla 3-8)

$$L_r = \frac{1.20}{0.05}$$

$$L_r = 24$$

### 3.1.2.5.5. Longitud relativa en la región de transición

De la Ec. (1-35), se tiene:

$$L' = 0,013 \frac{v_{so} \times e_p}{\nu}$$

#### Datos:

$v_{so}$  = Carga superficial después de instalar las placas: 0.08 m/min

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua:  $1.004 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s (Tabla 3-10)

$e_p$  = Distancia entre placas: 0.05 m (Tabla 3-8)

$$L' = 0,013 \frac{0,08 \times 0,05}{60 \times (1,004 \times 10^{-6})}$$

$$L' = 0.863$$

**Tabla 3-10 Viscosidad Cinemática del agua a 1 Atmósfera**

Temperatura °C	Viscosidad cinemática $\nu \times 10^{-6}$ m <sup>2</sup> /s
15	1,140
17	1,082
18	1,054
19	1,029
20	1,004

Fuente: ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices

### 3.1.2.5.6. Longitud relativa corregida

De la Ec. (1-36), se tiene:

$$L_c = L_r - L' \quad \text{Si } L' \leq L_r/2$$

#### Datos:

$L_r$  = Longitud relativa del sedimentador: 24

$L'$  = Longitud relativa en la región de transición: 0.863

$$L_c = 24 - 0.863$$

$$L_c = 23.137$$

### 3.1.2.5.7. Velocidad crítica de Sedimentación

De la Ec. (1-37), se tiene:

$$v_{sc} = \frac{S_c \times v_{s0}}{\text{sen}\theta + L_r \cos\theta}$$

**Datos:**

$S_c$  = Placas planas paralelas: 1 (adimensional) (Tabla 3-11)

$v_{s0}$  = Carga superficial después de instalar las placas: 115.2 m/día

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación: 60° (Tabla 3-8)

$L_r$  = Longitud relativa del sedimentador: 24

$$v_{sc} = \frac{1 \times 115.2}{\text{sen}60^\circ + (24 \times \cos60^\circ)}$$

$$v_{sc} = 8.954 \text{ m/día}$$

**Tabla 3-11 Valores de  $S_c$  Típicos**

Tipo de módulo	$S_c$
Placas planas paralelas	1
Tubos circulares	4/3
Tubos cuadrados	11/8
Placas onduladas	1,30
Otras formas tubulares	1,33 – 1,42

Fuente: VILLEGAS, M. P. Purificación Aguas. Sedimentadores

### 3.1.2.5.8. Número de Reynolds

De la Ec. (1-38), se tiene:

$$N_{Re} = \frac{v_{s0} \times e_p}{\nu}$$

**Datos:**

$v_{s0}$  = Carga superficial después de instalar las placas: 115.2 m/día

$e_p$  = Distancia entre placas: 5 cm: 0.05 m (Tabla 3-8)

$\nu$  = Viscosidad cinemática del agua:  $1.004 \times 10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s (Tabla 3-10)

$$N_{Re} = \frac{115.2 \times 0.05}{86400 \times (1.004 \times 10^{-6})}$$

$$N_{Re} = 66.401$$

El número de Reynolds está dentro del rango recomendado de la tabla 3-8, por lo que el diseño es correcto, además, el flujo de agua es laminar ya que el número de Reynolds es menor a 2000.

### 3.1.2.5.9. Volumen del Sedimentador

De la Ec. (1-39), se tiene:

$$V_{Ts} = L_s \times B_s \times Z_s$$

**Datos:**

$L_s$  = Longitud del área de Sedimentación acelerada: 4.619 m

$B_s$  = Ancho del sedimentador: 2.40 m (Tabla 3-9)

$Z_s$  = Altura del sedimentador: 3 m (Tabla 3-8)

$$V_{Ts} = 4.619 \times 2.40 \times 3$$

$$V_{Ts} = 33.257 \text{ m}^3$$

3.1.2.5.10. *Tiempo de retención en el tanque de sedimentación*

De la Ec. (1-40), se tiene:

$$t_{rs} = \frac{V_{Ts}}{Q}$$

**Datos:**

$V_{Ts}$  = Volumen del sedimentador: 33.257 m<sup>3</sup>

$Q$  = Caudal de diseño: 0.0128 m<sup>3</sup>/s

$$t_{rs} = \frac{33.257}{0.0128}$$

$$t_{rs} = 2598.203 \text{ s}$$

$$t_{rs} = 43.303 \text{ min}$$

3.1.2.5.11. *Número de placas*

De la Ec. (1-41), se tiene:

$$N_p = \frac{(L_s - l_p \cos \theta) \operatorname{sen} \theta + e_p}{e_p + b_p}$$

**Datos:**

$L_s$  = Longitud del área de Sedimentación acelerada: 4.619 m

$l_p$  = Longitud de las placas: 1.20 m (Tabla 3-9)

$\theta$  = Ángulo de inclinación del elemento de sedimentación: 60° (Tabla 3-8)

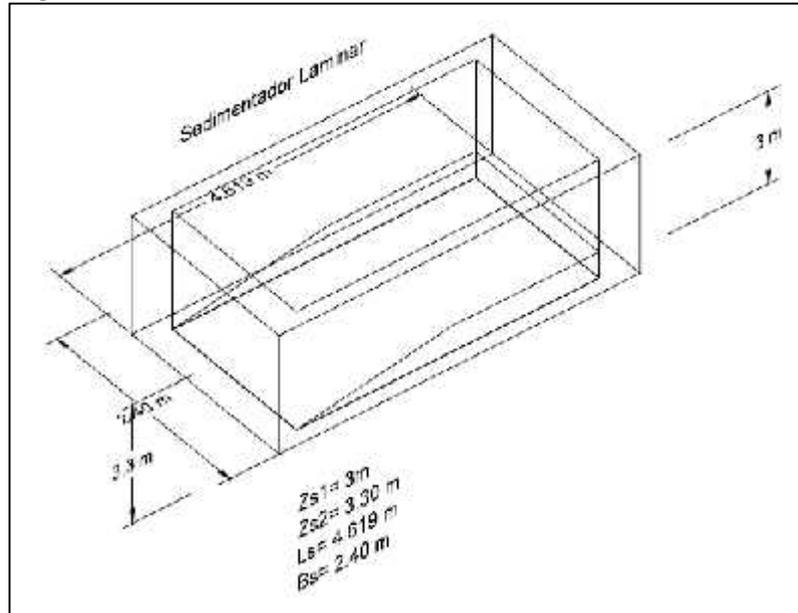
$e_p$  = Distancia entre placas: 0.05 m (Tabla 3-8)

$b_p$  = Espesor de las placas: 0.01 m (Tabla 3-9)

$$N_p = \frac{(4.619 - (1.20 \times \cos 60^\circ)) \sin 60^\circ + 0.05}{0.05 + 0.01}$$

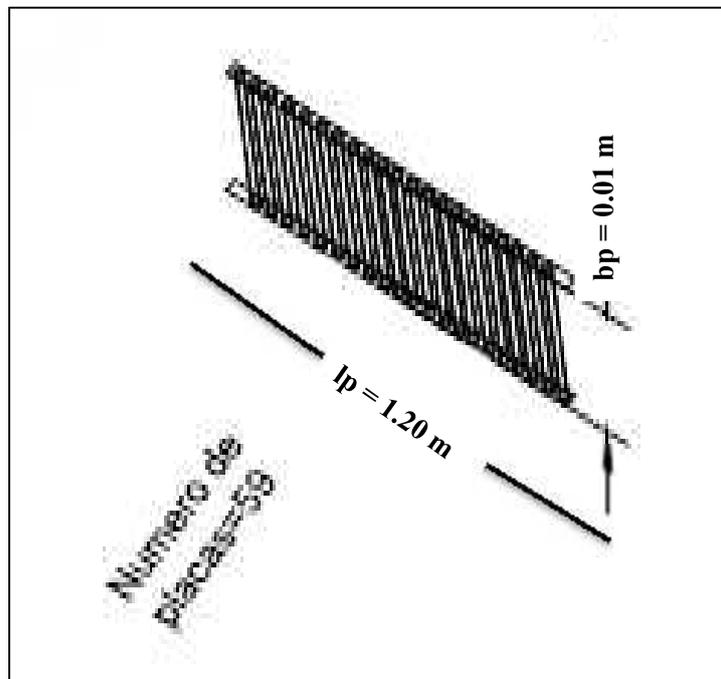
$$N_p = 58.842 \quad 59 \text{ placas}$$

**Figura 3-3 Dimensiones del Sedimentador Laminar**



Realizado por: JARAMILLO, José.

**Figura 3-4 Dimensiones Placas del Sedimentador Laminar**



Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.1.2.6. Desinfección

La dosificación de cloro será determinado para un caudal de 12.8 L/s, la desinfección del agua se realizará directamente en el tanque de almacenamiento que será construido de hormigón, mediante la aplicación de hipoclorito de sodio.

#### 3.1.2.6.1. Peso de cloro Necesario

El hipoclorito de sodio se aplicará al agua con una dosificación de 0.3 mg/L, dato tomado de la tabla 3-12, se inyectará hipoclorito de sodio a la concentración de 0.3 mg/L ya que el agua proviene de una fuente subterránea y se considera que está ligeramente contaminada.

De la Ec. (1-42), se tiene:

$$P_{Cl} = \frac{Q * D * 86400}{1000}$$

#### Datos:

Q = Caudal de diseño: 0.0128 m<sup>3</sup>/s

D = Dosis de cloro necesario: 0.3 mg/L (Tabla 3-12)

$$P_{Cl} = \frac{0.0128 * 0.3 * 86400}{1000}$$

$$P_{Cl} = 0.332 \text{ kg/día}$$

**Tabla 3-12 Demanda de cloro para aguas**

Aguas Claras	0,3 mg/L
Aguas Turbias	1,5 mg/L

Fuente: Muñoz M. Balarezo A.

#### 3.1.2.6.2. Volumen del Hipoclorador

La concentración del hipoclorito de sodio, C es 5%, cuyo valor es similar a la concentración del cloro doméstico.

De la Ec. (1-43), se tiene:

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

#### Datos:

P<sub>Cl</sub> = Peso de cloro necesario: 0.332 kg/día

C = Concentración de la solución: 5 % (Concentración del producto comercial de Hipoclorito de sodio)

$$V_H = \frac{0.332}{5 * 5}$$

$$V_H = 0.013 \text{ m}^3$$

### 3.1.2.6.3. Tanque de contacto para la mezcla de cloro

El tanque será construido de hormigón y diseñado para un caudal de 12.8 L/s y a su vez, será utilizado como tanque de almacenamiento, cuyo tiempo óptimo de retención será de 30 min, para tener un volumen suficiente que abastezca a los moradores de la parroquia y es el tiempo requerido para que el cloro esté en contacto con el agua y pueda eliminar cualquier tipo de microorganismo.

De la Ec. (1-44), se tiene:

$$V_{Tc} = Q t f_s$$

#### Datos:

$Q$  = Caudal de diseño: 0.0128 m<sup>3</sup>/s

$t$  = Tiempo de retención: 30 min (1800 s)

$f_s$  = Factor de seguridad: 1.10 (Tabla 3-6)

$$V_{Tc} = 0.0128 \times 1800 \times 1.10$$

$$V_{Tc} = 25.344 \text{ m}^3$$

### 3.1.2.6.4. Altura del tanque para la mezcla de cloro

Para un área de base cuadrada,  $A_{Tc}$  de 3 m<sup>2</sup> (1.5 m \* 2 m), la altura del tanque para la mezcla de cloro será:

De la Ec. (3-45), se tiene:

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

#### Datos:

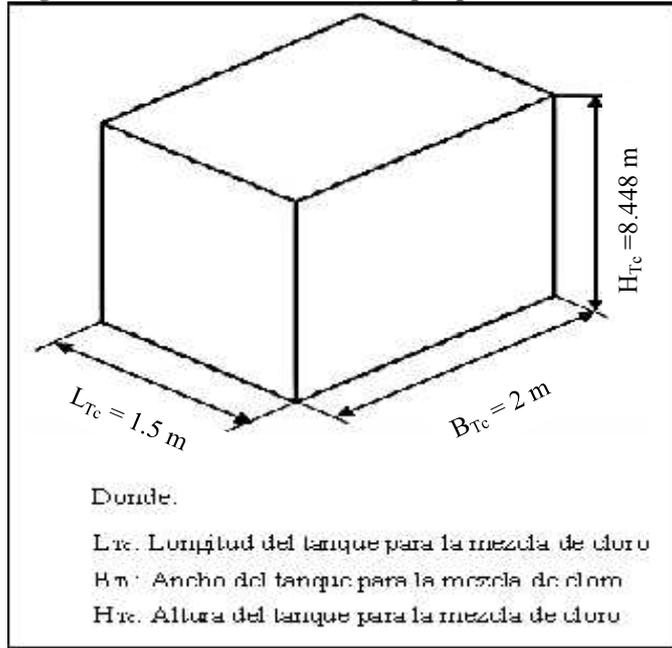
$V_{Tc}$  = Tanque de contacto para la mezcla de cloro: 25.344 m<sup>3</sup>

$A_{Tc}$  = Área del tanque para la mezcla de cloro: 3 m<sup>2</sup> (ROMERO, J. A. Purificación del Agua. Apéndices)

$$H_{Tc} = \frac{25.344}{3}$$

$$H_{Tc} = 8.448 \text{ m}$$

**Figura 3-5 Dimensiones del tanque para mezcla de cloro**



Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.2. Resultados

#### 3.2.1. Proyección futura

**Tabla 3-13 Resultados proyección futura (2039)**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Población Futura	$N_t$	6167	Habitantes
Dotación Básica	DB	192	L/hab*día
Dotación Futura	$D_f$	274.29	L/hab*día
Caudal medio diario	$C_{md}$	19.58	L/s
Caudal máximo diario	CMD	25.45	L/s
Caudal de captación	$Q_{captación}$	25.6	L/s

Realizado por: JARAMILLO, José.

#### 3.2.2. Procesos de potabilización

**Tabla 3-14 Resultados Vertedero Rectangular**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Caudal del Vertedero	$Q_{vertedero}$	12.8	L/s
Profundidad del canal del vertedero	$C_v$	0.055	m
Longitud del canal del vertedero	$L_{cv}$	1	m
Ancho del vertedero	B	0.622	m
Caudal por unidad de ancho	q	0.021	$m^2/s$

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-15 Resultados Mezcla Rápida (Resalto Hidráulico) en el vertedero rectangular**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Profundidad crítica de flujo	$h_c$	0.036	m
Longitud de salto	$L_m$	0.201	m
Profundidad Supercrítica	$h_1$	0.010	m
Velocidad del agua en el salto	$v_1$	2.1	m/s
Número de Froude	F	6.708	---
Profundidad Subcrítica	$h_2$	0.090	m
Velocidad del agua en el resalto	$v_2$	0.233	m/s
Pérdida de energía en el resalto	h	0.142	m

Longitud del resalto	$L_i$	0.48	m
Velocidad media en el resalto	$v_m$	1.167	m/s
Tiempo de mezcla	T	0.411	s
Gradiente de velocidad	G	1837.209	$s^{-1}$
Altura pared del vertedero	P	0.50	m

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-16 Coagulación**

Parámetros	Símbolo	Valor	Unidades
Dosificación del Policloruro de Aluminio (PAC)	X	0.892	L/día

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-17 Resultados Sedimentador Laminar**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Carga Superficial después de instalar las placas	$v_{so}$	115.2	m/día
Área de sedimentación acelerada	$A_s$	11.085	$m^2$
Ancho del tanque de sedimentación	$B_s$	2.40	m
Longitud del área de sedimentación acelerada	$L_s$	4.619	m
Longitud relativa del sedimentador	$L_r$	24	---
Longitud relativa en la región de transición	$L'$	0.863	---
Longitud relativa corregida	$L_c$	23.137	---
Velocidad crítica de sedimentación	$v_{sc}$	8.954	m/día
Número de Reynolds	$N_{Re}$	66.401	---
Volumen del sedimentador	$V_{Ts}$	33.257	$m^3$
Tiempo de retención en el tanque de sedimentación	$t_{ts}$	43.303	min
Número de placas	$N_p$	59	placas

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-18 Resultados Desinfección**

PARÁMETROS	SÍMBOLO	VALOR	UNIDADES
Dosis de Cloro Necesario	D	0.3	mg/L
Período de almacenamiento del Cloro	T	30	min
Concentración del Cloro	$C_{Cl}$	5	%
Peso del Cloro necesario	$P_{Cl}$	0.332	Kg/día
Volumen del Hipoclorador	$V_H$	0.013	$m^3$
<b>Tanque de contacto para mezcla de cloro y almacenamiento</b>			
Volumen del tanque para mezcla de cloro	$V_{TC}$	25.344	$m^3$
Altura del tanque para mezcla de cloro	$H_{TC}$	8.448	m

Realizado por: JARAMILLO, José

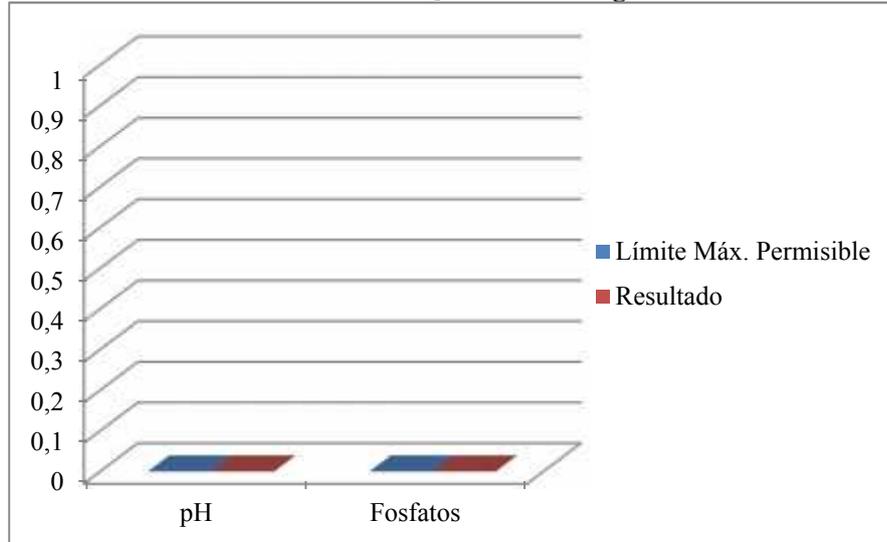
### 3.2.3. Situación final – resultados de análisis físico, químicos y microbiológicos del agua tratada

**Tabla 3-19 Resultado de Análisis de Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada**

Parámetros	Unidades	Límite Máximo Permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	Resultados
pH	Unid.	6.5 – 8.5	7.82
Fosfatos	mg/L	0.1	0.06

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH

**Gráfico 3-1 Parámetros Físico – Químicos del Agua Tratada**



	pH	Fosfatos
Límite Máx. Permisible	6.5 - 8.5	0.1
Resultado	7.82	0.06

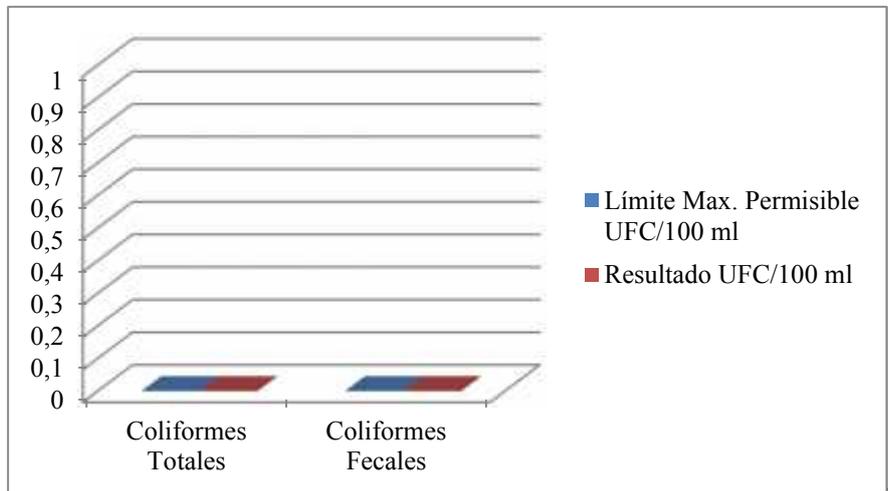
Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-20 Resultados de Análisis de Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada**

Parámetros	Unidades	Límite Máximo Permisible NORMA NTE INEN 1108:2006	Resultados
Coliformes Totales	UFC/100 ml	< 2	Ausencia
Coliformes Fecales	UFC/100 ml	< 2	Ausencia

Fuente: Laboratorio de Servicios Ambientales de la UNACH

**Gráfico 3-2 Parámetros Microbiológicos del Agua Tratada**



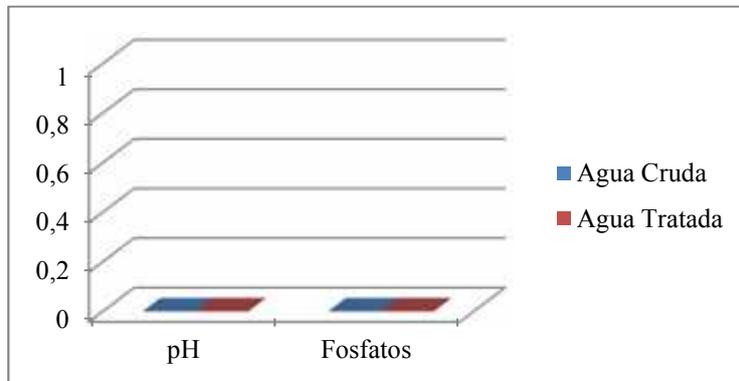
	Coliformes Totales	Coliformes Fecales
Límite Max. Permisible UFC/100 ml	< 2	< 2
Resultado UFC/100 ml	Ausencia	Ausencia

Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.2.4. Rendimiento del proceso de potabilización propuesto

Se realizó la comparación en la caracterización inicial del agua cruda y el agua tratada, resultados que se muestran en las siguientes gráficas y tablas:

**Gráfico 3-3 Rendimiento pH y Fosfatos**



	pH	Fosfatos
Agua Cruda	6.4	0.233
Agua Tratada	7.82	0.06

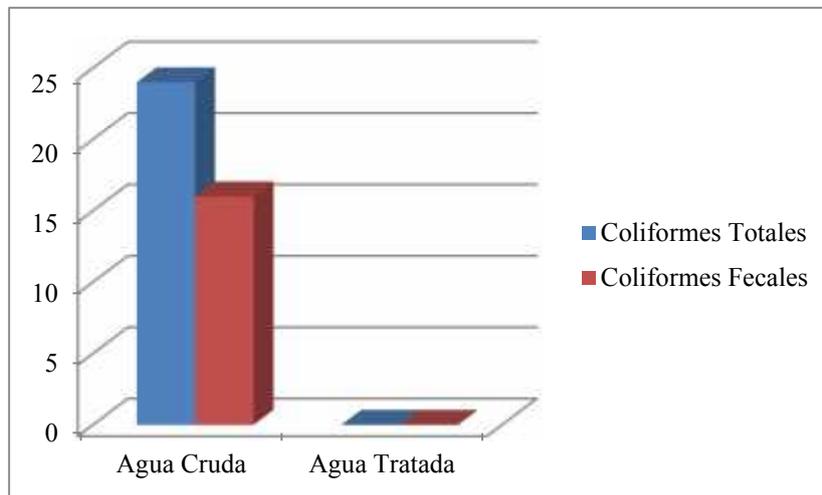
Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-21 Rendimiento de Potabilización, pH y Fosfatos**

Parámetro	Rendimiento
pH	92 %
Fosfatos	60 %

Realizado por: JARAMILLO, José

**Gráfico 3-4 Rendimiento Coliformes Totales y Coliformes Fecales**



	Agua Cruda	Agua Tratada
Coliformes Totales	24	0
Coliformes Fecales	16	0

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-22 Rendimiento de Potabilización,  
CT Y CF**

Parámetro	Rendimiento
Coliformes Totales	100 %
Coliformes Fecales	100 %

Realizado por: JARAMILLO, José

Con los datos de la caracterización físico – química y microbiológica del agua cruda y agua tratada, y el rendimiento obtenido del sistema de tratamiento se comprueba que el diseño ingenieril realizado es eficiente en cuanto a la secuencia de los dispositivos hidráulicos adoptados para potabilizar el agua de la Parroquia Monterrey, Cantón La Concordia de la provincia de Santo Domingo de los Tsáchilas.

### 3.3. Propuesta

Después de realizar las caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas de las diferentes muestras, se plantea el siguiente diseño de potabilización a implementar en la Parroquia Monterrey, cantón La Concordia para mejorar la calidad del agua:

**Gráfico 3-5 Propuesta Diseño de  
Tratamiento de Agua Potable**



Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.4. Análisis y discusión de resultados

De la caracterización físico - química y microbiológica del agua en la captación del Pozo 1 presentados en las tablas: 2.20 y 2.21, se determinó que el pH: 6.34, fosfatos: 0.264 mg/L, coliformes totales: 26 UFC/100 ml, coliformes fecales: 15 UFC/100 ml, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”.

De la caracterización físico – química y microbiológica del agua en la captación del Pozo 2 presentados en las tablas: 2.22 y 2.23, se determinó que el pH: 6.47, fosfatos: 0.263, coliformes totales: 22 UFC/100 ml, coliformes fecales: 16 UFC/100 ml, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”.

De la caracterización físico – química del agua en la captación del Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado presentado en la tabla 2.24, se determinó que los fosfatos: 0.233 mg/L, no cumplen con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”.

Con los parámetros físico, químico y microbiológico antes mencionados se realizaron pruebas de jarras con Policloruro de Aluminio (PAC) a nivel de laboratorio, con 3 % de PAC se disminuyeron los fosfatos y aumentó el pH, y para la eliminación de los coliformes fecales y totales se añadió Hipoclorito de Sodio como desinfectante al 0.3 mg/L, además al analizar el cloro residual se tiene un resultado de 0,8 mg/L siendo un valor aceptable debido a que el límite máximo permisible está entre 0,3 – 1,5 mg/L.

La situación final luego de haber aplicado el tratamiento químico presentado en la tabla 3.19, se determinó que el pH: 7.82 y fosfatos: 0.06 mg/L y con la adición del desinfectante presentado en la tabla 3.20, se determinó la ausencia de los coliformes totales y coliformes fecales, demostrando que tratamiento es el adecuado para que estos parámetros estén dentro de la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos.

Al analizar el gráfico 3.3 se considera que el proceso de potabilización es el adecuado, cuyo porcentaje de rendimiento de potabilización entre el agua cruda y el agua tratada presentados en la tabla 3.21 son; pH: 92 % y fosfatos: 60% de rendimiento.

Al analizar el gráfico 3.4 se aprecia que la dosificación de cloro es la correcta ya que elimina los coliformes totales y fecales, cuyo porcentaje de rendimiento se encuentra en la tabla 3.22; Coliformes Totales: 100% y Coliformes Fecales: 100 % de rendimiento.

### 3.5. Análisis económico

#### 3.5.1. Costo de inversión

Para los costos de inversión no se toma en cuenta el valor de las bombas sumergibles y de distribución, ya que en la captación de agua se encuentran instaladas.

**Tabla 3-23 Costo de Equipos y Accesorios**

Cantidad	Equipos/ Accesorios	Material	Capacidad/ Dimensiones	Costo unitario \$	Costo Total \$	
340 m	Tubería	PVC	2'	1.00/m	340	
6 m	Tubería	PVC	2 <sup>1/2</sup> '	1.20/m	7.20	
3	Codos 90°	PVC	2'	0.50	1.50	
3	Válvula Check	PVC	2 <sup>1/2</sup> '	15	45.00	
2	Válvula de Compuerta	PVC	2 <sup>1/2</sup> '	9	18.00	
1	Válvula de Bola	PVC	2 <sup>1/2</sup> '	5	5.00	
1	T	PVC	2'	1.00	1.00	
1	Verteder o Rectangu lar	Estructura	Hormigó n armado	0.311 m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	76.20
		Bomba Dosificadora PAC	-	-	-	1 500.00
1	Sediment ador Laminar	Estructura	Hormigó n armado	33.257 m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	8 147.97
		Placas planas	Asbesto - cemento	59 placas	16.00 c/u	944.00
1	Tanque de Desinfec ción	Estructura	Hormigó n armado	25.344 m <sup>3</sup>	245/m <sup>3</sup>	6 209.28
		Hipoclorado r por goteo	-	0.013 m <sup>3</sup>	-	100.00
<b>TOTAL</b>					<b>17 395.15</b>	

Realizado por JARAMILLO, José

**Tabla 3-24 Costo de Instalación Hidráulica  
y mano de obra**

Ítem	Costo \$
Instalación Hidráulica	1 000.00
Mano de obra	12 000.00
<b>TOTAL</b>	<b>13 000.00</b>

Realizado por: JARAMILLO, José

**Tabla 3-25 Costo Total de Inversión**

Ítem	Costo \$
Equipos y Accesorios	17 395.15
Instalación hidráulica y mano de obra	13 000.00
<b>TOTAL</b>	<b>30 395.15</b>

Realizado por: JARAMILLO, José

### 3.5.2. Costo de operación al día

**Tabla 3-26 Costos de operación al día**

Requerimientos	Dosis	Presentación	Costo por presentación \$	Costo Total \$
Policloruro de Aluminio (PAC)	0.892 L/día	Tambor de 250 L	211.69	0.76
Hipoclorito de Sodio (NaClO)	57.30 kg/día	Saco de 25 kg	4.30	9.86
			<b>TOTAL</b>	10.62

Realizado por: JARAMILLO, José

## CONCLUSIONES

1. Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica del agua que es consumida por los habitantes de la Parroquia Monterrey, expuesto en las tablas: 2.20, 2.21 (Pozo 1), 2.22, 2.23 (Pozo 2), y tabla 2.24 (Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado), donde se observó que la misma es poco aceptable para el consumo humano ya que al comparar los resultados de la caracterización con los límites máximos permisibles establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”, se identificó que varios parámetros se encontraban fuera de norma, mismos que se identifican en las tablas antes mencionadas.
2. Se estableció el sistema de tratamiento de agua más adecuado en base a varias pruebas de tratabilidad que se realizaron en el laboratorio de Análisis Técnicos de la Facultad de Ciencias de la ESPOCH,
3. Se determinó que de acuerdo a las pruebas de caracterización y a las de tratabilidad el sistema de tratamiento de agua potable constará de las siguientes etapas: un vertedero rectangular con resalto hidráulico, coagulación con policloruro de aluminio, sedimentación laminar y desinfección.
4. El sistema de potabilización se realizó en función del caudal de diseño, mediante ecuaciones de diseño se determinó que es de 12.8 L/s, el cual se distribuirá a una población futura de 6161 habitantes dentro de una proyección de veinte cinco años, datos que se pueden observar en la tabla 3.13.
5. Se realizó el diseño de la planta de potabilización de agua en base al aumento de pH, la remoción de fosfatos, coliformes totales y coliformes fecales. El proceso de tratamiento que se diseñó para cumplir con los requerimientos de calidad del agua para el consumo humano de la Parroquia Monterrey consta de un vertedero rectangular con resalto hidráulico, sedimentador laminar y tanque de desinfección, cuyas dimensiones calculadas se mencionan en las tablas de resultados
6. Se realizó la caracterización físico – química y microbiológica del agua después del tratamiento de potabilización, expuesto en las tablas 3.14 y 3.15, donde todos los parámetros analizados se encuentran dentro de los límites establecidos en la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006 “Agua Potable. Requisitos”, cuyo porcentaje de rendimiento de potabilización que brinda el sistema de tratamiento propuesto se mencionan en la tabla 3.19 y tabla 3.20, observándose un cambio notorio de las condiciones del agua cruda a agua tratada, cumpliendo con la Normativa que se rige en nuestro medio.

## RECOMENDACIONES

1. Aplicar el sistema de potabilización propuesto para mejorar la calidad del agua de la Parroquia Monterrey, para de esta manera mejorar el abastecimiento de agua.
2. En la construcción de la planta de tratamiento se debe considerar las dimensiones calculadas de las instalaciones a fin de que el sistema de tratamiento sea eficiente.
3. La planta de potabilización del agua debe ser construida de hormigón armado de alta resistencia y durabilidad, para que la planta resulte perdurable al paso del tiempo.
4. El policloruro de aluminio debe almacenarse en sacos resistentes contra daños físicos, en un lugar seco, alejado del agua y la humedad.
5. Realizar caracterizaciones físico – químicas y microbiológicas del agua periódicamente y sobre todo en época de invierno para obtener una base de datos que permita identificar la calidad del agua.
6. La dosificación de Policloruro de Aluminio (PAC), se podrá realizar por medio de dos métodos, mediante una bomba dosificadora o manualmente, exponer la respectiva capacitación e instrucciones al operario, de cuanto y como dosificar el PAC

## BIBLIOGRAFÍA

1. **APHA, AWWA, WPCF.** Standard Methods for Examination of Water and Wastewater. 17ª ed., Madrid. España. Díaz de Santos.1992, p.p. 208 – 225.
2. **AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION.** Agua, su Calidad y Tratamiento. México D.F. México Limusa. 1968, p.p. 1, 7-10, 178-182, 182-183.
3. **GRUPO FORMASELECT.** Contaminación de aguas y procesos de depuración, unidad potabilización del agua. Madrid. España. Limusa. 2007, p.p. 27-28.
4. **HERNÁNDEZ, A.** Calidad y Tratamiento del agua. 5ª ed., México D.F. México. Editorial Mc. Graw Hill. 2002, p.p. 325-328.
5. **ECUADOR, INSTITUTO ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN (INEN).** Norma Técnica: Agua Potable. Requisitos. Quito .Ecuador. INEN. 2006, p.p. 2-5.
6. **ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD (OMS).** Guías para la Calidad del agua potable. 3ª ed., Madrid. España. Editorial Macro. 2006, p.p. 14-147.
7. **ROMERO, J. A.** Purificación del Agua. 2ª ed., Bogotá. Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2006, p.p. 53-55, 73, 357-359.
8. **SIERRA, Carlos A.** Calidad del Agua, Evaluación y Diagnóstico. Bogotá – Colombia. Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería. 2011, p.p. 27-28, 29-30, 52-82.

## ANEXOS

### ANEXO A

#### FICHA TÉCNICA POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

	<b>FICHA TÉCNICA</b> <b>POLICLORURO DE ALUMINIO – PAC</b> <b>QUIMIPAC</b>	<b>FTP</b> <b>PAG. 1 DE 1</b> <b>VERSION: 1</b>
---	---	---

#### 1. PROPIEDADES

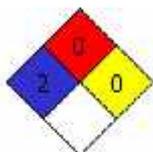
FÓRMULA:  $Al_n(OH)_m Cl_{3-n-m}$

SINÓNIMOS: PAC, QUIMIPAC

PESO MOLECULAR: 219 gramos/mol

#### 2. REGULACIONES

RIESGO ASOCIADO: Irritante, Corrosivo



#### 3. USOS PRINCIPALES

El policloruro de aluminio tiene excelentes resultados en el uso como coagulante y/o floculante en el tratamiento de aguas potables, industriales y residuales. Amplio uso en agua con turbiedades altas y aguas con elevado contenido de materia orgánica. En la industria del papel se utiliza como agente de retención y para encolado en la fabricación del papel. Tiene aplicación en la industria textil, cerámica, extracción de petróleo y cosmética.

#### 4. PROPIEDADES TÍPICAS

Apariencia	Sólido
Amarillo	
pH (1% Sln)	3,5 – 5
Basicidad %	75 – 90
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	30±1
Insolubles %	Máx. 5

#### 5. MANEJO Y ALMACENAMIENTO

El PAC no es tóxico pero deben ser manejados como ligeramente corrosivos; se debe utilizar guantes de caucho, gafas de seguridad y overol.

El PAC es un producto higroscópico por lo que se debe almacenar en lugares frescos, con mínima humedad y buena ventilación.

El producto se comercializa en bolsas de 25 Kg.

#### 6. PRECAUCIÓN

Usar los elementos de seguridad: guantes, gafas y protección respiratoria durante la manipulación del producto.

En caso de contacto con la piel y ojos lavar con abundante agua.

En caso de ingestión lavar la boca inmediatamente y suministrar 500 ml de agua.

En caso de inhalación salir del área y buscar un área con aire fresco.

En caso de paro respiratorio se debe suministrar oxígeno. Obtener ayuda médica inmediatamente para todos los casos.

En caso de derrame, recoja el residuo con precaución y lave la zona contaminada con agua.

ANEXO B

FICHA TÉCNICA HIPOCLORITO DE SODIO (ClO<sub>Na</sub>)

	<h1>QUIMPAC Ecuador S.A.</h1>	
	Cont. Especial - Autorización SRI: 1103636762 RUC: 0990344760001 Calif. CONSEP: 09-0866-I	FICHA TÉCNICA N°33 FECHA DE REVISIÓN: ENERO 2013

**NOMBRE COMERCIAL DEL PRODUCTO:** Hipoclorito de Sodio  
**NOMBRE TÉCNICO O QUÍMICO:** Hipoclorito de Sodio en solución  
**FORMULA QUÍMICA:** ClO<sub>Na</sub>

**ESPECIFICACIONES TÉCNICAS:**

REQUISITOS	LÍMITES		UNIDADES DE MEDIDA
	Mínimo	Máximo	
Contenido de cloro disponible	114	-	g/l
Conversión de contenido de cloro disponible a % de hipoclorito de sodio	10.50	-	%
Conversión de contenido de cloro disponible a % de cloro activo	10.00	-	%
Densidad a 25 °C	1.140	-	g/cm <sup>3</sup>
Contenido de álcali (NaOH)	-	15	g/l
Contenido de sedimentos	-	0.15	%
Estabilidad *	-	15	g/l

**PRESENTACIONES**

ENVASE	MATERIAL	PESO NETO	UNIDAD
Tambores de 55 galones	Plástico	250	Kg
Botellones al granel	Plástico/ fibra de vidrio	**	Kg

\* NOTA: Pérdida de cloro disponible luego de 14 días.  
 \*\* CONSULTAR

**NORMA INEN 1583 – 1987 – 10**

**CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO:**

- Use recipientes plásticos, cerrados herméticamente
- No almacenar en envases metálicos, ni en envases plásticos con tapas metálicas
- No se puede almacenar en recipientes de acero inoxidable.
- Coloque avisos en el vehículo indicando carga tóxica y corrosiva
- Bodegas con ventilación. Consérvese en lugar fresco, no exponer a luz solar directa. Mantenga los recipientes cerrados. Evite golpearlos
- Apta para el uso en planta de alimentos.
- Asegúrese de usar recipientes limpios al trasvasar
- Los recipientes vacíos de este material pueden ser peligrosos por cuanto pueden tener residuos (vapores, líquidos).

Guayaquil: Km 16½ Vía a Daule – Av. Roosevelt y Calle Cobre PBX: 2-162-660 FAX: 2732344 Website: <a href="http://www.quimpac.com.ec">www.quimpac.com.ec</a>	Quito: Panamericana Sur Km. 14½ Calle H y Ja Transversal Parque Industrial Sur PBX: 2693501 Fax: 3650869 Correo Electrónico: <a href="mailto:ventas@quimpac.com.ec">ventas@quimpac.com.ec</a>
---	---

## ANEXO C

### PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE POLICLORURO DE ALUMINIO (PAC)

La dosificación del policloruro de aluminio se realizará por vía húmeda mediante el siguiente procedimiento:

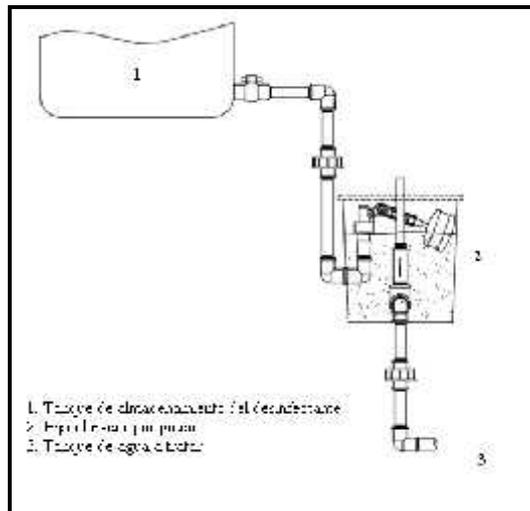
- 1.- Pesar la cantidad adecuada de policloruro de aluminio.
- 2.- Preparar la solución de policloruro de aluminio al 3%.
- 3.- En el caso que sea añadido el policloruro de aluminio por medio de una bomba, calibrar la bomba dosificadora y mantenerla siempre calibrada para asegurar siempre la exactitud de la dosificación.
- 4.- Bombear la solución de PAC mediante la bomba dosificadora hasta el punto de mezcla que es el resalto hidráulico.
- 5.- Pero si es el caso que se añade manualmente el encargado lo debe hacer justo en el punto de mezcla que es el resalto hidráulico.

## ANEXO D

### PROCEDIMIENTO PARA LA DOSIFICACIÓN DE CLORO

La cantidad de cloro que se va a dosificar equivale a la demanda de cloro a la que debe adicionarse la cantidad de cloro residual esperada en el extremo de la red de distribución de agua; en este caso, el hipoclorito de sodio se aplicará al agua con una dosificación de 0.3 mg/L.

El cloro se lo dosificará mediante un hipoclorador por goteo, permitiendo transferir la solución directamente del tanque de almacenamiento del agua, el mismo que estará ubicado encima del tanque de almacenamiento, protegido con una caseta para evitar el deterioro del cloro.



Para la instalación del hipoclorador por goteo se seguirán los siguientes pasos:

- 1.- Conectar la entrada del dosificador a la salida del tanque de almacenamiento del desinfectante.
- 2.- Conectar la tubería de alimentación desde el dosificador al punto de aplicación, es decir, al tanque de agua que se va a desinfectar.
- 3.- Asegurarse que el control de dosificación esté cerrado. Luego abrir la llave del tanque de almacenamiento del desinfectante para llenar el dosificador.
- 4.- Una vez lleno el dosificador, girar el dispositivo de control hasta obtener el caudal de aplicación del desinfectante. Hasta obtener la cantidad deseada de desinfectante se puede ayudar con un recipiente de volumen conocido y un cronómetro.



**ANEXO F**

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 Teléfono: 2998200 ext 112 Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 30 de septiembre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 1  
 Localidad: Parroquia Monterrey, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**

Código: LAT 318-14

Determinaciones	Unidades	* Límites	Resultados
Color	med. CPTU	< 15	0.00
pH	Unid.	6.5 - 8.5	6.69
Conductividad	µ S/cm/cm	< 1250	193.00
Turbiedad	UNT	3	0.04
Cloruro	mg/L	250	2.1
Sulfato	mg/L	500	168.0
Calcio	mg/L	70	22.0
Magnesio	mg/L	10 - 50	21.3
Alcalinidad	mg/L	200 - 300	200.0
Bicarbonatos	mg/L	150 - 500	181.0
Sodio	mg/L	700	2.0
Amonio	mg/L	2.00	0.004
Nitrato	mg/L	0.01	0.006
Nitrito	mg/L	10	0.009
Cianuro	mg/L	0.10	0.020
Fenoles	mg/L	0.1	0.007
Fenoles Totales	mg/L	0.20	0.2
Sulfato Reducible	mg/L	1000	250.0
Sulfato Sulfonico	mg/L	500	52.0

\* Valores referenciados para agua de consumo humano (Norma INEN 1108-2004)

Observaciones: Valores de pH y fósforo fuera de norma.

Asesorante:  
  
 Dra. Gina Álvarez B.  
 RASP. LAB. ANALISIS TECNICOS

2.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 Teléfono: 2998200 ext 112 Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 30 de septiembre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 2  
 Localidad: Parroquia Monterrey, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**

Código: LAT 319-14

Determinaciones	Unidades	* Límites	Resultados
Color	med. CPTU	< 15	7.00
pH	Unid.	6.5 - 8.5	6.20
Conductividad	µ S/cm/cm	< 1250	271.00
Turbiedad	UNT	3	0.04
Cloruro	mg/L	250	6.5
Sulfato	mg/L	500	136.0
Calcio	mg/L	70	23.5
Magnesio	mg/L	10 - 50	17.3
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	200.0
Bicarbonatos	mg/L	200 - 500	203.0
Sodio	mg/L	700	3.0
Amonio	mg/L	2.00	0.002
Nitrato	mg/L	0.01	0.002
Nitrito	mg/L	10	0.000
Fluoruro	mg/L	0.20	0.030
Fenoles	mg/L	0.1	0.370
Fenoles Totales	mg/L	< 1.0	0.27
Sulfato Sulfonico	mg/L	500	200.0
Sulfato Reducible	mg/L	1000	82.0

\* Valores referenciados para agua de consumo humano (Norma INEN 1108-2004)

Observaciones: Valores de pH y fósforo fuera de norma.

Asesorante:  
  
 Dra. Gina Álvarez B.  
 RASP. LAB. ANALISIS TECNICOS

1.-

3.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS POZO 1 Y POZO 2, 1ª SEMANA			
2.- Caracterización Físico-Química Pozo 1, 1ª semana.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  JOSÉ B. JARAMILLO B.	<table border="1"> <tr> <td>Lámina</td> <td>Escala</td> <td>Fecha</td> </tr> </table>	Lámina	Escala	Fecha
Lámina	Escala	Fecha				
3.- Caracterización Físico-Química Pozo 2, 1ª semana.						

ANEXO G

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 Teléfono: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 07 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 1  
 Localidad: Parroquia Montezuma, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 326-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co. Pt	< 15	9,60
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,31
Conductividad	µ S/cm/cm	< 1250	198,08
Turbiedad	UNT	5	0,03
Cloruro	mg/L	333	11,3
Dureza	mg/L	300	183,0
Calcio	mg/L	75	4,3
Magnesio	mg/L	10 - 50	8,4
Alcalinidad	mg/L	200 - 300	133,6
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	133,6
Sulfatos	mg/L	500	3,6
Amoníaco	mg/L	1,00	0,040
Nitrato	mg/L	0,01	0,001
Nitrogeno	mg/L	10	0,400
Fluoruro	mg/L	0,50	0,001
Fosforo	mg/L	0,2	0,000
Fierro	mg/L	< 1,5	0,15
Sólidos Totales	mg/L	1000	172,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	70,3

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEN 1198:2004)

Observaciones: Valores de pH y límites fuera de norma.  
 Atentamente,  
  
 Dra. Gina Álvarez B.  
 RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS

4.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 Teléfono: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 07 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 2  
 Localidad: Parroquia Montezuma, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 321-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co. Pt	< 15	2,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,18
Conductividad	µ S/cm/cm	< 1200	199,40
Turbiedad	UNT	5	0,40
Cloruro	mg/L	333	8,3
Dureza	mg/L	300	200,0
Calcio	mg/L	70	64,0
Magnesio	mg/L	10 - 10	0,7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	740,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	233,6
Sulfatos	mg/L	500	2,2
Amoníaco	mg/L	1,00	0,000
Nitrato	mg/L	0,01	0,001
Nitrogeno	mg/L	10	0,200
Hierro	mg/L	0,50	0,010
Fosforo	mg/L	0,2	0,200
Fierro	mg/L	< 1,1	0,27
Sólidos Totales	mg/L	1000	178,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	81,0

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEN 1198:2004)

Observaciones: Valores de pH y límites fuera de norma.  
 Atentamente,  
  
 Dra. Gina Álvarez B.  
 RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS

5.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 Teléfono: 2998200 ext 332 Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 07 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado  
 Localidad: Parroquia Montezuma, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 322-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co. Pt	< 15	1,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,40
Conductividad	µ S/cm/cm	< 1200	195,30
Turbiedad	UNT	5	0,10
Cloruro	mg/L	333	7,1
Dureza	mg/L	300	202,0
Calcio	mg/L	70	38,4
Magnesio	mg/L	10 - 50	11,4
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	250,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	163,2
Sulfatos	mg/L	500	2,0
Amoníaco	mg/L	1,00	0,170
Nitrato	mg/L	0,01	0,000
Nitrogeno	mg/L	10	0,000
Fierro	mg/L	0,50	0,020
Fosforo	mg/L	0,2	0,10
Sólidos Totales	mg/L	1000	172,0
Sólidos Disueltos	mg/L	500	77,5

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEN 1198:2004)

Observaciones: Valores de pH y límites fuera de norma.  
 Atentamente,  
  
 Dra. Gina Álvarez B.  
 RESP. LAB. ANALISIS TÉCNICOS

6.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS POZO 1, POZO 2 Y HOMOGENIZADO 2ª SEMANA		
4.- Caracterización Físico-Química Pozo 1, 2ª semana.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar	FACULTAD DE CIENCIAS	Lámina	Escala	Fecha
5.- Caracterización Físico-Química Pozo 2, 2ª semana.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar	ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA			
6.- Caracterización Físico-Química Homogenizado, 2ª Semana	<input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	JOSÉ B. JARAMILLO B.			

Created with



download the free trial online at nitropdf.com/professional

**ANEXO H**

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703    Teléfono: 2998200 ext 332    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 14 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 1  
 Localidad: Parroquia Montarray, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 324-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co/Pt	< 15	2,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,50
Conductividad	µSiemens/cm	< 750	193,10
Dureza total	mg/L	5	3,11
Cloruros	mg/L	250	1,11
Fluoruro	mg/L	300	1,00
Calcio	mg/L	70	25,6
Magnesio	mg/L	10 - 30	2,9
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	150,6
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	151,6
Sulfatos	mg/L	300	2,3
Amoníaco	mg/L	1,00	0,024
Nitratos	mg/L	0,05	0,001
Nitritos	mg/L	0,5	0,000
Fósforo	mg/L	0,50	0,010
Fierro	mg/L	0,1	0,270
Cianuros	mg/L	< 1,5	0,13
Sulfido Total	mg/L	1000	0,000
Cálculo Cloruros	mg/L	300	79,7

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEA 2500-2004)

Observaciones: Valores de pH y sulfatos fuera de norma.

Atestamos:  
  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

7.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703    Teléfono: 2998200 ext 332    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 14 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 2  
 Localidad: Parroquia Montarray, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 324-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co/Pt	< 15	4,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,50
Conductividad	µSiemens/cm	< 750	203,40
Dureza total	mg/L	5	6,11
Cloruros	mg/L	250	6,7
Fluoruro	mg/L	300	17,3
Calcio	mg/L	70	41,4
Magnesio	mg/L	10 - 30	11,7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100,1
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	112,3
Sulfatos	mg/L	300	2,4
Amoníaco	mg/L	1,00	0,101
Nitratos	mg/L	0,05	0,001
Nitritos	mg/L	0,5	0,000
Fósforo	mg/L	0,50	0,010
Fierro	mg/L	0,1	0,010
Cianuros	mg/L	< 1,5	0,104
Sulfido Total	mg/L	1000	0,000
Cálculo Cloruros	mg/L	300	79,7

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEA 2500-2004)

Observaciones: Valores de sulfatos fuera de norma.

Atestamos:  
  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

8.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703    Teléfono: 2998200 ext 332    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 14 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable, Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado  
 Localidad: Parroquia Montarray, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 324-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	med Co/Pt	< 15	2,00
pH	Unid	6,5 - 8,5	6,46
Conductividad	µSiemens/cm	< 750	193,10
Dureza total	mg/L	5	0,11
Cloruros	mg/L	250	0,9
Fluoruro	mg/L	300	112,0
Calcio	mg/L	70	44,9
Magnesio	mg/L	10 - 30	0,7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	270,0
Bicarbonatos	mg/L	250 - 300	274,4
Sulfatos	mg/L	300	4,0
Amoníaco	mg/L	1,00	0,001
Nitratos	mg/L	0,05	0,001
Nitritos	mg/L	0,5	1,000
Fósforo	mg/L	0,10	0,010
Fierro	mg/L	0,1	0,114
Cianuros	mg/L	< 1,5	0,17
Sulfido Total	mg/L	1000	0,000
Cálculo Cloruros	mg/L	300	79,7

\* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico (Norma INEA 2500-2004)

Observaciones: Valores de pH y sulfatos fuera de norma.

Atestamos:  
  
 Dra. Gina Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

9.-

<p><b>NOTAS</b></p> <p>7.- Caracterización Físico-Química Pozo 1, 3ª semana.                  8.- Caracterización Físico-Química Pozo 2, 3ª semana.                  9.- Caracterización Físico-Química Homogenizado, 3ª Semana</p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por Calificar    <input checked="" type="checkbox"/> Para Información</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	<p><b>RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS POZO 1, POZO 2 y HOMOGENIZADO 3ª SEMANA</b></p>		
			<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

ANEXO I

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 05-01-0703    Telefax: 2998200 ext 312    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 21 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 1  
 Localidad: Parroquia Montanoes, cantón La Concordia  
**TEXAS DE GRADO**  
 Código: LAT 128-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	unf. Co/Pt	< 15	7.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.57
Conductividad	µS/cm/cm	< 750	195.70
Dureza total	Ca <sup>++</sup>	3	0.01
Cloruros	mg/L	250	0.0
Nitratos	mg/L	50	717.0
Sulfatos	mg/L	70	47.6
Aluminio	mg/L	10 - 11	77.7
Alcalinidad	mg/L	270 - 300	100.0
Acidometría	mg/L	270 - 300	100.1
Sulfato	mg/L	30	2.1
Amonio	mg/L	1.00	0.022
Nitrito	mg/L	0.0	0.00
Nitrato	mg/L	50	0.300
Cloro	mg/L	0.10	0.070
Cobalto	mg/L	1.7	0.30
Plata	mg/L	< 1.1	0.01
Mercurio Total	mg/L	1000	44.0
Sulfato Dioxido	mg/L	370	70.0

\* Valores representativos para aguas de consumo doméstico (Norma NEN 128-2014)

Observaciones: Valores de estudio fuera de norma.  
 Autorizada:  
  
 Dra. Glis Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

10.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 05-01-0703    Telefax: 2998200 ext 312    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 21 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 2  
 Localidad: Parroquia Montanoes, cantón La Concordia  
**TEXAS DE GRADO**  
 Código: LAT 127-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	unf. Co/Pt	< 15	1.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.00
Conductividad	µS/cm/cm	< 750	203.00
Dureza total	Ca <sup>++</sup>	3	0.00
Cloruros	mg/L	250	7.7
Nitratos	mg/L	50	178.0
Calcio	mg/L	30	31.2
Magnesio	mg/L	30 - 50	2.4
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	240.0
Acidometría	mg/L	250 - 300	240.7
Sulfato	mg/L	300	3.6
Amonio	mg/L	1.00	0.024
Nitrito	mg/L	0.00	0.00
Nitrato	mg/L	50	0.300
Cloro	mg/L	0.10	0.070
Cobalto	mg/L	1.7	0.30
Plata	mg/L	< 1.1	0.01
Mercurio Total	mg/L	1000	152.0
Sulfato Dioxido	mg/L	370	80.0

\* Valores representativos para aguas de consumo doméstico (Norma NEN 128-2014)

Observaciones: Valores de estudio fuera de norma.  
 Autorizada:  
  
 Dra. Glis Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

11.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703    Telefax: 2998200 ext 113    Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de análisis: 21 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado  
 Localidad: Parroquia Montanoes, cantón La Concordia  
**TEXAS DE GRADO**  
 Código: LAT 128-14

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	unf. Co/Pt	< 15	7.00
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.53
Conductividad	µS/cm/cm	< 750	180.70
Dureza total	Ca <sup>++</sup>	3	0.29
Cloruros	mg/L	250	0.0
Nitratos	mg/L	50	100.0
Calcio	mg/L	30	49.0
Magnesio	mg/L	30 - 50	0.7
Alcalinidad	mg/L	270 - 300	100.0
Acidometría	mg/L	270 - 300	100.2
Sulfato	mg/L	300	3.0
Amonio	mg/L	1.00	0.022
Nitrito	mg/L	0.00	0.00
Nitrato	mg/L	50	0.300
Cloro	mg/L	0.10	0.070
Cobalto	mg/L	1.7	0.30
Plata	mg/L	< 1.1	0.01
Mercurio Total	mg/L	1000	12.0
Sulfato Dioxido	mg/L	370	77.2

\* Valores representativos para aguas de consumo doméstico (Norma NEN 128-2014)

Observaciones: Valores de estudio fuera de norma.  
 Autorizada:  
  
 Dra. Glis Álvarez R.  
 RESP. LAB. ANALISIS TECNICOS

12.-

<p><b>NOTAS</b></p> <p>10.- Caracterización Físico-Química Pozo 1, 4ª semana.</p> <p>11.- Caracterización Físico-Química Pozo 2, 4ª semana.</p> <p>12.- Caracterización Físico-Química Homogenizado, 4ª Semana.</p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p> <p><input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar</p> <p><input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar</p> <p><input type="checkbox"/> Por Calificar    <input checked="" type="checkbox"/> Para Información</p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p> <p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	<p><b>RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS POZO 1, POZO 2 y HOMOGENIZADO 4ª SEMANA</b></p>		
			<p>Lámina</p>	<p>Escala</p>	<p>Fecha</p>

Created with



download the free trial online at [nitropdf.com/professional](http://nitropdf.com/professional)

**ANEXO J**

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 | Telefono: 2998200 ext. 132 | Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de emisión: 28 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 1  
 Localidad: Parroquia Montecruz, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 330-14

Determinaciones	Unidades	Normas	Resultados
Color	mg/l CaO/l	< 15	1,00
pH	Unid.	6,5 - 8,5	6,67
Conductividad	µS/cm	< 1.200	238,60
Turbiedad	NTU	5	0,92
Cloruros	mg/l	750	8,9
Sulfatos	mg/l	300	234,0
Cálculo	mg/l	70	34,9
Hierro total	mg/l	10 - 50	1,9
Aluminio total	mg/l	200 - 500	238,8
Bicarbonatos	mg/l	200 - 300	234,0
Dureza	mg/l	200	1,7
Amonio	mg/l	1,00	0,091
Nitrito	mg/l	0,05	0,006
Nitrato	mg/l	10	0,336
Molibdeno	mg/l	0,10	0,016
Fenoles	mg/l	0,1	0,290
Fenoles oxid.	mg/l	< 1,5	0,01
Sulfato Total	mg/l	1000	144,0
Sulfato Sulfato	mg/l	500	61,0

\* Valores referenciales para agua de consumo doméstico (Norma NEN 1160:2003)

Observaciones: Valores de fosfatos fuera de norma.  
 Acreditación:   
 Dra. Giss Alvarez R.  
 RNP L.A.E. ANALISIS TECNICOS

13.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 | Telefono: 2998200 ext. 132 | Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de emisión: 28 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 2  
 Localidad: Parroquia Montecruz, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 330-14

Determinaciones	Unidades	Normas	Resultados
Color	mg/l CaO/l	< 15	2,85
pH	Unid.	6,5 - 8,5	6,69
Conductividad	µS/cm	< 1.200	190,69
Turbiedad	NTU	5	1,66
Cloruros	mg/l	750	8,9
Sulfatos	mg/l	300	234,0
Cálculo	mg/l	70	14,1
Hierro total	mg/l	10 - 50	11,1
Aluminio total	mg/l	200 - 500	240,0
Bicarbonatos	mg/l	200 - 300	244,0
Dureza	mg/l	200	7,0
Amonio	mg/l	1,00	0,039
Nitrito	mg/l	0,05	0,009
Nitrato	mg/l	10	0,606
Fenoles	mg/l	0,10	0,019
Fenoles oxid.	mg/l	1,5	0,191
Sulfato Total	mg/l	1000	211,7
Sulfato Sulfato	mg/l	500	81,0

\* Valores referenciales para agua de consumo doméstico (Norma NEN 1160:2003)

Observaciones: Valores de fosfatos fuera de norma.  
 Acreditación:   
 Dra. Giss Alvarez R.  
 RNP L.A.E. ANALISIS TECNICOS

14.-

**ESPOCH**  
**LABORATORIO DE ANALISIS TECNICOS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS**  
 Casilla 06-01-4703 | Telefono: 2998200 ext. 132 | Riobamba - Ecuador  
**INFORME DE ANALISIS FISICO-QUIMICO DE AGUAS**  
 Solicitado por: Sr. José Jaramillo B.  
 Fecha de emisión: 28 de octubre del 2014  
 Tipo de muestra: Agua Potable Pozo 1 y Pozo 2 Homogenizado  
 Localidad: Parroquia Montecruz, cantón La Concordia  
**TESIS DE GRADO**  
 Código: LAT 330-14

Determinaciones	Unidades	Normas	Resultados
Color	mg/l CaO/l	< 15	1,00
pH	Unid.	6,5 - 8,5	6,74
Conductividad	µS/cm	< 1.200	252,30
Turbiedad	NTU	5	6,10
Cloruros	mg/l	750	13,0
Sulfatos	mg/l	300	710,0
Cálculo	mg/l	70	37,0
Hierro total	mg/l	10 - 50	28,3
Aluminio total	mg/l	200 - 500	240,0
Bicarbonatos	mg/l	200 - 300	244,0
Dureza	mg/l	200	1,7
Amonio	mg/l	1,00	0,042
Nitrito	mg/l	0,05	0,001
Nitrato	mg/l	10	0,200
Molibdeno	mg/l	0,10	0,019
Fenoles	mg/l	0,1	0,099
Fenoles oxid.	mg/l	< 1,5	0,12
Sulfato Total	mg/l	1000	100,0
Sulfato Sulfato	mg/l	500	77,0

\* Valores referenciales para agua de consumo doméstico (Norma NEN 1160:2003)

Observaciones: Valores de fosfatos fuera de norma.  
 Acreditación:   
 Dra. Giss Alvarez R.  
 RNP L.A.E. ANALISIS TECNICOS

15.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	RESULTADOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS POZO 1, POZO 2 y HOMOGENIZADO 5ª SEMANA						
13.- Caracterización Físico-Química Pozo 1, 5ª semana. 14.- Caracterización Físico-Química Pozo 2, 5ª semana. 15.- Caracterización Físico-Química Homogenizado, 5ª Semana.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA JOSÉ B. JARAMILLO B.	<table border="1"> <tr> <th>Límina</th> <th>Escala</th> <th>Fecha</th> </tr> <tr> <td> </td> <td> </td> <td> </td> </tr> </table>	Límina	Escala	Fecha			
Límina	Escala	Fecha							

ANEXO K

SAQMIC  
Servicios de Análisis Químico y Microbiológico en Agua y Alimentos

CÓDIGO 011-01

CLIENTE: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN: Morona La Conchosa TELEFONO: 033330101  
TIPO DE MUESTRA: Agua de pozo 1  
FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de Septiembre de 2014  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 23 de Septiembre de 2014

EXAMEN FÍSICO  
COLOR: Incoloro  
OLOR: Indefinido  
ASPECTO: Líquido de material blanco

PARAMETROS	METODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformos totales (CFU/100ml)	Filtración por membrana	-	20
Coliformos fecales (CFU/100ml)	Filtración por membrana	0	0

FECHA DE ANÁLISIS: 23 de Septiembre de 2014  
FECHA DE ENTREGA: 23 de Octubre de 2014  
RESPONSABLES:  
Dr. Ilián Álvarez B. Dr. Fabián Vela

16.-

SAQMIC  
Servicios de Análisis Químico y Microbiológico en Agua y Alimentos

CÓDIGO 011-01

CLIENTE: ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
DIRECCIÓN: Morona La Conchosa TELEFONO: 033330101  
TIPO DE MUESTRA: Agua de pozo 2  
FECHA DE RECEPCIÓN: 23 de Septiembre de 2014  
FECHA DE INICIO DE ANÁLISIS: 23 de Septiembre de 2014

EXAMEN FÍSICO  
COLOR: Incoloro  
OLOR: Indefinido  
ASPECTO: Líquido de material blanco

PARAMETROS	METODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformos totales (CFU/100ml)	Filtración por membrana	-	20
Coliformos fecales (CFU/100ml)	Filtración por membrana	0	0

FECHA DE ANÁLISIS: 23 de Septiembre de 2014  
FECHA DE ENTREGA: 23 de Octubre de 2014  
RESPONSABLES:  
Dr. Ilián Álvarez B. Dr. Fabián Vela

17.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA JOSÉ B. JARAMILLO B.	RESULTADOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS DEL AGUA CRUDA POZO 1 Y POZO 2
16.- Resultado análisis microbiológico del agua cruda del pozo 1.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar		Lámina   Escala   Fecha
17.- Resultado análisis microbiológico del agua cruda del pozo 2.	<input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información		



**ANEXO M**



19.-



20.-



21.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  FACULTAD DE CIENCIAS  ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA  JOSÉ B. JARAMILLO B.	TRATAMIENTO DEL AGUA CRUDA EN EL LABORATORIO		
19.- Solución del PAC al 3%. 20.- Prueba de Jarras con PAC. 21.- Sedimentación del PAC.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información		Lámina	Escala	Fecha

**ANEXO N**



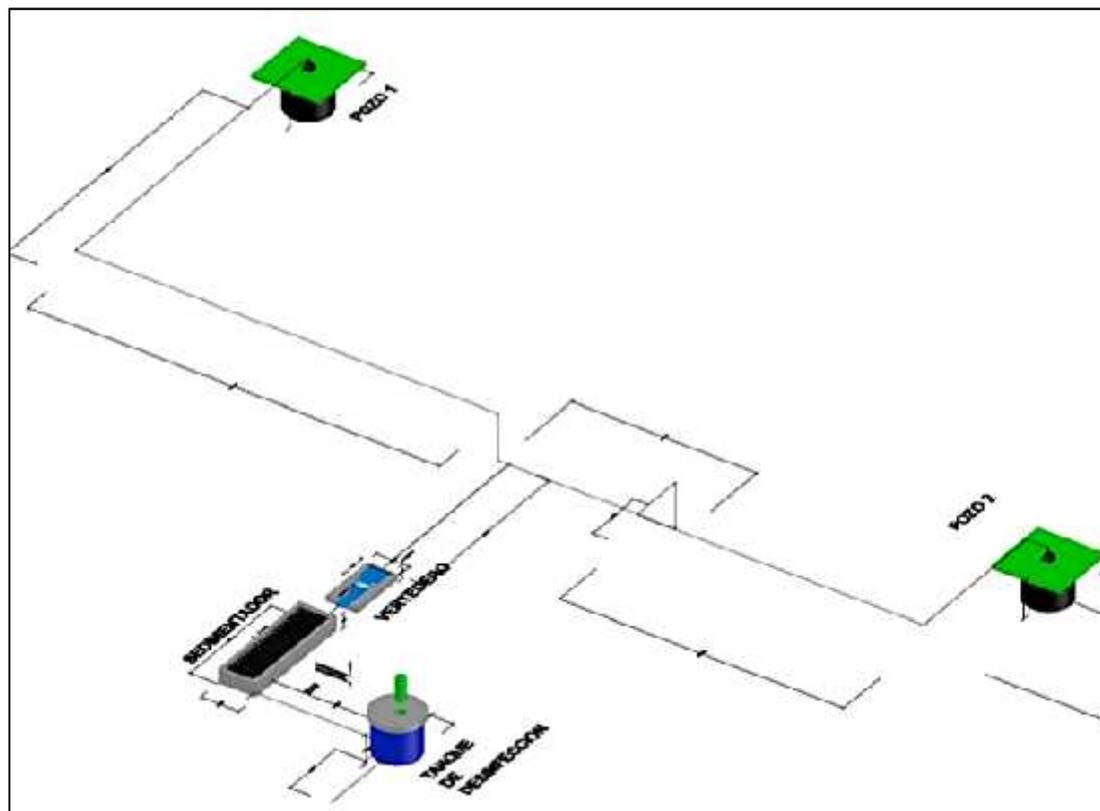
22.-



23.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	<p style="text-align: center;">ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</p> <p style="text-align: center;">FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p style="text-align: center;">ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p style="text-align: center;">JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	FUENTES DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, POZOS		
<p>22.- Pozo 1.</p> <p>23.- Pozo 2.</p>	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información		Lámina	Escala	Fecha

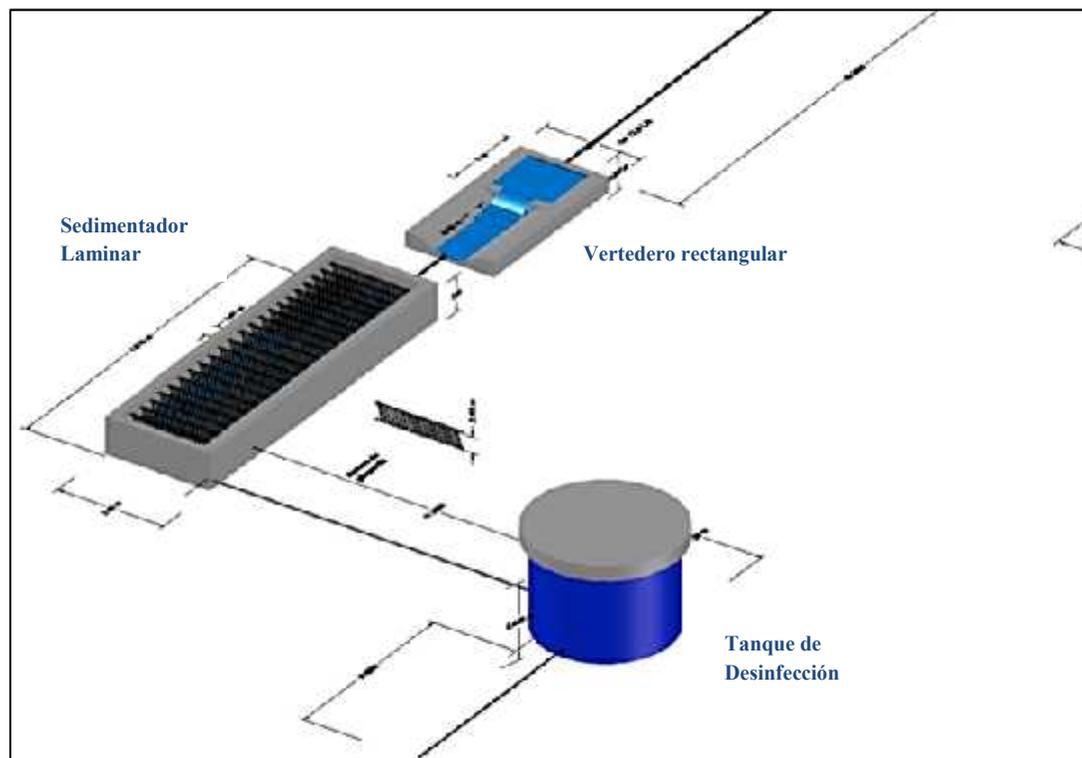
**ANEXO O**



24.-

<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</b></p>		
<p>24.- Diseño de Planta de tratamiento de agua potable, vista isométrica.</p>	<p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input checked="" type="checkbox"/> Para Información                 </p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	<p>Lámina</p>	<p>Escala</p>	<p>Fecha</p>

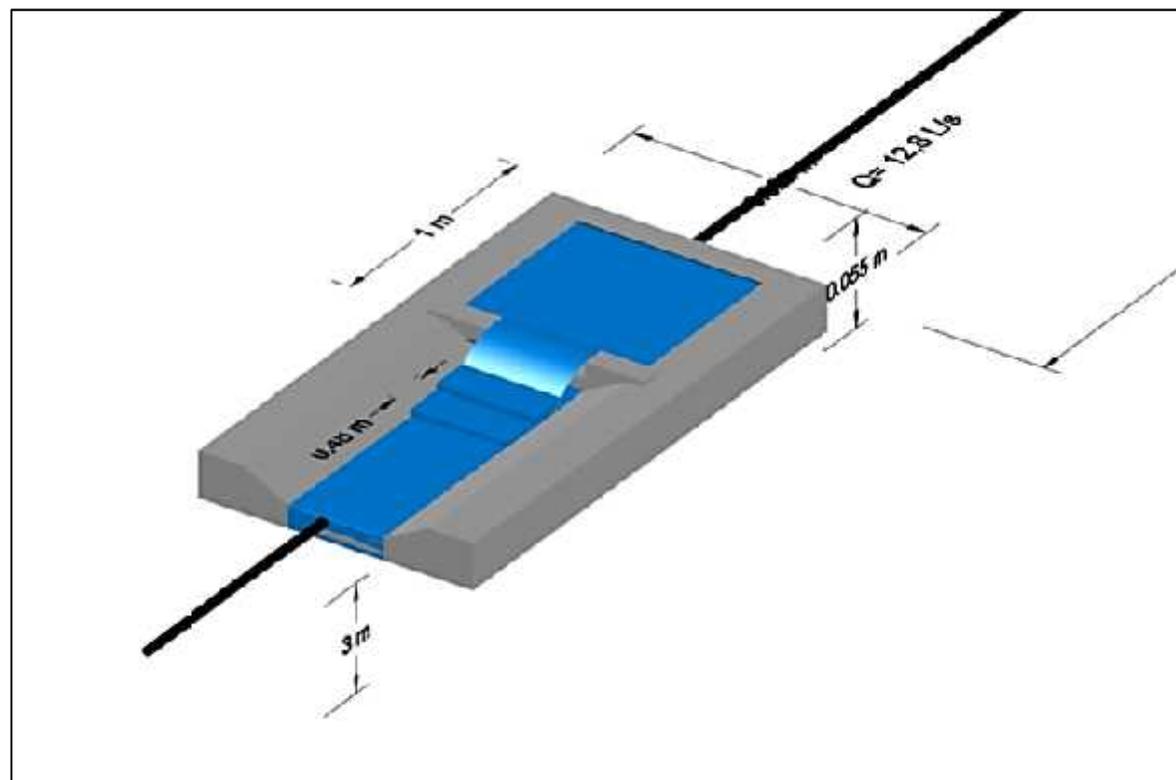
**ANEXO P**



25.-

<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</b></p>		
<p>25.- Etapas de la planta de tratamiento de agua potable: vertedero rectangular con resalto hidráulico, sedimentador laminar y tanque de desinfección, vista desde arriba.</p>	<p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input checked="" type="checkbox"/> Para Información         </p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	<p><b>Lámina</b></p>	<p><b>Escala</b></p>	<p><b>Fecha</b></p>

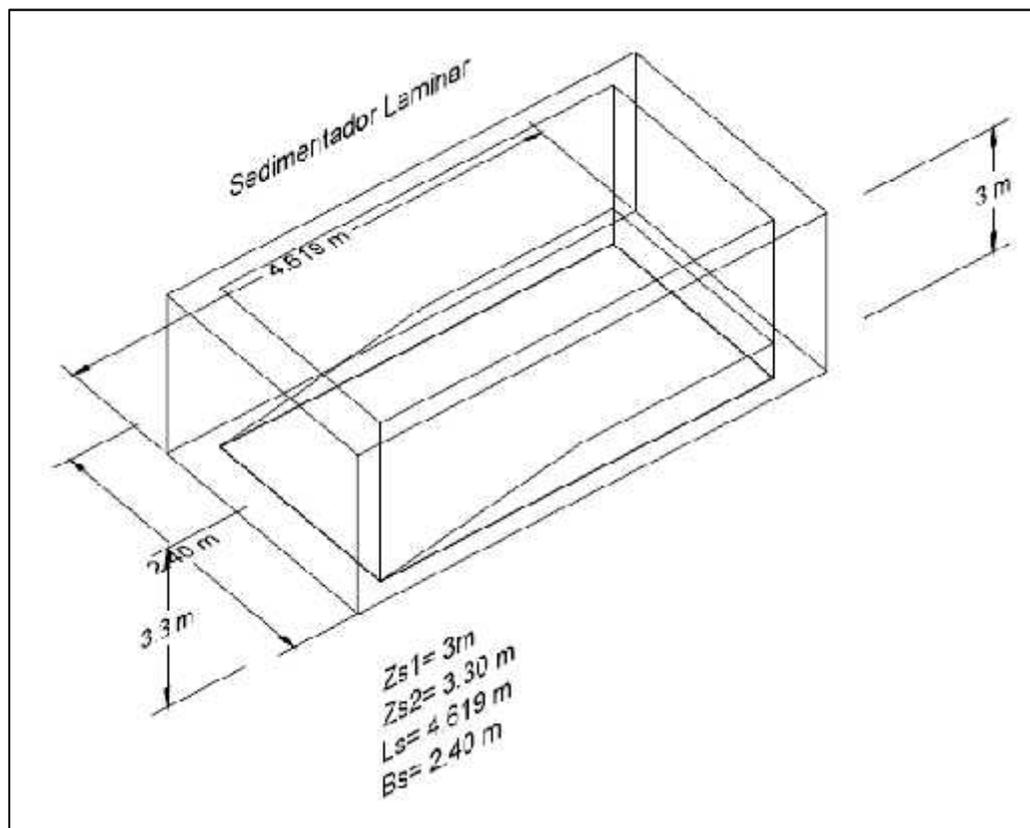
ANEXO Q



26.-

NOTAS	CATEGORÍA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO	DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE		
26.- Vertedero rectangular con resalto hidráulico, vista isométrica.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA JOSÉ B. JARAMILLO B.	Lámina	Escala	Fecha

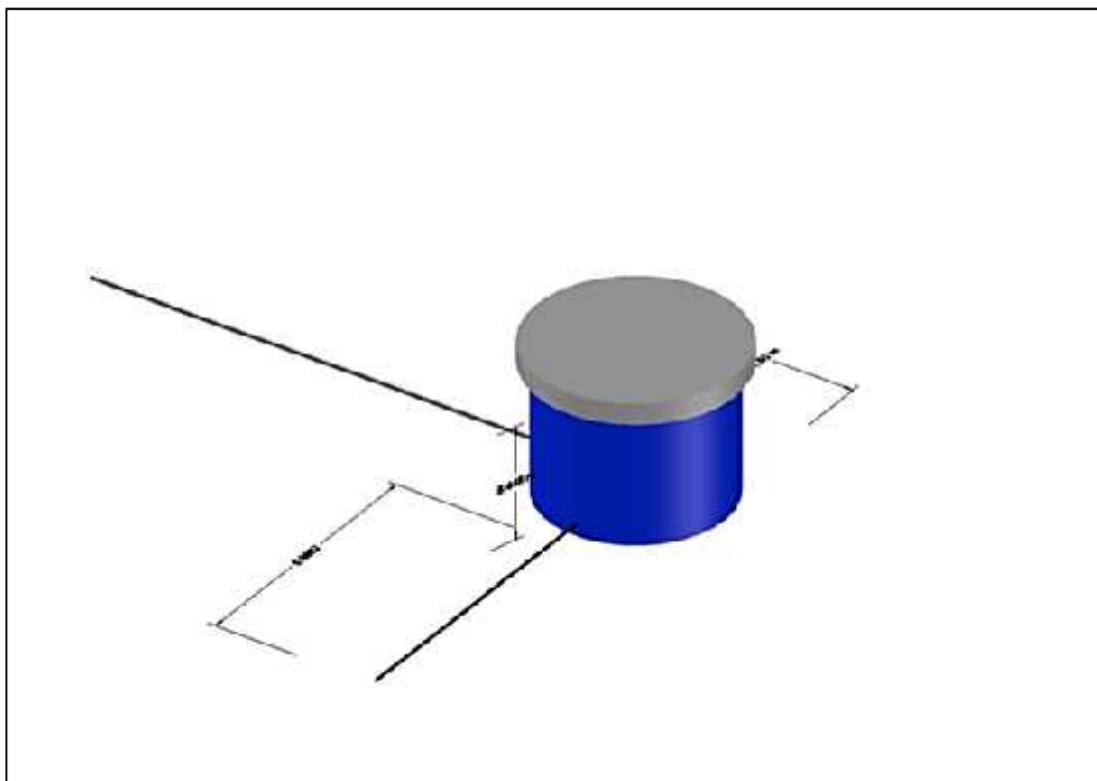
**ANEXO R**



27.-

<p><b>NOTAS</b></p>	<p><b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b></p>	<p><b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b></p>	<p><b>DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</b></p>	
<p>27.- Sedimentador laminar, vista isométrica.</p>	<p> <input type="checkbox"/> Certificado    <input type="checkbox"/> Por Eliminar  <input type="checkbox"/> Aprobado    <input type="checkbox"/> Por Aprobar  <input type="checkbox"/> Por Calificar    <input checked="" type="checkbox"/> Para Información         </p>	<p>FACULTAD DE CIENCIAS</p> <p>ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA</p> <p>JOSÉ B. JARAMILLO B.</p>	<p>Auto</p>	<p>Escola</p>

**ANEXO S**



**28.-**

<b>NOTAS</b>	<b>CATEGORÍA DEL DIAGRAMA</b>	<b>ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO</b>	<b>DISEÑO PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE</b>		
28.- Tanque de desinfección, vista isométrica.	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input checked="" type="checkbox"/> Para Información	FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA JOSÉ B. JARAMILLO B.	<b>Lámina</b>	<b>Escala</b>	<b>Fecha</b>