

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas



“PRUEBAS DE TRATABILIDAD PARA EL DISEÑO DE
UNA PLANTA DE POTABILIZACIÓN A PARTIR DE
AGUA SUBTERRÁNEA DE LA PARROQUIA DE
MANGLARALTO, SANTA ELENA.”

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:
INGENIERO QUÍMICO

Presentado por:
MARÍA ISABEL SILVA ASPIAZU
ANDREA ESTEFANÍA VERA LOOR

Guayaquil – Ecuador

2014

AGRADECIMIENTO

Agradecemos a.

A Dios, por acompañarnos y guiarnos siempre.

A nuestra familia y amigos por incentivarnos día a día a lograr este objetivo.

Al PhD. Paúl Carrión y al MSc. José Cárdenas, directores del proyecto de graduación, por su ayuda y colaboración para la realización de este trabajo.

A CIPAT-ESPOL y al DCQA por el apoyo y facilidades brindadas para la elaboración de este trabajo.

A la familia CIPAT, a la Administración de la Junta Regional de Agua Potable de Manglaralto, y a todos aquellos que brindaron su atención para el desarrollo de nuestro proyecto de graduación.

A nuestros profesores de la Escuela Superior Politécnica del Litoral que contribuyeron a nuestra formación profesional, por sus conocimientos impartidos y oportunos consejos durante la carrera y especialmente durante la realización de nuestro trabajo final.

DEDICATORIA

A Dios

A nuestros padres

A nuestros hermanos.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

MSc. Oswaldo Valle

PRESIDENTE

Ing. Bernardo Mora

VOCAL PRINCIPAL

PhD. Paúl Carrión

CO-DIRECTOR

MSc. José Cárdenas

CO-DIRECTOR

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado nos corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la Escuela Superior Politécnica del Litoral.”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

María Isabel Silva Aspiazu

Andrea Estefanía Vera Loor

RESUMEN

El presente Trabajo Final de Graduación se desarrolla en la Comunidad de Manglaralto, Santa Elena, beneficiarios de los proyectos desarrollados por el Centro de Investigación y Proyectos Aplicados a Ciencias de la Tierra (CIPAT) en conjunto con la Organización Internacional de la Energía Atómica (OIEA) para la perforación de pozos y extracción de agua subterránea para el consumo humano.

Teniendo en cuenta que la Junta Regional del Agua Potable en Manglaralto, abastece a 7 comunidades aledañas (Manglaralto, Montañita, Nueva Montañita, Río Chico, San Antonio, Libertador Bolívar y Cadeate) y no cuenta con un sistema de potabilización de agua, se ve la necesidad de caracterizar la calidad de agua y proponer un diseño de una planta de potabilización de agua subterránea para el abastecimiento de las comunidades antes mencionadas.

Se recogieron muestras de la entrada y las salidas de los reservorios; las que se enviaron a laboratorios externos para la determinación de iones mayoritarios, DBO_5 , DQO, coliformes fecales, coliformes totales, hierro y manganeso. Esto se realizó tres veces durante los meses de noviembre, enero y mayo; para poder comparar los resultados antes, durante y después de la época lluviosa.

Se caracterizó el agua cruda y tratada para las diferentes épocas del año y se elaboraron diagramas y gráficos en el software DIAGRAMMES 5.6. En base a los resultados obtenidos se procedió a realizar pruebas a nivel de laboratorio para un tratamiento de agua.

Se realizaron pruebas de tratabilidad por medio de columnas rellenas de zeolita natural, zeolita activada con NaCl, zeolita activada con óxidos de manganeso, resina catiónica y finalmente test de jarras (coagulación, floculación y sedimentación) con diferentes dosis de coagulante y su respectiva repetitividad.

Se desarrolló un diseño teórico adecuado a las características del agua y al espacio disponible para cada una de las operaciones unitarias propuestas. Se elaboró modelos y dibujos en AUTOCAD 2012 e INVENTOR 2012, de cada uno de los equipos propuestos con sus respectivas vistas y sus medidas.

Finalmente se emiten conclusiones y recomendaciones en base a los resultados obtenidos y al mantenimiento sugerido para cada uno de los equipos propuestos.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	II
ÍNDICE GENERAL.....	IV
ABREVIATURAS.....	IX
SIMBOLOGÍA	XI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XV
ÍNDICE DE TABLAS	XVII
CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Preámbulo	2
1.2 Ubicación Geográfica	4
1.3 Planteamiento del Problema	6
1.4 Hipótesis	8
1.5 Objetivos.....	9
1.5.1 Objetivo General	9
1.5.2 Objetivos Específicos	9
1.6 Metodología General	9
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	13
2.1 Aguas Subterráneas	14
2.1.1 Definición.....	14

2.1.2 Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea.....	14
2.1.2.1 Precipitación.....	14
2.1.2.2 Forma del Terreno	15
2.1.2.3 Geología	15
2.1.2.4 Vegetación	15
2.1.2.5 Movimiento o flujo del agua subterránea	15
2.2 Acuíferos	16
2.2.1 Tipos de Acuíferos.....	16
2.3 Calidad del Agua Subterránea	17
2.4 Calidad del Agua Potable	17
2.4.1 Características químicas y físicas.....	18
2.4.2 Características bacteriológicas.....	20
2.4.3 Características biológicas.....	21
2.4.4 Características radioactivas	21
2.5 Tratamiento de Agua Subterránea para el consumo humano	21
2.5.1 Ablandamiento por Tratamiento Químico	21
2.5.2 Desmineralización por Intercambio Iónico.....	23
2.5.3 Técnicas empleadas en la eliminación de Hierro y Manganeso .	24
2.5.3.1 Aireación seguida por filtración.....	24
2.5.3.2 Oxidación Química seguida por filtración.....	26
2.6 Zeolita	26

2.6.1 Estructura	27
2.6.2 Propiedades de la Zeolita	27
CAPÍTULO III METODOLOGÍA.....	29
3.1 Metodología de Campo.....	30
3.1.1 Operaciones Previas	30
3.1.2 Envases	31
3.1.3 Metodología de Muestreo	31
3.1.4 Conservación, Transporte y Almacenamiento de las muestras ..	32
3.1.5 Cuaderno de Campo	32
3.2 Metodología de las pruebas de tratabilidad.....	33
3.2.1 Tratamiento Convencional	33
3.2.2 Activación de la Zeolita Clinoptilolita	34
3.2.3 Columnas rellenas	36
3.2.4 Potencial de Hidrógeno y dureza	38
3.2.5 Sólidos Totales Disueltos	39
3.2.6 Manganeso	40
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	42
4.1 Resultados de Laboratorios Externos	43
4.2 Análisis de resultados	45
4.2.1 Caracterización físico-química del agua de entrada a los reservorios	45

4.3 Ensayos de Laboratorio	49
4.3.1 Resultados del test de jarras.	50
4.3.2 Resultados con Zeolita Natural	53
4.3.3 Resultados con zeolita activada con Cloruro de Sodio	53
4.3.4 Resultados con zeolitas recubiertas con Oxido de Manganeso .55	
4.3.5 Resultados con Resinas de Intercambio Catiónico.....	55
4.4 Comparación de los Resultados	56
4.5 Planteamiento de un diseño para el tratamiento de agua subterránea.	56

CAPITULO V PROPUESTA PARA DISEÑO DE UN SISTEMA PARA TRATAMIENTO DE AGUA SUBTERRÁNEA58

5.1 Selección del sitio	59
5.2 Diseño	59
5.2.1 Sistema de Aireación	60
5.2.1.1 Diseño del Aireador	60
5.2.2 Sistema de mezcla rápida	70
5.2.2.1 Diseño del vertedero rectangular de mezcla rápida	70
5.2.3 Floculación	75
5.2.3.1 Diseño del Floculador	75
5.2.4 Sistema de Sedimentación.....	81
5.2.4.1 Diseño del Sedimentador	82
5.2.5 Sistema de Filtración.....	84

5.2.5.1 Diseño del Filtro Rápido de Arena	85
5.2.6 Sistema de Cloración.....	96
5.2.6.1 Clorador Gas.....	96
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	99
6.1 Conclusiones	100
6.2 Recomendaciones	103
ANEXOS	
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

SAMTAC	South American Technical Advisory Committee
GWP	Global Water Partnership
NE	NorEste
SW	SurOeste
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
TULAS	Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
OMS	Organización Mundial de la Salud
NMP	Número Más Probable
IZA	International Zeolitic Association
DBO ₅	Demanda Biológica de Oxígeno
DQO	Demanda Bioquímica de Oxígeno
TDS	Sólidos Disueltos Totales
CE	Conductividad Eléctrica
DCQA	Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales
FICT	Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra
mEq	mili equivalentes
pH	Potencial de Hidrógeno
IMTA	Instituto Mexicano de Tecnología del Agua
Ppm	Partes por millón
JRAPM	Junta Regional de Agua Potable Manglaralto

LE	Longitud Equivalente
INEC	Instituto Nacional de Estadísticas y Censos
ADT	Altura Dinámica Total
PVC	Policloruro de Vinilo
P&ID	Piping and instrumentation diagram / diagrama de tuberías e instrumentación (DTI)

SIMBOLOGÍA

Ca^{+2}	ión Calcio
Mg^{+2}	ión Magnesio
Na^{+}	ión Sodio
K^{+}	ión Potasio
HCO_3^{-}	ión Bicarbonato
SO_4^{-}	ión Sulfato
Cl^{-}	ión Cloruro
CT	Coliformes Totales
CF	Coliformes Fecales
Fe^{+2}	ión Hierro
Mn^{+2}	ión Manganeseo
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$	Sulfato de Aluminio
CaO	Óxido de Calcio
CaCO_3	Carbonato de Calcio
NaCl	Cloruro de Sodio
CO_2	Dióxido de Carbono
KMnO_4	Permanganato de Potasio
HCl	Ácido Clorhídrico
MnO_2	Óxido de Manganeseo
KCl	Cloruro de Potasio

Cl_2	Cloro molecular
H_2O	Agua
NaClO	Hipoclorito de Sodio
%	Porcentaje
ml	Mililitros
l	litro
μm	Micrómetros
mm	Milímetros
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
Km	Kilómetros
Km^2	Kilómetros cuadrados
° ,	Grados y minutos, coordenadas.
mg/l	Miligramos por litro
g/l	Gramos por litro
°C	Grados centígrados
$w_{\text{HCl}}/w_{\text{H}_2\text{O}}$	Concentración masa/masa
m^3/h	Metros cúbicos por hora
$\text{m}^3/\text{día}$	Metros cúbicos por día
l/s	Litros por segundo
$\mu\text{S}/\text{cm}$	MicroSiemens por centímetro, Conductividad

ppm	Partes por millón
V	Volumen
C	Concentración
Q	Caudal
C_d	Coefficiente de descarga
D	Diámetro
v	Velocidad
Π	Constante Pi (3,1416...)
H, h	Pérdida de presión
X	Distancia horizontal
Y	Distancia vertical
Φ	Ángulo formado con la horizontal, Aireador
A	Área
T.A.	Carga hidráulica
L	Longitud
LE	Longitud equivalente
ADT	Altura dinámica de bombeo
ρ	Densidad
B	Ancho, Vertedero rectangular de mezcla rápida
F	Número de Froude, Mezcla rápida
G	Gradiente de velocidad
t	Tiempo

w	Ancho, Floculador
μ	Viscosidad dinámica
d	Distancia Libre, Floculador
e	Espesor
C.S.	Carga superficial
Le	Lecho expandido, Filtro rápido
RE	Relación de expansión, Filtro rápido

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.-Mapa de la cuenca Manglaralto	6
Figura 2. Esquema de la metodología general.....	12
Figura 3.- Etapas del proceso de formación de la capa de óxido de manganeso	25
Figura 4.- EQUIPO: PB-700 TM JARTESTER	34
Figura 5.- Tamizador,.....	35
Figura 6.- Buretas con relleno de Zeolita Clinoptilolita.....	36
Figura 7.- Kit de medición de dureza y tirillas de pH	39
Figura 8.- Fotómetro NOVA60, Kit de medición de Manganeso y solución Standard de 1000 ppm de Mn. MERCK	41
Figura 9.- Diagrama de Piper de la entrada de los reservorios para las muestras (1) 12/11/2012, (2) 22/01/2013 y (3) 22/05/2013	46
Figura 10.- Diagrama de Stiff de la entrada de los reservorios	46
Figura 11.- Diagrama de barras de Stabler de la entrada de los reservorios	47
Figura 12.- Diagrama de Schoeller-Berkaloff de los iones mayoritarios en las diferentes fechas de muestreo	48
Figura 13.- Variación de la concentración de Hierro y Manganeso en las diferentes fechas de muestreo	49
Figura 14.- Diagrama de bloques del tratamiento propuesto	59
Figura 15.- Aireador de Bandejas	66

Figura 16.- Vertedero Rectangular de Mezcla Rápida.....	74
Figura 17.- Floculador hidráulico de flujo horizontal.....	81
Figura 18.- Sedimentador horizontal.....	84
Figura 19.- Filtro rápido de arena.....	86
Figura 20.- Diferencias de altura del nivel del agua.....	93

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.- Hipótesis.....	8
Tabla II.-Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua.....	18
Tabla III.- Sustancias tóxicas.....	19
Tabla IV.- Indicadores químicos de polución.....	20
Tabla V.-Principales cationes y aniones presentes en el agua.....	22
Tabla VI.- Dosis y condiciones de aplicación de Cl ₂ para la oxidación de Hierro y Manganeso.....	37
Tabla VII.- Intervalo de Medida test de Mn.....	40
Tabla VIII.- Resultados de Iones Mayoritarios del Agua en mEq de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.....	43
Tabla IX.- Resultados de N-NO ₂ y N-NO ₃ del Agua en mg/L de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.....	44
Tabla X.- Resultados de análisis bacteriológicos del agua de entrada a los reservorios.....	44
Tabla XI.- Resultados de análisis de hierro y manganeso del agua de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.....	44
Tabla XII.- Test de jarra 1 con dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal.	51
Tabla XIII.- Test de jarra 2 con dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal.	51
Tabla XIV.- Prueba de repetitividad para dosis de 0,4 y 0,5 de cal.....	52
Tabla XV.- Resultados de pruebas de Tratabilidad con Zeolita Clinoptilolita activada solamente con NaCl y 2 regeneraciones del filtro.....	53

Tabla XVI.- Prueba de solución estándar de Mn con un filtro de zeolita activada con NaCl.	54
Tabla XVII.- Resultados de pruebas de Tratabilidad con Resina Sintética activada con NaCl.	55
Tabla XVIII.- Valores Aproximados de factores de forma para arena.	87
Tabla XIX.-Características de la tubería de Impulsión desde el Tanque de Impulsión hasta el Reservorio.	91
Tabla XX.- Número de cilindros necesarios según la capacidad requerida, 67 kg.....	98

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Preámbulo

El agua cubre el 71% de la superficie de la corteza terrestre. El mayor porcentaje se encuentra en los océanos donde se concentra el 96,5% del agua total, los glaciares y casquetes polares poseen el 1,74%, los depósitos subterráneos (acuíferos) y los glaciares continentales suponen el 1,72% y el 0,04% se reparte en orden decreciente entre lagos, embalses y ríos.

Se estima que aproximadamente el 70% del agua dulce es usada para agricultura. El agua en la industria absorbe una media del 20% del consumo mundial, empleándose en tarea refrigeración, transporte y como disolvente de una gran variedad de sustancias químicas. El consumo doméstico absorbe el 10% restante.

El acceso a agua potable y a medios adecuados de saneamiento está ligado directamente a la salud humana y al desarrollo.

Si bien el porcentaje de personas con acceso a alguna forma de abastecimiento de agua tratada se elevó del 79% en 1990 al 82% en 2.000, más de mil millones de personas en el mundo carecen de acceso a un suministro fijo de agua para consumo.

Hay 2,4 mil millones de personas (más de un tercio de la población mundial) que no tienen acceso a un saneamiento adecuado. Los resultados son devastadores.

Más de 2,2 millones de personas, en su mayoría en los países en vías de desarrollo, mueren cada año por enfermedades asociadas a condiciones deficientes de agua y de saneamiento.

América del Sur produce alrededor del 26% de los recursos hídricos mundiales. Tiene una moderna red hidrológica con cerca de 6.000 estaciones. El promedio de precipitaciones es de 1.600 mm por año. Las precipitaciones pueden ser muy escasas (20 mm/año en el desierto de Atacama) o muy abundantes (4.000 mm en los Andes al Sur de Chile). Según estudios realizados entre el 2007 y el 2008, se determinó que el Amazonas es el río más largo y el más caudaloso del mundo. Hay acuíferos, lagos y reservorios muy grandes y productivos pero la alta densidad de población en ciertas zonas y la falta de tratamiento de los vertidos urbanos causan problemas de contaminación.

La disponibilidad de agua dulce en algunos países de Latinoamérica muestra una gran heterogeneidad, según estimaba SAMTAC (South American Technical Advisory Committee) de la Global Water Partnership (GWP) en 2000, mientras Perú cuenta con 1 548 m³ de agua por habitante por año, Paraguay contaría con 57 720 m³ por habitante al año. Por otra parte, esta distribución de agua no es homogénea hacia el interior de un mismo país.

A pesar de que Ecuador es un país privilegiado en materia hídrica, este presenta un problema de distribución natural de la misma. Todavía existen zonas del país en que este recurso es escaso. Un ejemplo claro es la zona costera, donde la mayor parte del agua provienen de acuíferos subterráneos y albardas.

1.2 Ubicación Geográfica

La zona de trabajo se localiza en la parroquia Manglaralto del cantón Santa Elena de la provincia de Santa Elena. La cuenca del río Manglaralto está localizada al norte de la Península de Santa Elena entre los meridianos 80°36' y 80°45' de longitud oeste y entre los paralelos 1°47' y 1°51' de latitud sur. La cuenca está limitada por las cuencas de los ríos Olón al norte y Atravezado al sur. El río nace en la cordillera de Chongon-Colonche a 700m sobre el nivel del mar, su cuenca es alargada en dirección NE-SW.

De acuerdo Amado (1990), la cuenca del río Manglaralto tiene un área de 56 km² con un perímetro de 43 km; la forma es aproximadamente rectangular con una longitud axial de 16.5 km y con ancho medio de 3.5 km teniendo en algunas partes hasta 5.5 km de ancho máximo.

El aluvial ocurre en las inmediaciones de los ríos Culebra, Quiros, Colin, de las Pajisas y Manglaralto; siendo los últimos los más

importantes tanto por su espesor como su extensión superficial y contener las principales zonas acuíferas de la cuenca.

Los depósitos están constituidos por grava, gravilla y limo el mismo que hacia la desembocadura se vuelve más potente y más extenso.

Los cantos rodados son de litología variada y derivados de los distintos terrenos aflorantes en la cuenca y son de chert, arenizca, lutita, caliza, tobas, entre otras.

Estos terrenos que son incoherentes tienen las mejores condiciones hidrogeológicas, de las existentes en la cuenca, pues son altamente porosos, con elevada permeabilidad, alta capacidad de almacenamiento y buena transmisibilidad, con excepción de la cubierta superficial limosa que confina los depósitos antes mencionados.

La cuenca del río Manglaralto está constituida por terrenos acuíferos y terrenos no acuíferos. Los terrenos acuíferos ocupan aproximadamente 4.5 km² con una potencia promedio de 15m prevaleciendo las gravas y las gravillas sobre los limos que los recubren, estableciendo así un sistema acuífero confinado no surgente.

En esta comuna se encuentra la Junta Administradora de Agua Potable de Manglaralto, la cual cuenta con 8 pozos perforados y abastece de agua a 7 poblaciones: Cadeate, Nueva Montañita,

Montañita, Libertador Bolívar, Río Chico, San Antonio y Manglaralto. Ver figura 1. Estas comunidades están compuestas por alrededor de 2600 casas y 16000 personas, según el censo de noviembre del 2011.

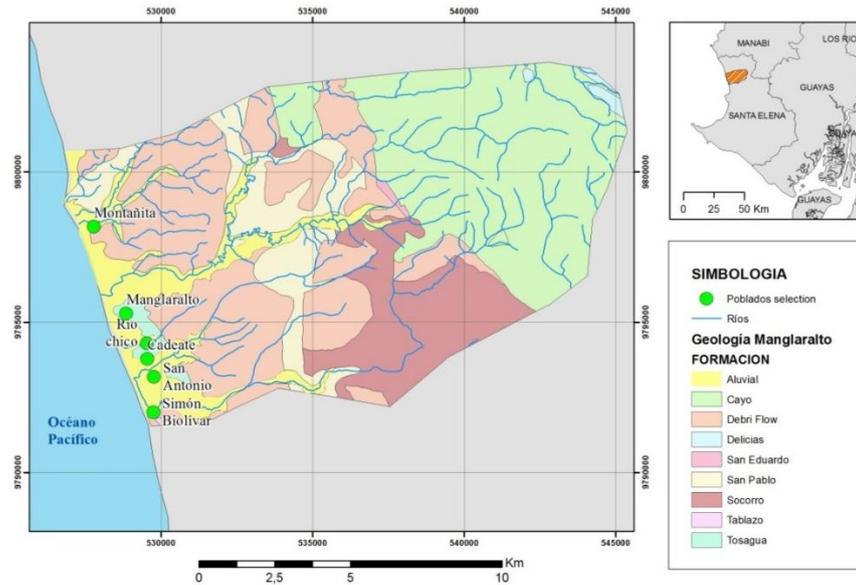


Figura 1.-Mapa de la cuenca Manglaralto. Fuente: CIPAT-ESPOL

1.3 Planteamiento del Problema

En el año 2006 la provincia de Santa Elena presentaba severos problemas de escasez en agua, especialmente en las zonas rurales.

A través del proyecto ECU/8/026 01, en el 2007 el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) con la colaboración de la Escuela Superior Politécnica del Litoral decide realizar el proyecto de “Caracterización de Acuíferos Costeros de la Península de Santa Elena” para recopilar y evaluar la información hidrogeológica

disponible de la región Santa Elena. Los beneficiarios de este proyecto son los habitantes de la parroquia Manglaralto que antes del mismo contaba con solo dos pozos de agua para abastecer a 2000 habitantes. La Junta de agua proveía el servicio de agua cuatro horas al día, dos horas en la tarde y dos horas en la noche.

En el período 2010-2011 gracias a la colaboración y financiamiento de la Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), el Municipio y la Junta Regional de Agua Potable de Manglaralto, explotan 8 pozos de agua subterránea, los cuales son administrados por la Junta Regional de Agua de Manglaralto.

Actualmente, la Junta de agua de Manglaralto provee agua a siete comunidades: Manglaralto, Montañita, Nueva Montañita, Río Chico, San Antonio, Libertador Bolívar y Cadeate.

El agua de los pozos es llevada a dos reservorios de 200 m³ y 300 m³ para un tratamiento primario, el cual consiste en un filtro de grava y en agregar 2 kg de Hipoclorito de Calcio una vez al día a las 06H00 a cada uno de los reservorios que se llenan mínimo 2 veces al día; y recientemente se han incorporados tanques de cloración proporcionados por el gobierno seccional de la Provincia de Santa Elena.

Se realizó una campaña de reconocimiento con toma de muestras y se evidenció las altas concentraciones de manganeso y dureza en el agua de consumo que no son removidas con el tratamiento actual.

Por todo lo antes mencionado se ha visto la necesidad de diseñar un sistema de tratamiento que sea apropiado para que el agua que llegue a los consumidores se encuentre dentro de los rangos permisibles por la organización mundial de la salud y la normativa ecuatoriana, para prevenir así posibles enfermedades provenientes del tratamiento con el que se cuenta actualmente.

1.4 Hipótesis

Tabla I.- Hipótesis

Hipótesis	Variables X y Y	Indicadores
Es posible plantear una propuesta de un diseño de un sistema de potabilización de agua subterránea mediante pruebas de tratabilidad en la parroquia Manglaralto, Santa Elena.	X: Pruebas de tratabilidad. Y: Propuesta de diseño	X ₁ : Conductividad X ₂ : Salinidad X ₃ : Contenido de iones mayoritarios. X ₄ :Análisis bacteriológicos X ₁ : Calidad del agua X ₂ : Sistema propuesto

Elaborado por: Silva M., Vera A.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivo General

Presentar una propuesta para el diseño de un sistema de potabilización del agua subterránea para la parroquia Manglaralto, Santa Elena, en base a las pruebas de tratabilidad.

1.5.2 Objetivos Específicos

1. Caracterizar el agua que provee la Junta de Agua Potable de Manglaralto.
2. Realizar ensayos de tratabilidad del agua subterránea a nivel de laboratorio.
3. Determinar los parámetros de diseño para la planta de tratamiento de agua subterránea.
4. Dimensionar el sistema adecuado de Potabilización de Agua Subterránea, basado en los datos obtenidos en las pruebas de laboratorio.

1.6 Metodología General

Se ha dividido en 3 fases, la primera la recopilación bibliográfica; la segunda la recopilación de muestras, ensayos y análisis de resultados; y la tercera, presentación de la propuesta. Seguido se procede a detallar en qué consiste cada una de ellas.

Fase I: Recopilación Bibliográfica

Durante la primera fase del proyecto se realizará la observación del problema y una visita de reconocimiento a la Parroquia Manglaralto para conocer la situación del sistema con el que tratan el agua actualmente.

También se efectuará una búsqueda de fuentes de información como libros, revistas, artículos, proyectos, etc. relacionados a las aguas subterráneas, diseño de sistemas para potabilizar agua, calidad del agua, etc.

Por último se revisarán las guías para la calidad del agua dadas por la Organización Mundial de la Salud, el Libro VI del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria y las recomendaciones dadas en la norma INEN 2655 Implementación de Plantas Potabilizadoras Prefabricadas en Sistemas Públicos de Agua Potable; para conocer los límites máximos permitidos en los que se debe basar el diseño.

Fase II: Recopilación de las muestras, ensayos y análisis de los resultados.

En la segunda fase, se cumplirán varias salidas de campo en las diferentes estaciones climatológicas. En estas se medirán

parámetros in situ y se procederá a tomar muestras para realizar los respectivos análisis de laboratorio de los parámetros físico-químicos y bacteriológicos, los mismos que, durante todas las campañas de muestreo se realizarán en laboratorios certificados para disponer de resultados confiables.

Luego se procederá al análisis de los resultados del laboratorio y se seleccionarán dos métodos de potabilización adecuados para tratar el agua subterránea que llega a los reservorios. La selección del método se llevará a cabo mediante pruebas a escala de laboratorio y comparación de resultados en base a la cual se desarrollará el diseño antes mencionado. Se determinará la ubicación tentativa de la planta con sus respectivos parámetros de diseño.

Fase III: Presentación de la propuesta.

En la última fase del proyecto se determinan las conclusiones y recomendaciones del proyecto y se procede a realizar el informe final.

Se realiza la presentación del proyecto de tesis de grado de Ingeniería Química y la redacción de un artículo científico sobre los resultados obtenidos.

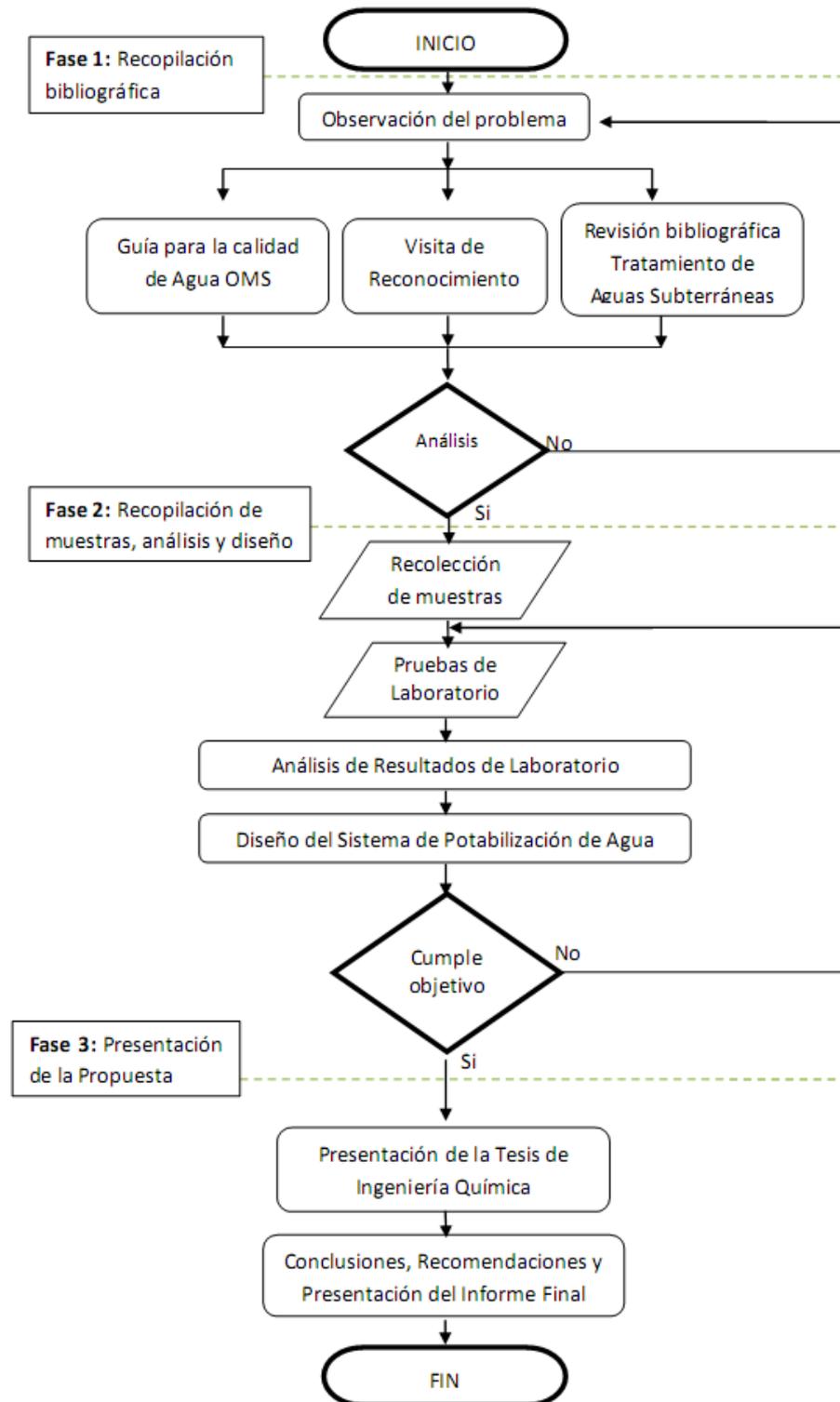


Figura 2. Esquema de la metodología general. Elaborado por: Silva M., Vera A.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Aguas Subterráneas

2.1.1 Definición

El agua subterránea representa una fracción importante de la masa de agua presente en los continentes. Se aloja bajo la superficie de la tierra en formaciones geológicas, llamadas acuíferos.

2.1.2 Factores que condicionan la presencia y el movimiento del agua subterránea.

2.1.2.1 Precipitación

La mayor parte del agua del subsuelo proviene de la infiltración de la lluvia. Las zonas lluviosas constituyen zonas de alimentación del agua subterránea; en cambio en las zonas secas, el agua proviene de regiones en donde la lluvia se infiltra y llega lentamente hasta ellas. Este aspecto es muy importante en dos sentidos, en su duración y en su cantidad.

2.1.2.2 Forma del Terreno

La forma del terreno es influye mucho, ya que el agua tendrá mayor o menor oportunidad de infiltrarse y además el agua infiltrada seguirá una trayectoria determinada por dicho factor.

2.1.2.3 Geología

La velocidad de movimiento depende de la estructura y composición litológica de las formaciones, para que el agua pueda transitar por el subsuelo. La porosidad y la permeabilidad son dos propiedades definitivas que poseen las formaciones para constituir buenos acuíferos.

2.1.2.4 Vegetación

La vegetación facilita la infiltración del agua aún en suelos duros y arcillosos, ya que las raíces de las plantas y los animales propios del suelo lo perforan haciéndolo más poroso y dándole más acceso al agua para que pase a través de él (Winter, 1999).

2.1.2.5 Movimiento o flujo del agua subterránea

Un sistema hidrológico más representativo de la realidad y de las investigaciones toman en cuenta el movimiento vertical del agua subterránea, ya que este presenta un comportamiento particular

en las zonas de extracción por pozos, especialmente en las zonas de recarga y en la extracción.

2.2 Acuíferos

Los acuíferos son formaciones geológicas que permiten el paso del agua a través de sus poros o grietas. El agua contenida en los acuíferos puede ser aprovechada para uso humano o industrial.ⁱ

No todas las formaciones geológicas tienen la capacidad de transmitir agua tan fácilmente. Generalmente los acuíferos están formados por materiales sueltos como arenas, gravas, mezcla de ambos, etc.

2.2.1 Tipos de Acuíferos

Los acuíferos se clasifican por su presión hidrostática y por el agua encerrada en los mismos de la siguiente manera:

- a) Acuíferos libres, no confinados o freáticos; son aquellos en los que hay una cantidad de agua libre encerrado en ellos que está en contacto directo con el aire y a presión atmosférica.
- b) Acuífero cautivo, confinado o a presión; en este tipo de acuíferos el agua está sometida a presión superior a la atmosférica y los poros de la formación geológica se encuentran saturados totalmente.

2.3 Calidad del Agua Subterránea

El nivel natural de calidad del agua subterránea exige un menor tratamiento para garantizar un consumo de agua potable segura para el hombre. Aunque a veces se las trata para la remoción de metales pesados y arsénico, se comparan favorablemente con las aguas superficiales, debido al reducido tratamiento necesario.

2.4 Calidad del Agua Potable

La calidad de un agua queda definida por su composición, y el conocimiento de los efectos que puede causar cada uno de los elementos que contiene o el conjunto de todos ellos, permite establecer las posibilidades de su utilización, clasificando así, de acuerdo con ciertos límites establecidos, su destino para bebida, usos agrícolas, industriales, recreacionales, entre otros.

La Organización Mundial de la Salud (O. M. S) en sus <<International Standards for Drinking Water>> (1963), divide en cuatro grupos las características a tener en cuenta y que afectan a la potabilidad del agua; división que se mantiene en su cuarta edición. (E. Custodio, 2001). Son:

2.4.1 Características químicas y físicas

Si llegare a sobrepasarse los límites de concentración que se muestran a continuación, se supondría la impotabilidad del agua.

a) Sustancias Químicas que afectan la potabilidad del agua

Tabla II.-Sustancias químicas que afectan a la potabilidad del agua.

Sustancia	Concentración máxima aceptable	Concentración máxima permitida
Sólidos totales	500	1500
Color (ppm de la escala de platino-cobalto)	5	50
Turbidez en SiO ₂	5	25
Gusto	No detectable	--
Olor	No detectable	--
Hierro(Fe)	0.3	1
Manganeso (Mn)	0.1	0.5
Cobre(Cu)	1	1.5
Zinc(Zn)	5	15
Calcio(Ca)	75	200
Magnesio(Mg)	50	150
Sulfatos(SO ₄)	200	400
Cloruros(Cl)	200	600
pH(unidades de pH)	7-8.5	6.5-9.2
Sulfato magnésico-sódico	500	1000
Sustancias fenólicas(como fenol)	0.001	0.002
Contaminantes orgánicos(carbono extractado con cloroformo)	0.2	0.5
Tensoactivos(detergentes) ABS(alkilbeneil-sulfonato)	0.5	1

Fuente: E. Custodio, M. R. (2001)

b) Sustancias Químicas Específicas que pueden afectar a la Salud

- *Fluoruros*. Se admite una concentración en el agua de bebida entre 0.5 y 1 mg/l con límite máximo permitido de 1.5 mg/l. La ausencia de flúor, tiene también un efecto pernicioso en la conservación de los dientes, por lo que, en algunas ciudades se añade a las aguas de abastecimiento, si éstas son hipofluoradas.
- *Nitratos*. Se fija como límite máximo permitido el de 45 mg/l en NO₃, pues cantidades superiores pueden llegar a producir, principalmente en los niños, la denominada enfermedad azul (metahemoglobinemia) a causa de efectos sobre la sangre.

Tabla III.- Sustancias tóxicas.

Sustancia	Concentración máxima permitida (mg/l)
Plomo	0.05
Arsénico	0.05
Selenio	0.01
Cromo(hexavalente)	0.05
Cianuro	0.20
Cadmio	0.01
Bario	1
Plata	0.05

Fuente: E. Custodio, M. R. (2001)

Tabla IV.- Indicadores químicos de polución.

Indicador	Límite mínimo para considerar que hay contaminación (mg/l)
Demanda química de oxígeno(DQO)	10
Demanda bioquímica de oxígeno(DBO)	6
Nitrógeno total (NO ₃ ⁻)	1
NH ₃	0.5
Carbono(extracto de cloroformo)	0.5
Grasas	1

Fuente: E. Custodio, M. R. (2001)

2.4.2 Características bacteriológicas

Los criterios de calidad bacteriológica del agua se basan en la determinación de aquellos microorganismos que puedan afectar directamente a la salud del hombre o que, por su presencia, puedan señalar la posible existencia de otros.

Para evitar la enorme complicación y dificultad que supone la realización de unas determinaciones exhaustivas, se adoptan unos índices de calidad, fijándose para ellos los límites que se estiman adecuados. Así, en las normas de la O.M.S., la determinación del grupo coliformes como indicador bacteriológico y el NMP (número más probable) para valorar la intensidad, responden a esas necesidades.

2.4.3 Características biológicas

Suponen una determinación cualitativa de los tipos de organismos y una estimación cuantitativa de su número. Se detectan partículas sólidas orgánicas e inorgánicas, incluyendo diversos organismos vivos bajo el nombre de plankton.

Los resultados pueden expresarse en mg/l, tomando el valor 1 como peso específico de los organismos. La existencia de unas 300 unidades área-standard por ml o más, puede desarrollar malos olores y gustos.

2.4.4 Características radioactivas

Para las aguas de abastecimiento se han fijado unos valores límites por debajo de los cuales se admiten para el uso público y que, en caso de que alguno de ellos sea excedido, deberán realizarse análisis radioquímicos para determinar su naturaleza antes de dictaminar acerca de su posible utilización.

2.5 Tratamiento de Agua Subterránea para el consumo humano

2.5.1 Ablandamiento por Tratamiento Químico

La dureza en las aguas naturales está producida por la presencia de cualquier catión metálico polivalente. Los principales cationes

causantes de la dureza en el agua y aniones asociados a ellos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla V.-Principales cationes y aniones presentes en el agua.

Cationes	Aniones
Ca^{2+}	HCO_3^-
Mg^{2+}	SO_4^{2-}
Sr^{2+}	Cl^-
Fe^{2+}	NO_3^-
Mn^{2+}	SiO_3^{2-}

Fuente: AWWA. (1969)

Durante el ablandamiento por precipitación el calcio se retira en forma de $\text{CaCO}_3(\text{s})$ y el Magnesio en forma de $\text{Mg}(\text{OH})_2(\text{s})$. La dureza de carbonatos se puede remover añadiendo cal, la cal reacciona con el calcio, haciendo que estos se precipiten en forma de carbonato de calcio.

Para la remoción de la dureza de carbonatos y no carbonatos de magnesio, se adiciona cal y sosa; formando así los precipitados hidróxido de magnesio y carbonato de calcio (Morgan).

2.5.2 Desmineralización por Intercambio Iónico

Este sistema además de remover los iones magnesio y calcio presentes, también remueve otros cationes y aniones presentes en el agua, llegando a una desmineralización total del agua.

Los intercambiadores tienen la propiedad de intercambiar algunos iones que lo constituyen por otros presentes en el medio en que se encuentran (E. Custodio, 2001).

Los cambiadores catiónicos son los que se usan hace más tiempo en especial con vistas al ablandamiento. En un principio se utilizaron las zeolitas, siendo sustituidas por silico-aluminatos sintéticos denominados permutitas y posteriormente por resinas sintéticas que son las actualmente utilizadas y de las que existe una gran variedad. Con ellas puede conseguirse eliminar el Ca^{++} y Mg^{++} permutándolo por el Na^+ retenido en el cambiador, o bien retener todos los cationes cambiándolos por H^+ cuando se usa un producto adecuado.

Las resinas sintéticas cambiadoras de aniones, pueden subdividirse en dos grupos: uno de los cambiadores débil o medianamente básicos, y otro de los cambiadores fuertemente básicos. Los primeros suelen ser aminas primarias que se regeneran con carbonato sódico o sosa, y los segundos aminas cuaternarias que sólo se regeneran con sosa cáustica.

2.5.3 Técnicas empleadas en la eliminación de Hierro y Manganeseo

A continuación se presentan algunas técnicas para la eliminación del manganeso y sus respectivas limitaciones.

2.5.3.1 Aireación seguida por filtración

El proceso de aireación-filtración se recomienda para aguas con alta concentración de hierro (mayor de 5 mg/L), con el fin de disminuir los costos en reactivos. El equipo usado en este proceso incluye, comúnmente un aireador, un tanque de retención y filtros. El oxígeno de la atmósfera reacciona con las formas solubles de hierro y manganeso (Fe^{+2} y Mn^{+2}) del agua cruda, para producir óxidos relativamente insolubles (Fe^{+3} y Mn^{+4}) de estos elementos. La velocidad de reacción depende del pH de la solución, siendo más rápida a valores de pH altos. Ya que el manganeso tiene una velocidad de oxidación muy lenta, vía el O_2 (ac), esta técnica no es muy efectiva para la eliminación de Mn^{+2} , excepto a valores de pH mayores de 9.5. Para disminuir las concentraciones de manganeso al nivel deseado, se requieren, frecuentemente, un tiempo mínimo de reacción y un tratamiento químico adicional. Dependiendo de las características del agua cruda, puede ser necesario un tiempo de reacción hasta de algunas horas, después

de la aireación. Si las concentraciones de hierro y manganeso total son altas, algunas veces se usan tanques de sedimentación con dispositivos de colección y purga de lodos, en vez de tanques de retención simples. Las principales desventajas del proceso de aireación-filtración son el costo inicial alto, y el requerimiento de un tiempo de retención y tratamiento químico adicionales, si la concentración de Mn soluble del agua a tratar es mayor a 1 mg/L (Petkova, 1997).

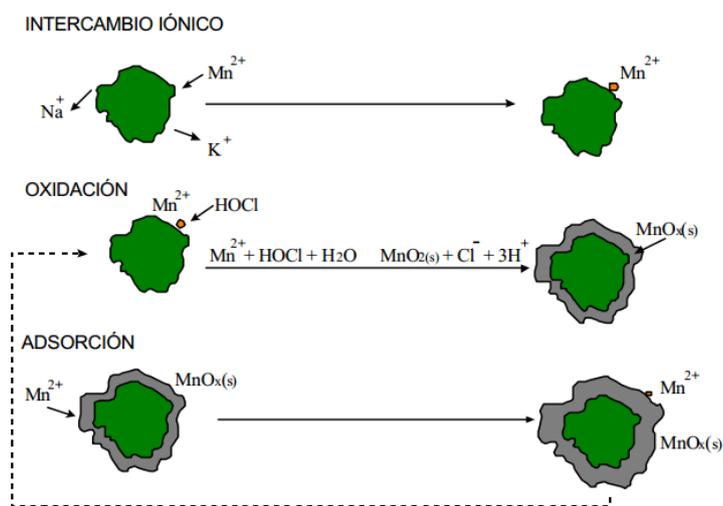


Figura 3.- Etapas del proceso de formación de la capa de óxido de manganeso. Fuente: (Doula, 2006)

2.5.3.2 Oxidación Química seguida por filtración

Si el Fe y Mn una vez oxidados presentan tamaños muy pequeños que no se retienen en los medios granulares de los filtros, se requiere de la aplicación de sustancias químicas (coagulantes y floculantes) para aglomerar las partículas oxidadas y formar flóculos lo suficientemente grandes para ser filtrados.

Los medios filtrantes granulares deben retener sólidos suspendidos (incluyendo el Fe y Mn oxidados) con tamaño mayor a 10 mm. Un lecho filtrante diseñado adecuadamente y operando en condiciones óptimas es capaz de remover la mayoría de las partículas con tamaños de 5 a 10 mm. Las partículas menores a 5 mm normalmente pasan a través del filtro dando como resultado concentraciones residuales de hierro y manganeso en el agua filtrada. (Petkova Simeonova, 1997)

2.6 Zeolita

Según la International Zeolitic Association (IZA): "una zeolita está caracterizada por una estructura de tetraedros enlazados que contiene cavidades en forma de canales y cajas que comúnmente están ocupadas por moléculas de agua y cationes". En las fases hidratadas ocurre la deshidratación a temperaturas

moderadas (fundamentalmente por debajo de 400°C) y ésta es altamente reversible.

2.6.1 Estructura

La zeolita es un mineral naturalmente poroso, descritas como aluminosilicatos hidratados cristalinos que contienen cationes alcalinos y alcalinos térreos intercambiables (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} o Mg^{+2}). (Doula, 2006).

2.6.2 Propiedades de la Zeolita

El interés en la zeolita natural como soporte, se debe al crecimiento de la demanda de materiales de intercambio de iónico y adsorbentes de bajo costo, utilizados en el control de contaminación y recuperación de metales.

Las zeolitas se caracterizan a menudo por las siguientes propiedades, según (Breck, 1974):

- Alto grado de hidratación
- Baja densidad y gran volumen de vacíos cuando están deshidratadas
- Características de intercambio iónico
- Canales de tamaño molecular uniformes en los cristales deshidratados

- Conductividad eléctrica
- Adsorción de gases y vapores
- Características catalíticas

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA

3.1 Metodología de Campo

La recolección de muestras se realizó en la tubería de entrada de los reservorios y en los puntos de abastecimiento de los reservorios de 300m³ y 200m³ en las comunas de Manglaralto y Libertador Bolívar respectivamente. Se realizó el muestreo según las recomendaciones de las normas INEN 2169 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras” y la 2176 “Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de Muestreo”.

3.1.1 Operaciones Previas

Se Preparó de la documentación de campo: Manuales de uso y calibración de aparatos, libretas de campo, etiquetas.

Se revisó y confirmó el buen estado de los Equipos de Muestreo, Comprobación del funcionamiento, estado de Baterías, material de repuesto (pilas, agua destilada.) y se lavó el material con agua corriente y luego con agua destilada.

Se compró recipientes nuevos para cada recolección de muestra. El etiquetado y referenciado de botellas se realizó con etiquetas adhesivas y rotulador indeleble que resista al agua, antes de la toma de muestras.

3.1.2 Envases

Se utilizaron envases plásticos para las muestras destinadas los análisis físicos y químicos, de vidrio ámbar para los análisis de DBO, DQO, Fe y Mn, frascos estériles para coliformes totales y coliformes fecales.

Para las muestras para la determinación de parámetros físicos y químicos, se llenó los frascos completamente y tapó de tal forma que no exista aire sobre la muestra.

Se evitó el contacto con el interior de los tapones durante la manipulación de los envases al coger las muestras. Y se lavó con la misma agua a muestrear.

3.1.3 Metodología de Muestreo

El procedimiento de muestreo se mantuvo uniforme con el fin de garantizar la posibilidad de comparar los resultados de los análisis.

La infraestructura actual no permitió el muestreo inmediatamente después de los reservorios, por lo que se muestreó en casas que se abastecían de dichos reservorios: una en Manglaralto y la otra en Libertador Bolívar que se abastecen de los reservorios de 300m³ y 200 m³ respectivamente.

Simultáneamente a la toma de muestras, se realizaron in situ las medidas de: Temperatura, Conductividad Eléctrica, Salinidad y Sólidos Disueltos Totales.

3.1.4 Conservación, Transporte y Almacenamiento de las muestras

El transporte de las muestras se realizó en envases cerrados herméticamente resguardados de la luz y evitando que la muestra se caliente. Las muestras que necesitaron refrigeración se almacenaron con Hielo hasta su destino.

La entrega en el laboratorio se realizó dentro de las 6 horas posteriores a la toma.

3.1.5 Cuaderno de Campo

Toda toma de muestra llevó consigo una Ficha de Campo (**Anexo 11**) en la que se relacionan los datos y circunstancias necesarias para su identificación y mejor interpretación de los resultados obtenidos que se llenó durante la toma de muestra y que forma parte del cuaderno de campo.

3.2 Metodología de las pruebas de tratabilidad

Las pruebas de tratabilidad fueron realizadas en el Laboratorio de Medio Ambiente 2 del Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales.

Se trabajó con agua de la tubería de entrada de los reservorios de Manglaralto, se midieron los parámetros antes y después de cada prueba.

Se realizaron pruebas basándose en el tratamiento convencional y columnas rellenas de:

- Zeolita Clinoptilolita Natural
- Zeolita Clinoptilolita Activada con NaCl
- Zeolita Clinoptilolita activada con NaCl y KMnO_4
- Resina de intercambio iónico fuertemente ácida

PUROLITE C-100

3.2.1 Tratamiento Convencional

Según el TULAS, LIBRO VI, ANEXO 1, se define como Tratamiento convencional para potabilizar el agua al tratamiento que consta con las siguientes operaciones y procesos: Coagulación, floculación, sedimentación, filtración y desinfección.

Para simular estos procesos, se procedió a realizar el Test de Jarras con cuatro diferentes dosis; Se utilizaron dosis de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ a un pH efectivo de 8,5 que se controló con Cal.

Se agitó lentamente 30 minutos y se dejó reposar por 20 minutos, permitiendo la sedimentación de los flóculos formados.



Figura 4.- EQUIPO: PB-700 TM JARTESTER, Laboratorio DCQA-ESPOL.

3.2.2 Activación de la Zeolita Clinoptilolita

Durante el proceso de activación se quiere conseguir la zeolita cubierta con óxidos de manganeso.

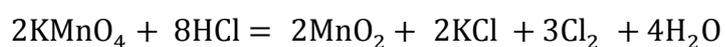
La zeolita se trituró y tamizó; para las pruebas se trabajó con diámetros entre 2 mm y 600 μm .



Figura 5.- Tamizador, laboratorio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingenierías de Ciencias de la Tierra FICT-ESPOL.

La zeolita fue llevada a su forma sódica, suspendiéndola en una solución de NaCl por un periodo de 24h. La nueva Na-zeolita fue lavada con agua destilada y secada en la estufa a 100° C por un periodo de 24 horas para un secado uniforme.

Las Na-zeolitas fueron colocadas en un vaso de precipitación que contenía una solución de permanganato de potasio (KMnO₄) (M. Ritcher H. R., 1999) seguidas de una adición gota a gota de ácido clorhídrico al 37.5% (w_{HCl}/w_{H_2O}), siguiendo la siguiente reacción:



Después de agitar por 1 hora, se lavó la suspensión con agua destilada (para remover los iones de potasio y cloro libres) y luego

fue secada en la estufa a 100°C por 24 horas. (Silvio R. Taffarel, 2010)

3.2.3 Columnas rellenas

Se utilizaron buretas de 300ml con zeolita clinoptilolita activada con cloruro de sodio y óxidos de manganeso para la remoción de Manganese y se dejó pasar el agua a un caudal de 0.03 litros por minuto.



Figura 6.- Buretas con relleno de Zeolita Clinoptilolita
Fuente: Silva M., Vera A.

La Environmental Protection Agency (EPA), recomienda una concentración de 0,77 mg/L de Cl_2 por cada mg/L de Manganese presente, como se muestra:

Tabla VI.- Dosis y condiciones de aplicación de Cl_2 para la oxidación de Hierro y Manganeseo

	Dosis Típica	pH óptimo
Hierro	0,62 mg/ mg Fe	7.0
Manganeseo	0,77 mg/mg Mn	07-ago

Fuente: EPA Guidance Manual 1999

Se tuvo una concentración de 0,7 mg/L de Manganeseo, por lo tanto:

$$0,7 \frac{mg Mn}{L} * \frac{0,77 mg Cl_2}{1 mg Mn} = 0,54 \frac{mg Cl_2}{L}$$

El Cloro Comercial (CLOROX) con 5% de Hipoclorito de Sodio, especifica contener 50g/L de Cl_2 , es decir 50000 mg/L de Cl_2 . Por litro de Agua a tratar se añadiría:

$$V_1 * C_1 = V_2 * C_2$$

$$V_1 * 50000 \frac{mg}{L} = 1L * 0,54 \frac{mg}{L}$$

$$V_1 = 0,00001 L$$

$$V_1 = 0,01 mL$$

Se diluye entonces a una solución 1:100 y se agrega 1 ml de esta solución por cada litro de agua a tratar, se dejó reposar 4 minutos para la reacción y se pasó por las columnas rellenas.

Después del paso por la Zeolita se procedió a medir los parámetros que sobrepasan los límites de la Organización Mundial de la Salud y la Normativa ecuatoriana para el agua de consumo humano como lo son Calcio, Magnesio, Manganeso y Sólidos Disueltos Totales.

3.2.4 Potencial de Hidrógeno y dureza

Se mantuvo un pH alrededor de 7 antes y después de cada prueba, verificándose con tirillas de pH.

Para las mediciones de dureza, se utilizó el 5B Hardness Test Kit de HACH y con los materiales y reactivos incluidos, se llevó a cabo el procedimiento especificado en el kit; se calculó la dureza con la siguiente fórmula:

Número de gotas

$$= \text{Dureza total de la muestra en } \frac{\text{granos}}{\text{galón}} \text{ como } \text{CaCO}_3$$

Se expresaron los resultados en sistema internacional mediante el siguiente factor de conversión:

$$1 \frac{\text{grano}}{\text{galón}} \text{ como } \text{CaCO}_3 = 17.1 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \text{ como } \text{CaCO}_3$$

Si apareció el color azul con un sola gota de titulador, entonces la dureza total es < 1grano por galón.



Figura 7.- Kit de medición de dureza y tirillas de pH.
Fuente: Silva M., Vera A.

3.2.5 Sólidos Totales Disueltos

Durante las Salidas de Campo y las muestras hechas en laboratorios se estimó TDS por medio de la relación directa que tiene con la Conductividad.

$$k * c = T \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

K = Conductividad expresada en μS .

T = Sólidos Disueltos Totales.

c = Coeficiente de correlación (establecido a una temperatura standard)

3.2.6 Manganeso

Para las mediciones de Manganeso se utilizó el fotómetro Spectroquant NOVA 60 marca MERCK (ver figura 6), basado en el Test 14770 para la determinación de la concentración en mg/L de Manganeso (0,010 – 10,00) en el agua de abastecimiento ubicada en los reservorios de la comuna Manglaralto.

Tabla VII.- Intervalo de Medida test de Mn.

Cubeta	Intervalo de medida
Mm	mg/l de Mn
50	0,010 - 2,000
20	0,25 – 5,00
10	0,50 – 10,00

Fuente: Métodos de análisis Spectroquant Nova60. MERCK

La tabla 6 muestra las diferentes cubetas para el fotómetro y su intervalo de medida, basándose en los resultados obtenidos, la concentración de manganeso está entre 0,7 y 1,3 mg/l y según el manual del equipo, para el Test 14770 se selecciona el Método 019 y se procede con el test utilizando

la cubeta de 50mm llevando a cabo la técnica especificada en el Test.

Se midió el blanco, preparado con agua destilada y las demás muestras fueron del agua antes y después del tratamiento.



Figura 8.- Fotómetro NOVA60, Kit de medición de Manganeseo y solución Standard de 1000 ppm de Mn. MERCK. Laboratorio de Medio Ambiente 2. DCQA-ESPOL

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE

RESULTADOS

4.1 Resultados de Laboratorios Externos

Los análisis externos se realizaron en el laboratorio del Dr. Jorge Fuentes. Para los análisis de Hierro, Manganeseo, DBO₅, DQO, coliformes totales y fecales se usaron los servicios de los Laboratorios de Productos y Servicios Industriales (PSI).

Tabla VIII.- Resultados de Iones Mayoritarios del Agua en mEq de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.

PARAMETRO	UNIDAD	12/11/2012	22/01/2013	22/05/2013
pH		7,22	7,04	7,04
CE	uS/cm	1446	1477,2	1363,2
SDT	mg/L	925	945,4	918
Ca	mEq/L	5,46	6	4,2
Mg	mEq/L	2,8	2,8	1,97
Na	mEq/L	5,3	4,2	7,3
K	mEq/L	0,2	0,17	0,17
CO ₃ H	mEq/L	5	6,18	5
SO ₄	mEq/L	4,8	3,6	4,38
Cl	mEq/L	4,7	4,94	3,45

**Fuente: Laboratorio de análisis Dr. Fuentes. Elaborado por:
Silva M., Vera A.**

Tabla IX.- Resultados de N-NO₂ y N-NO₃ del agua en mg/L de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.

PARAMETRO	UNIDAD	12/11/2012	22/01/2013	22/05/2013
N-NO ₂	mg/L	0,037	0,04	0,129
N-NO ₃	mg/L	0,69	0,009	0,134

Fuente: Laboratorio de análisis Dr. Fuentes. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Tabla X.- Resultados de análisis bacteriológicos del agua de entrada a los reservorios.

PARAMETROS	UNIDADES	12/11/2012	22/01/2013	22/05/2013
DBO ₅	mg O ₂ /L	6	2	< 2
DQO	mg O ₂ /L	< 50	86	< 50
CT	NMP/100ml	3,2*10 ⁴	Ausencia	Ausencia
CF	NMP/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia

Fuente: Laboratorio de Análisis PSI. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Tabla XI.- Resultados de análisis de hierro y manganeso del agua de entrada a los reservorios. Laboratorios externos.

PARAMETROS	UNIDADES	12/11/2012	22/01/2013	22/05/2013
Fe	mg/L	0,02	0,05	0,01
Mn	mg/L	1,3	0,7	0,6

Fuente: Laboratorio de Análisis PSI. Elaborado por: Silva M., Vera A.

4.2 Análisis de resultados

A continuación se muestran varios diagramas de los resultados obtenidos durante las tres fechas de muestreo. Los diagramas y cuadros a continuación fueron elaborados con el programa DIAGRAMMES versión 5.9.

4.2.1 Caracterización físico-química del agua de entrada a los reservorios

El agua de la entrada de los Reservorios con respecto a la normativa ecuatoriana para agua de consumo humano, sobrepasa sus valores máximos para la dureza, los sólidos disueltos totales y concentración del ion manganeso.

Los resultados muestran un agua de características cálcicas-sódicas con alto contenido de bicarbonatos, sulfatos y cloruros.

A continuación se muestran gráficos de la calidad del agua a tratar durante los tres muestreos realizados en los meses noviembre del año 2012, enero y mayo del año 2013:

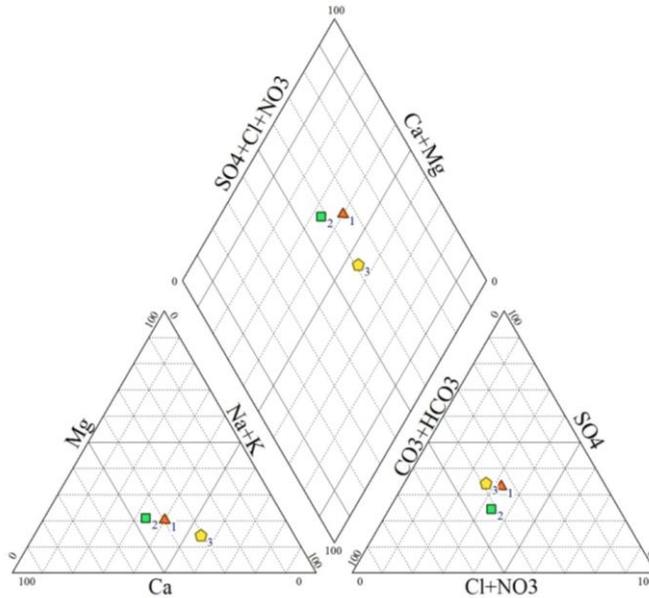


Figura 9.- Diagrama de Piper de la entrada de los reservorios para las muestras (1) 12/11/2012, (2) 22/01/2013 y (3) 22/05/2013. Elaborado por: Silva M., Vera A.

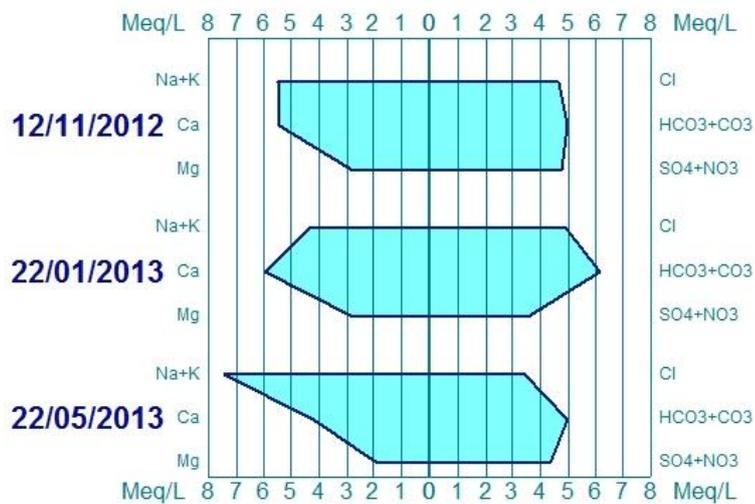


Figura 10.- Diagrama de Stiff de la entrada de los reservorios. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Con el diagrama de Stiff se puede apreciar el incremento de la concentración del ión Na y K durante la época lluviosa, así como la disminución del ión Mg.

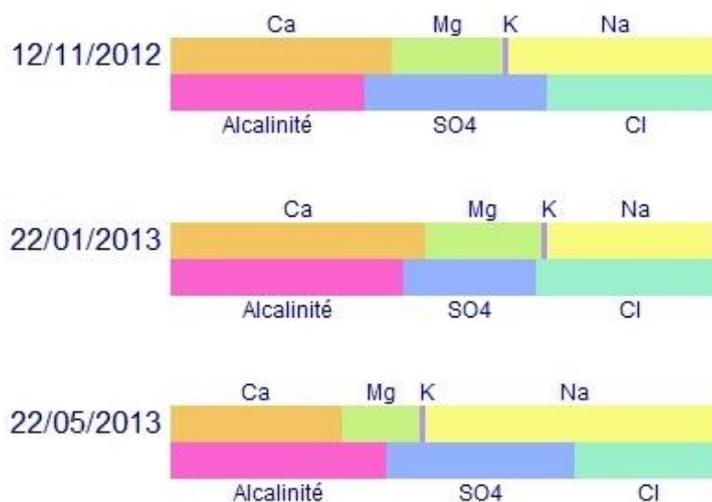


Figura 11.- Diagrama de barras de Stabler de la entrada de los reservorios. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Con este diagrama se pueden hacer estimaciones de las cantidades en mEq de las hipotéticas combinaciones de los iones. También permite hacer comparaciones de las diferentes muestras: en el mes de enero hay mayor cantidad de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ con respecto a los otros meses; Así como que se puede observar que solo se forma $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ en el mes de mayo. Esto da las pautas necesarias para lo que serían las pruebas para el test de jarras para un supuesto tratamiento convencional.

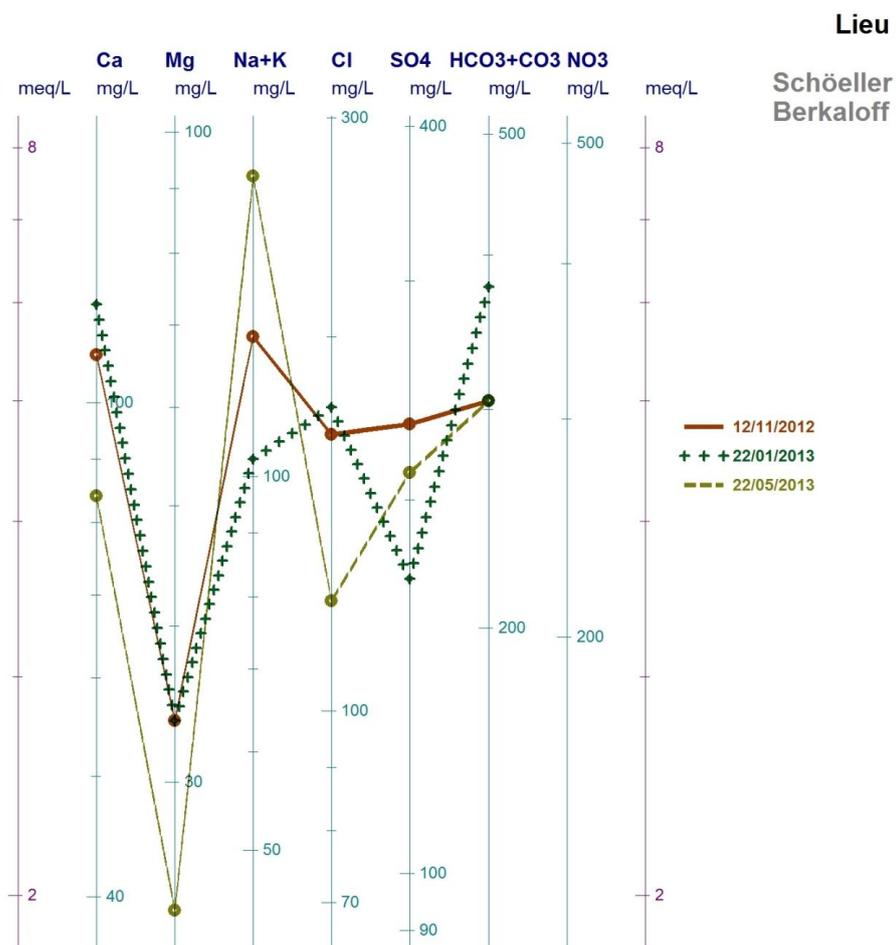


Figura 12.- Diagrama de Schoeller-Berkaloff de los iones mayoritarios en las diferentes fechas de muestreo. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Aquí se puede observar las variaciones de cada uno de los iones en las tres fechas de muestreo, se ordena en mEq/l y al mismo tiempo en mg/l.

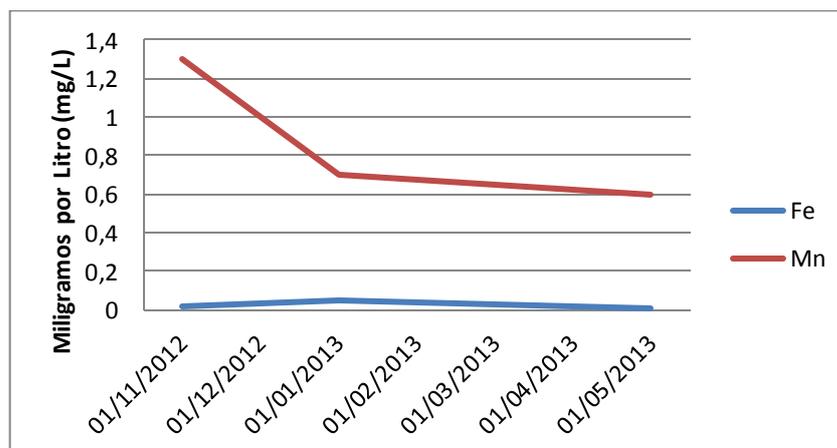


Figura 13.- Variación de la concentración de Hierro y Manganeseo en las diferentes fechas de muestreo. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Durante los meses que no llueve se aprecia que hay un incremento en la concentración del ión manganeso mientras que el ión hierro se mantiene constante en todo el año, debajo de los límites máximos permitidos para el agua de consumo humano.

Se concluye que el tratamiento debe estar dirigido a las altas concentraciones de calcio, magnesio y manganeso, así como a la conductividad. Se realizaron pruebas simulando el convencional y con columnas rellenas de zeolita clinoptilolita y resina catiónica; los mismos que se muestran en el siguiente subcapítulo.

4.3 Ensayos de Laboratorio

En el capítulo III se menciona la metodología utilizada para cada una de las pruebas de tratabilidad de las cuales se obtuvieron diferentes resultados según la prueba realizada.

4.3.1 Resultados del test de jarras.

Las dosis se escogieron de acuerdo a la caracterización del agua ya especificada.

Aproximadamente 4,2 mEq de $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ y 1,5 de MgSO_4 que se tratan normalmente con Cal; En total 5,7 mEq.

$$\left(5,7\text{mEq} * \frac{28\text{mg}}{\text{mEq}}\right) + 35\text{mg} = 194,6\text{mg/L} \approx 200\text{mg/L}$$

Donde 28mg es el peso por miliEquivalente del CaO (mayor % en cal) y 35mg es el exceso permitido por la American Water Works Association para la recarbonatación del agua.

Como las jarras tienen una capacidad de 2 litros, se utilizó el doble de la dosis, es decir: 400mg en cada 2 litros.

Se pudo observar que el pH óptimo era 9, pH en el cual se logra que la oxidación del ión Mn se lleve a cabo en su totalidad. Después de 30 minutos de agitación y 20 minutos de reposo se obtuvieron lo siguientes resultados:

Diferentes Dosis:

Tabla XII.- Test de jarra 1 con dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal.

JARRA	TEST 1			
	1	2	3	4
CAL (g)	0,5059	0,5012	0,4033	0,4082
Al₂(SO₄)₃ ml	0	4	0	3
pH0	6,5	6,5	6,5	6,5
pH1	8,5	8,5	8	8
pH2	7	5	7	5
LODOS (cm)	-	1,5	-	0,9
Dureza0	324,9	324,9	324,9	324,9
Dureza1	222,3	376,2	256,5	376,2
Mn0	0,374	0,374	0,374	0,374
Mn1	0,106	0,395	0,08	0,279
Conduc. 0	1395	1395	1395	1395
Conduc. 1	1216	1605	1276	1541

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Tabla XIII.- Test de jarra 2 con dosificación de Sulfato de Aluminio y Cal.

JARRA	TEST 2			
	1	2	3	4
CAL (g)	0,5085	0,6043	0,4011	0,5023
Al₂(SO₄)₃ ml	0	3	0	2
pH0	6,5	6,5	6,5	6,5
pH1	8	8	8	8
pH2	7	5	7	5
LODOS (cm)	0,1	0,9	-	0,7
Dureza0	324,9	324,9	324,9	324,9
Dureza1	239,4	273,6	256,5	273,6
Mn0	0,384	0,384	0,384	0,384
Mn1	0,037	0,165	0,054	0,132
Conduc. 0	1396	1396	1396	1396
Conduc. 1	1256	1398	1263	1351

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Como se puede apreciar los mejores resultados dieron cuando no se dosificó $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$. Con una dosis adecuada de cal sería suficiente para el tratamiento, bajando así la dureza y la concentración de Manganeseo.

Repetitividad dosis efectiva:

Se procedió a repetir el test para las dosis de cal de 0,5 y 0,4 mg sin adición de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tabla XIV.- Prueba de repetitividad para dosis de 0,4 y 0,5 de cal.

JARRA	TEST 3			
	1	2	3	4
CAL (g)	0,5003	0,5037	0,4028	0,4089
$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ml	0	0	0	0
pH0	6,5	6,5	6,5	6,5
pH1	8	8	7,5	7,5
pH2	7	7	6,5	6,5
LODOS (cm)	-			-
Dureza0	324,9	324,9	324,9	324,9
Dureza1	205,2	222,3	273,6	273,6
Mn0	0,384	0,384	0,384	0,384
Mn1	0,061	0,052	0,09	0,078
Conduc. 0	1395	1395	1395	1395
Conduc. 1	1120	1125	1280	1272

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Fácilmente se puede apreciar que la dosis de 0,5 g/L de Cal dio mejores resultados, bajando la dureza inicial y dejando por debajo del límite máximo permisible la concentración de Manganeseo;

además de mantener un pH óptimo final de 7 y reducir en alrededor de 200 unidades la conductividad.

4.3.2 Resultados con Zeolita Natural

Se evidenció que la zeolita natural sin activación alguna no da buenos resultados y se satura rápidamente.

4.3.3 Resultados con zeolita activada con Cloruro de Sodio

Después de activar la zeolita con cloruro de sodio, se pudo remover el manganeso de forma adecuada hasta el cuarto litro después de cada regeneración, y a la vez se pudo observar que aparte de la remoción de Manganeso, también removi6 de manera parcial la dureza como se indica en la tabla.

Tabla XV.- Resultados de pruebas de Tratabilidad con Zeolita Clinoptilolita activada solamente con NaCl y 2 regeneraciones del filtro.

Litros	pH	ppm Mn	grano/gal6n	ppm CaCO ₃ / L
1	7,45	0,003	1	17,1
2	7,3	0,036	4	68,4
3	7,38	0,98	8	136,8
4	7,37	0,142	11	188,1
1	7,43	0	1	17,1
2	7,18	0,021	4	68,4
3	7,2	0,081	10	171
4	7,2	0,224	16	273,6
1	7,27	0	1	17,1
2	7,15	0,015	2	34,2
3	7,12	0,099	6	102,6
4	7,42	0,074	8	136,8

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Como se puede observar, un filtro con este material necesitará de regeneraciones muy seguidas, transformándose en un tratamiento no adecuado para el agua de estudio.

Según el IMTA, en Mexico, se realiza la purificación del agua subterránea a base de filtros con lechos de zeolita clinoptilolita activada con NaCl añadiendo hipoclorito, para comprobar esto se realizaron pruebas con una solución Standard de Mn diluida a 1,5 ppm. Antes de pasar por el filtro, se le añadió 1ml de NaClO siguiendo la relación 0,77mg de Cl por cada 1mg de Mn en el agua, donde se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla XVI.- Prueba de solución estándar de Mn con un filtro de zeolita activada con NaCl.

Litros	pH	ppm Mn	grano/galón	ppm CaCO ₃ / L
1	5	0,061	0	0
2	5	0,037	0	0
3	5	0,012	0	0
4	5	0,005	0	0
5	5	< 0,01	0	0
6	5	< 0,01	0	0
7	5	< 0,01	0	0
8	5	< 0,01	0	0
9	5	< 0,01	0	0
10	5	< 0,01	0	0

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Al observar la eficiencia de esta prueba, se procedió a tratar el agua de Manglaralto, dando como resultado que el agua de salida del filtro ocasionaba interferencia con los reactivos para medir la dureza y la concentración de manganeso, mostrando valores más

altos que los de la entrada. Se asume que el hipoclorito o el sodio estaban reaccionando de manera inadecuada. El pH se mantuvo en 7.

4.3.4 Resultados con zeolitas recubiertas con Oxido de Manganeso

Se dio el mismo caso que con la zeolita activada con cloruro de sodio a la que se agrega 1ml de hipoclorito antes del paso por el filtro.

4.3.5 Resultados con Resinas de Intercambio Catiónico

Se realizaron pruebas con un filtro de resina de intercambio iónico fuertemente ácida PUROLITE C-100, donde los resultados se repitieron hasta el litro 15 sin ningún cambio.

Tabla XVII.- Resultados de pruebas de Tratabilidad con Resina Sintética activada con NaCl.

Litros	pH	ppm Mn	grano/galón	ppm CaCO3 /L
1	7,59	0	0	0
2	7,1	0	0	0
3	7,15	0	0	0
4	7,06	0	0	0
5	7,41	0	0	0

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Este tipo de agua no es ideal para consumo humano, ya que al realizar el intercambio catiónico se pierden minerales importantes

como el calcio y magnesio; y poseen una concentración elevada de sodio y potasio.

4.4 Comparación de los Resultados

Se pudo observar que las pruebas de tratabilidad realizadas con Zeolita Clinoptilolita y la resina catiónica no dieron los resultados esperados, finalmente el tratamiento convencional resultó más eficiente con respecto a los resultados obtenidos.

4.5 Planteamiento de un diseño para el tratamiento de agua subterránea.

Se plantea el uso de una planta de tratamiento convencional donde se encuentren operaciones como: la aireación, la floculación, coagulación, filtración y cloración.

Con la aireación se eliminarán olores y compuestos orgánicos volátiles, se disminuiría la concentración de CO_2 , se oxigenará el agua que tiene bajas concentraciones de oxígeno disuelto y finalmente incidirá en la oxidación de metales como el hierro y el manganeso.

Seguido de la aireación la operación de mezcla rápida para la adición de cal; el floculador para la formación de los flóculos y la mezcla lenta; a continuación la sedimentación donde el agua por rebose

pasaría a filtros para retención de flóculos. Finalmente se añadirá el cloro dosificado según lo requerido.

Después de este tratamiento se espera obtener un agua cuya calidad este apta para consumo humano, reducir la dureza al menos a 100ppm expresados como CaCO_3 , conductividades menores a 500 uS/cm y finalmente concentraciones de manganeso menores a 0,1 ppm.

El espacio físico y las dimensiones y número de tanques, tuberías y dosificadores, se detallan en el capítulo de diseño.

CAPITULO V

PROPUESTA PARA DISEÑO DE UN

SISTEMA PARA TRATAMIENTO

DE AGUA SUBTERRÁNEA

5.1 Selección del sitio

La selección del sitio se realizó de acuerdo a la disponibilidad física con la cual cuenta la Junta Regional de Agua Potable de Manglaralto, se localizó el posible lugar de la planta cerca de los reservorios de agua, este espacio está disponible y es cercano al dosificador de cloro gas entregado por el gobierno nacional a principios del año. Se presenta fotografías del espacio disponible en el **Anexo 7**.

5.2 Diseño

Según registros de la JRAPM el consumo diario de agua está alrededor de los 1000m^3 . Este volumen se lo obtiene llenando dos veces al día los reservorios de 200m^3 y 300m^3 , los mismos que tienen un tiempo de llenado de aproximadamente 7 horas.

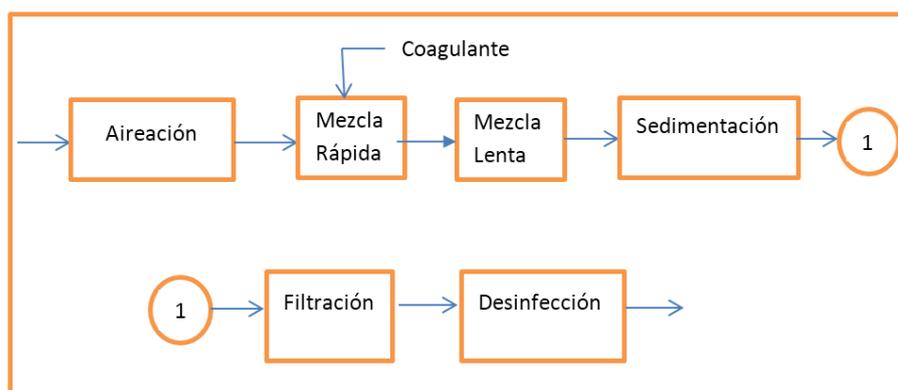


Figura 14.- Diagrama de bloques del tratamiento propuesto
Elaborado por: Silva M, Vera A

A continuación el cálculo de caudal de entrada:

$$\frac{500m^3}{7h} = 1728 \frac{m^3}{día} = 20 \frac{l}{s}$$

5.2.1 Sistema de Aireación

Para el sistema de aireación se seleccionó un aireador de bandejas el cual consiste en una serie de bandejas equipadas con fondos perforados, sobre las cuales se distribuye el agua y se deja caer a un tanque receptor en la base.

5.2.1.1 Diseño del Aireador

Según (Rojas, Aireación , 2006) se requiere mantener el agua en el aire 1,7 s. Si se utiliza una boquilla de 2,54cm de diámetro, con un coeficiente de descarga $C_d=0,85$ (Arboleda, Vargas, & Correal, 1969) y la boquilla forma un ángulo de 85° con la horizontal.

Para calcular la velocidad inicial es ideal la ecuación de Newton para movimiento uniformemente variado.

$$Y = (V_o \sin \phi)t - \frac{gt^2}{2} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$0 = (V_o \sin 85) \times 1,7 - \frac{9,8 \times 1,7^2}{2}$$

$$V_o = 8,36 \text{ m/s}$$

De igual manera con la ayuda de las ecuaciones de Newton se calcula la distancia que alcanza el chorro de agua que sale por la boquilla.

$$x = (V_o \cos \emptyset) * t$$

$$x = (8,36 \cos 85) * 1,7$$

$$x = 1,24 \text{ m}$$

El caudal por boquilla:

$$Qb = V_o * Ab \quad \textbf{Ecuación 3}$$

Donde:

Ab: área de la boquilla, m².

V_o: velocidad inicial, m/s.

$$Qb = 8,36 * \frac{0,0254^2 \pi}{4}$$

$$Qb = 4,24 \text{ l/s}$$

La presión de trabajo requerida se despeja de la siguiente ecuación para la descarga:

$$Qb = C_d Ab \sqrt{2gh} \quad \textbf{Ecuación 4}$$

Donde:

V_o= velocidad inicial, m/s.

g= aceleración de la gravedad, m/s².

h= energía total sobre la tobera, generalmente 1,2-9m (Fair & Geyer, 1954); 7,1-14,2m (Steel & McGhee, 1979).

C_d = coeficiente de descarga, determinado experimentalmente para la boquilla, según su tipo y forma, generalmente está entre 0,75-0,95 (Arboleda, Vargas, & Correal, 1969); 0,6-0,92 (Droste, 1997).

A_b = área de la tobera, m^2 .

Q_b = descarga, m^3/s .

La presión de trabajo es:

$$h = \frac{Q^2}{2g(C_d A)^2}$$

$$h = \frac{\frac{4,24 l^2}{s}}{((5,06 \times 10^{-4}) * 0,85)^2 * 2g}$$

$$h = 4,94 m \therefore 49 kPa$$

Se calcula el número de boquillas dividiendo el caudal de diseño para el caudal por boquilla, de la siguiente manera:

$$N_{boquillas} = \frac{Q}{Q_b} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$N_{boquillas} = \frac{\frac{20 l}{s}}{4,24 \frac{l}{s}}$$

$$N_{boquillas} = 4,7169 \approx 5$$

Se necesitan 5 boquillas. Si se deja 0,1 m a cada lado de los tubos extremos y la distancia entre boquillas es de 0.4 m entre sí, el aireador tiene un área de $1 m^2$.

La AWWA recomienda una carga hidráulica mayor a 500 m/día, se adopta una carga de $6 \frac{l}{s \cdot m^2}$ que es igual a:

$$T.A. = 518,40 \frac{m^3}{m^2 \text{ día}}$$

Donde T.A. es la carga hidráulica del aireador.

El área del aireador es igual al caudal de entrada sobre la carga hidráulica:

$$A = \frac{Q}{T.A.} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$A = \frac{1728 m^3 / \text{día}}{518,40 m^3 / m^2 \text{ día}} = 3,34 m^2$$

Según el autor Jairo Romero Rojas en la segunda edición de su libro Purificación del agua, recomienda una altura de la torre de 2-3 m para este tipo de caudal. Y un área requerida para bandejas entre 0.05 y 0.15 m² por l/s de agua tratada y un espacio entre las mismas de 0.6 a 0.7m de separación.

$$A_{ban} = 0.05 * 20 l/s = 1 m^2$$

$$A_{ban} = 0.15 * 20 l/s = 3 m^2$$

El área de la bandeja debe estar entre 1 y 3 m².

$$A_{ban} = 1m * 1m = 1 m^2$$

El número total de bandejas se obtiene dividiendo el área total del aireador para el área de las bandejas:

$$N_b = \frac{A_T}{A_{ban}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde A_T es el área total de bandejas y A_{ban} es el área de las bandejas. Entonces:

$$N_b = \frac{3,34m^2}{1m^2} = 3,34 \cong 4$$

El aireador debería llevar 4 bandejas.

El tiempo de exposición se lo determina mediante la ecuación:

$$t = \sqrt{\frac{2HN_b}{g}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde

H: altura de la torre

N_b : número de bandejas

g: gravedad

$$t = \sqrt{\frac{2 * 2.8 * 4}{9.8}} = 1.51 \text{ s}$$

Cálculo de orificios de la bandeja

Un diámetro típico de los orificios de un aireador de bandejas es de 5mm con una separación de 2.5cm entre sí y 2.75 cm del orificio del borde hasta el extremo (Rojas, Aireación , 2006).

$$N(0.5) + (N + 1)(2,5) = 100 \text{ cm}$$

$$0.5N + 2.5N = 100\text{cm} - 2.5 \text{ cm}$$

$$3N = 97.5 \text{ cm}$$

$$N = 32,5 \approx 32$$

El número de orificios para la primera bandeja es 32, a continuación se verifica la longitud de la bandeja:

$$L = (32 * 0.5) + (31 * 2.5) + (2 * 2,75) = 99 \text{ cm}$$

El área total de orificios está dada por la siguiente fórmula:

$$A_o = \frac{\pi(D_o)N_l N_a}{4} \quad \textbf{Ecuación 9}$$

Donde D_o : diámetro del orificio

N_l : N° orificios de a lo largo

N_a : N° orificios a lo ancho

De lo cual se tiene:

$$A_o = \frac{\pi(0.5)^2(32)(32)}{4}$$

$$A_o = 201,96 \text{ cm}^2 = 0,02 \text{ m}^2$$

La velocidad de flujo está dada por la relación del caudal sobre el área de la bandeja.

$$v = \frac{Q}{A} \quad \textbf{Ecuación 10}$$

$$v = \frac{0.02 \text{ m}^3 / \text{s}}{0.02 \text{ m}^2} = 1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Para orificios sin entradas redondeadas se utiliza un factor $C_v=0.82$, entonces la altura de la lámina de agua será:

$$H = \frac{v^2}{2g C_v^2} \quad \textbf{Ecuación 11}$$

$$H = \frac{(1 \text{ m/s})^2}{2 * 9.8 * (0.82)^2} = 0.076 \text{ m}$$

La altura de la lámina de agua es de aproximadamente 8 cm. Como las bandejas son de las mismas dimensiones, el cálculo anterior se aplica a las otras tres; la bandeja inferior, receptora del agua aireada, tendrá la misma área pero diez centímetros más de profundidad y tendrá salida directa al vertedero para la mezcla rápida.

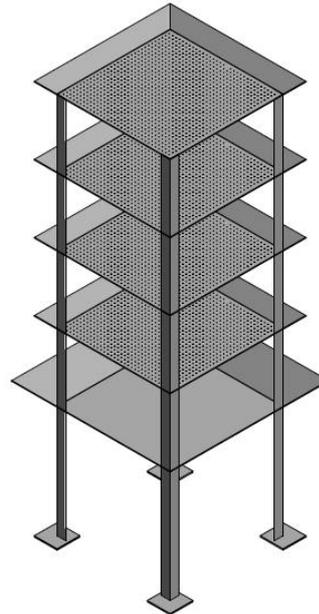


Figura 15.- Aireador de Bandejas. Elaborado por: Silva M, Vera A

El aireador contará con 4 bandejas perforadas, separadas 0.6 cm y una bandeja receptora. La altura entre la primera bandeja y las boquillas será de 40cm y la altura final del aireador es de 2.8 m como se indica en el **Anexo 9, Dibujo 5.**

Tubería de Impulsión

Se adopta una velocidad de 2 m/s con $Q = 0,02 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$ se tiene un diámetro de:

$$D = \sqrt{\frac{Q*4}{v*\pi}} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$D = \sqrt{\frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s} * 4}{2 \text{ m/s} * \pi}}$$

$$D = 0,11 \text{ m (diámetro comercial, 110 mm)}$$

Para el cálculo de las pérdidas, se calcula la altura estática de bombeo:

$$H_1 = h_{\text{RESERVORIO}} + h_{\text{VERTEDERO}} + h_{\text{AIREADOR}}$$

$$H_1 = 3,9 \text{ m} + 1 \text{ m} + 2,8 \text{ m}$$

$$H_1 = 7,7 \text{ m}$$

Las pérdidas por tuberías se determinan mediante la fórmula de Hazen Williams:

$$H_2 = 10,67 * \left(\frac{Q}{C}\right)^{1,852} * \frac{L}{D^{4,87}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde:

C: Coeficiente de Hazen Williams, 150 para tuberías de PVC.

L: Longitud total de la tubería

D: diámetro de la tubería

$$H_2 = 10,67 * \left(\frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1,852} * \frac{20 \text{ m}}{(0,1 \text{ m})^{4,87}}$$

$$H_2 = 0,66 \text{ m}$$

La pérdida por accesorios por el método de longitud equivalente de Hazen Williams.

Cálculo de la longitud equivalente (LE)

Según las fórmulas dadas en la tabla del **Anexo 5**.

$$LE = (0,67D + 0,09)(C/100)^{1,85}$$

$$LE = (0,67 * 4,4 + 0,09)(150/100)^{1,85}$$

$$LE = 6,43 \text{ m}$$

Un codo de 90° de 110 mm de diámetro equivale a 6,43 metros en tubería lisa, se utilizarán 4 codos lo que equivale a 25,72 metros de tubería.

$$H_3 = 10,67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * \frac{LE}{D^{4,87}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde LE es longitud equivalente de los accesorios.

$$H_3 = 10,67 * \left(\frac{0,02 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1,852} * \frac{25,72}{(0,11 \text{ m})^{4,87}}$$

$$H_3 = 0,85 \text{ m}$$

La Altura Dinámica Total del Bombeo ADT representa todos los obstáculos representados en metros que el líquido impulsado debe vencer para llegar al punto específico, donde se considera la altura que debe alcanzar el líquido, las pérdidas por tuberías y accesorios:

$$ADT = H_1 + H_2 + H_3 \quad \textbf{Ecuación 15}$$

$$ADT = 7,7 \text{ m} + 0,66 \text{ m} + 0,85 \text{ m}$$

$$ADT = 9,21 \text{ m}$$

Para el cálculo de la potencia de la bomba.

$$Hp = \frac{w * ADT}{75 * \frac{n}{100}} \quad \textbf{Ecuación 16}$$

Donde w es el flujo másico y n el porcentaje de eficiencia de la bomba, se considera 60-70 para bombas entre 2 y 10 Hp.

Se adopta 65% de eficiencia.

$$w = \rho * Q = 1000 \text{ Kg}/\text{m}^3 * 0,02 \text{ m}^3/\text{s} = 20 \text{ Kg}/\text{s}$$

$$Hp = \frac{20 * 9,21}{75 * \frac{65}{100}}$$

$$Hp = 3,77$$

Se recomienda una Bomba de 4Hp para elevar el agua desde el reservorio hasta el aireador.

5.2.2 Sistema de mezcla rápida

5.2.2.1 Diseño del vertedero rectangular de mezcla rápida

Para el sistema de mezcla rápida se seleccionó un vertedero rectangular sin contracciones laterales extendido a lo ancho de canal en caída libre, ya que es efectivo para plantas pequeñas y proporciona un ahorro de energía debido a que su mezcla es por gravedad. El coagulante a utilizar es cal.

Se adopta un ancho B del vertedero de 0,5m y una altura P del vertedero de 1m. Con esto tenemos que el caudal por unidad de ancho del vertedero está dado por la ecuación:

$$q = \frac{Q}{B} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$q = \frac{0,02}{0,5} = 0,04$$

La profundidad crítica de flujo está dada por:

$$h_c = \left(\frac{q^2}{g}\right)^{1/3} \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde g es la gravedad y q es el caudal por unidad de ancho del vertedero.

$$h_c = \left(\frac{0,04^2}{9,8}\right)^{1/3} = 0,054 \text{ m}$$

El número de Froude debe estar comprendido entre 4.5 y 9 para que haya un resalto estable y mezcla eficiente. El mismo está dado por la siguiente ecuación:

$$F = \frac{V_1}{\sqrt{gh_1}} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * h_c}{1.06 + \sqrt{\frac{P}{h_c} + 1.5}} \quad \text{y} \quad \text{Ecuación 20}$$

$$V_1 = \frac{q}{h_1} \quad \text{Ecuación 21}$$

Se tiene que:

$$h_1 = \frac{\sqrt{2} * 0.54}{1.06 + \sqrt{\frac{1}{0.054} + 1.5}} = 0.0124 \text{ m}$$

$$V_1 = \frac{0.04}{0.0124} = 3.22 \text{ m/s}$$

Y el número de Froude:

$$F = \frac{3.33}{\sqrt{9.8 * 0.0124}} = 9.23$$

Se puede observar que el número de Froude se encuentra por encima del límite máximo que es 9, esto sólo nos indica que la mezcla va a ser brusca pero eficiente.

Para el cálculo de pérdida de energía, se utiliza la fórmula de Belanger:

$$h = \frac{(h_2 - h_1)^3}{4 h_1 h_2} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde h_2 está dada por:

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left(\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right) \quad \text{Ecuación 23}$$

Se obtiene:

$$h_2 = \frac{0.0124}{2} \left(\sqrt{1 + 8 * 9,23^2} - 1 \right)$$

$$h_2 = 0.156 \text{ m}$$

Se determina la pérdida de energía.

$$h = \frac{(0.156 - 0.012)^3}{4 * 0.156 * 0.012} = 0.398 \text{ m}$$

La longitud de resalto L_j , según Smetana, está dada por:

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

Se tiene:

$$L_j = 6(0,156 - 0,012) = 0,864 \text{ m}$$

La velocidad media de resalto V_m está dada por la ecuación

(23).

$$V_m = \frac{V_1 + V_2}{2} \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde V_2 es:

$$V_2 = \frac{q}{h_2} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$V_2 = \frac{0,04}{0,156}$$

$$V_2 = 0.256 \text{ m/s}$$

La velocidad media de resalto es:

$$V_m = \frac{3.22 + 0.256}{2} = 1,738 \text{ m/s}$$

El tiempo de mezcla rápida está dado por la ecuación 25.

$$t_{mr} = \frac{L_j}{V_m} \quad \textbf{Ecuación 26}$$

$$t_{mr} = \frac{0,864}{1,738}$$

$$t_{mr} = 0.497 \text{ s}$$

El gradiente de velocidad está dado por la ecuación:

$$G = \sqrt{\frac{\gamma h}{\mu t}} \quad \textbf{Ecuación 27}$$

$$G = \sqrt{\frac{9800 \text{ N/m}^3 \times 0,398 \text{ m}}{0,00089 \text{ m}^2/\text{s} \times 0,497 \text{ s}}}$$

$$G = 2939,49 \text{ s}^{-1}$$

Para el cálculo de distancia a la cual se debe agregar el coagulante, se utiliza la ecuación de Scimeni, donde P es la altura del vertedero y H la altura del agua.

Ecuación de Scimeni

$$L_m = 1.45P^{0.54}H^{0.46} \quad \textbf{Ecuación 28}$$

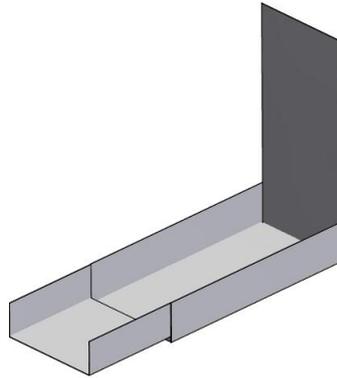
El valor calculado de L_m , no contiene el valor de la distancia correspondiente al ancho de la lámina de agua vertiente en el punto de reposo. Para vertederos rectangulares de pared gruesa se usa la siguiente ecuación deducida experimentalmente.

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

Ecuación 29

$$L_m = 4,3 * 1^{0,1} * 0,05^{0,9}$$

$$L_m = 0,29 \text{ m}$$



**Figura 16.- Vertedero Rectangular de Mezcla Rápida.
Elaborado por: Silva M, Vera A**

5.2.3 Floculación

La floculación es a la aglomeración de partículas coaguladas en partículas floculentas. Los objetivos básicos de la floculación son reunir microflóculos para formar partículas con peso específico superior al del agua y compactar el flóculo disminuyendo su grado de hidratación para producir baja concentración volumétrica, lo cual produce una alta eficiencia en los procesos posteriores como sedimentación y filtración. (Rojas, Floculación, 2006)

En la floculación, una vez introducido el coagulante, las partículas coaguladas entran en contacto una con otra, y con las demás partículas presentes mediante agitación lenta prolongada, durante la cual las partículas se aglomeran, incrementan su tamaño y adquieren mayor densidad.

5.2.3.1 Diseño del Floculador

Para este sistema se seleccionó un floculador hidráulico de flujo horizontal que consiste en un tanque de concreto dividido por pantallas de concreto u otro material, ordenados de tal forma que el agua haga un recorrido de ida y vuelta alrededor de los extremos libres de las pantallas.

Se estiman 10 min de mezcla lenta. El volumen de la cámara de floculación está dado por la ecuación:

$$V = Q \times t \quad \text{Ecuación 30}$$

$$V = 1728 \frac{m^3}{día} * 10 \text{ min} \frac{1 \text{ día}}{1440 \text{ min}}$$

$$V = 12 \text{ m}^3$$

La profundidad de agua en la cámara de floculación es de 1 m y su largo es de 4 m, con estos datos se calcula el ancho de la cámara:

$$w = \frac{V}{P * L} \quad \text{Ecuación 31}$$

$$w = \frac{12 \text{ m}^3}{1 \text{ m} * 4 \text{ m}}$$

$$w = 3 \text{ m}$$

Para floculadores hidráulicos de flujo horizontal la (INEN, 2012), recomienda el uso de 3 cámaras con un mismo ancho (w), para el cual:

$$w_c = \frac{w}{3}$$

$$w_c = \frac{3}{3}$$

$$w_c = 1 \text{ m}$$

Y el tiempo de retención para cada cámara será:

$$t_c = \frac{t}{3}$$

$$t_c = \frac{10}{3}$$

$$t_c = 3,33 \text{ min}$$

Se asume un gradiente de velocidad para cada cámara, 50s^{-1} para el primer tramo, 35s^{-1} para el segundo tramo y 25s^{-1} para el último tramo.

Utilizado la fórmula de Ritcher para el cálculo del número de pantallas en la primera sección del floculador, con un μ de $1,14\text{ Pa}\cdot\text{s}$, se tiene:

$$N = \left\{ \left[\frac{2\mu t}{\rho(1,44 + f)} \right] \left(\frac{HLG}{Q} \right)^2 \right\}^{1/3} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

N: número de pantallas.

μ : viscosidad dinámica, $\text{Pa}\cdot\text{s}$.

t: tiempo de retención, s.

ρ : densidad del agua, kg/m^3 .

f: coeficiente de fricción,

H: profundidad de flujo, m.

L: longitud del floculador, m.

G: gradiente de velocidad, s^{-1} .

Q: caudal, m^3/s .

Se tiene un coeficiente de fricción de 0,3.

$$N = \left\{ \left[\frac{2 * (1,14 \times 10^{-3}) * 3,3 * 60}{1000 * (1,44 + 0,3)} \right] \left(\frac{10 * 50 * 86400}{1728} \right)^2 \right\}^{1/3}$$

$$N = 54,49 \approx 54$$

La distancia entre paneles será:

$$e = \frac{L}{N} \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

L: largo del floculador, m.

N: número de pantallas.

$$e = \frac{4 \text{ m}}{54}$$

$$e = 7,5 \text{ cm}$$

Considerando un espesor de pantalla de 10mm, alcanzan solamente 46 pantallas con un espacio e de 7,5cm.

La pérdida de energía para la primera sección del floculador, se calcula por la ecuación:

$$h_1 = \frac{\mu t G^2}{\rho g} \quad \text{Ecuación 34}$$

$$h_1 = \frac{(1,14 \times 10^{-3}) * 3,3 * 60 * 50^2}{1000 * 9,8}$$

$$h_1 = 0,057 \text{ m}$$

La velocidad del flujo se la calcula como lo indica la **ecuación 9**.

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

$$v = \frac{1728}{86400 * 1 * 0,075}$$

$$v = 0,23 \text{ m/s}$$

La distancia libre entre el extremo de cada pantalla y la cámara de floculación será igual a 1,5 veces el ancho del canal, de acuerdo con la (INEN, 2012).

$$d_{pan} = 1,5e \quad \textbf{Ecuación 35}$$

$$d_{pan} = 1,5 * 0,075 \text{ m}$$

$$d_{pan} = 0,1125 \text{ m}$$

Utilizando la **ecuación 32** para calcular el número de pantallas en la segunda cámara:

$$N = 42,96 \approx 42 \text{ pantallas}$$

De la misma manera, se utiliza la **ecuación 33** para el cálculo de la distancia entre paneles.

$$e_2 = \frac{4}{42}$$

$$e_2 = 0,095 \text{ m}$$

Con un espesor de pantalla 10mm, tenemos 36 pantallas separadas 95mm entre sí.

La distancia libre:

$$d_{pan} = 1,5 * e$$

$$d_{pan} = 1,5 * 0,095 \text{ m}$$

$$d_{pan} = 0,14 \text{ m}$$

La pérdida de carga en la segunda cámara se calcula con la **ecuación 34**.

$$h_2 = 0,028 \text{ m}$$

Y la velocidad en el segundo tramo, utilizando la **ecuación 10** es:

$$v_2 = 0,21 \text{ m/s}$$

Por último se realizan los cálculos para la tercera cámara, utilizando la **ecuación 31** donde el número de pantallas para un gradiente de velocidad de 25s^{-1} es:

$$N = 34,33 \approx 34 \text{ pantallas}$$

Calculando con la **ecuación 32**, la distancia entre paneles es:

$$e_3 = \frac{4}{34}$$

$$e_3 = 0,117 \text{ m}$$

Para un espesor de pantalla de 10mm, 30 pantallas separadas 117mm entre sí.

La distancia libre:

$$d_{pan} = 1,5 * 0,117 \text{ m}$$

$$d_{pan} = 0,176 \text{ m}$$

La velocidad y la pérdida de carga en la última sección, aplicando la **ecuación 10** y **ecuación 34** respectivamente, son:

$$h_3 = 0,014 \text{ m}$$

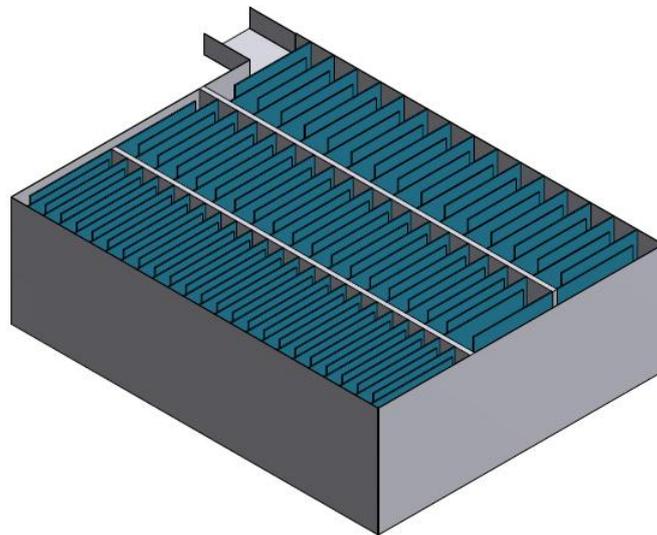
$$v_3 = 0,17 \frac{m}{s}$$

La pérdida de carga será la sumatoria de todas las pérdidas.

$$h_T = h_1 + h_2 + h_3$$

$$h_T = 0,057 + 0,028 + 0,014$$

$$h_T = 0,099 \text{ m}$$



**Figura 17.- Floculador hidráulico de flujo horizontal.
Elaborado por: Silva M, Vera A**

El diseño del floculador se muestra en el **Anexo 7**.

5.2.4 Sistema de Sedimentación

La sedimentación consiste en la separación, por la acción de la gravedad, de las partículas suspendidas cuyo peso específico es mayor que el del agua.

Los procesos de separación de partículas de un fluido son difíciles de describir por un análisis teórico, sobre todo porque las partículas implicadas no son de formas regulares o tamaños regulares. Se considera un sistema ideal, debido a que es de más fácil interpretar el comportamiento observado en este que en casos más complejos.

5.2.4.1 Diseño del Sedimentador

Para el sedimentador se adopta uno de tipo rectangular con fondo plano para tratar este tipo de agua.

La carga superficial para sedimentación por cal es de **40 m/d**.

El tiempo de retención recomendada es de 2 horas. En la tabla presentada en el anexo 2 se muestra una relación longitud/ancho es de 3/1.

El volumen está dado por el caudal multiplicado por el tiempo de retención, como se muestra a continuación:

$$V = Q * t$$

$$V = 1728 \frac{m^3}{día} * 2 h = 144 m^3$$

El área superficial se determina dividiendo el caudal de entrada para la carga superficial, con la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{C.S}$$

$$A = \frac{1728 \text{ m}^3/\text{día}}{40 \text{ m}^3/\text{día}} = 43,2 \text{ m}^2$$

El área de un rectángulo es igual a su base por altura, si la relación longitud/ancho recomendada por la (INEN, 2012) es de 3, entonces el área sería igual a:

$$3a * a = A \quad \text{Ecuación 36}$$

$$a = \sqrt{\frac{A}{3}}$$

$$a = \sqrt{\frac{43,2}{3}}$$

$$a = 3,79 \approx 4 \text{ m}^2$$

$$L = 12 \text{ m}$$

La profundidad del agua está dada por la relación entre volumen del agua y el área del sedimentador:

$$P = \frac{V}{A} \quad \text{Ecuación 37}$$

$$P = \frac{144 \text{ m}^3}{48} = 3$$

Para determinar la profundidad del tanque, se toma la profundidad del agua, más el borde libre que se recomienda de 0,30m y por último la altura de los lodos estimada de 0,20m.

$$P_t = 3 + 0,30 + 0,20$$

$$P_t = 3,50 \text{ m}$$

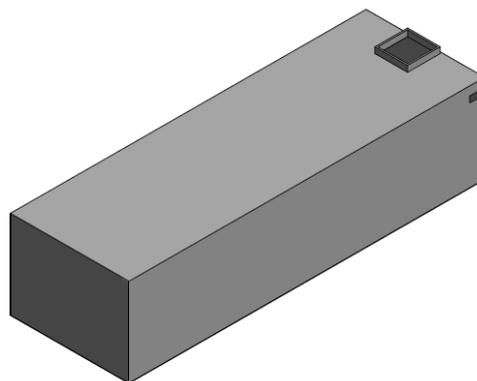


Figura 18.- Sedimentador horizontal. Elaborado por: Silva M, Vera A

5.2.5 Sistema de Filtración

Aunque la coagulación y la sedimentación remueven cerca del 90% de la turbiedad y el color, una determinada cantidad de floc pasa el sedimentador y necesita remoción. La filtración remueve material suspendido, compuesto de floc, suelo, metales oxidados y microorganismos.

El filtro más utilizado en el tratamiento de aguas es el filtro rápido por gravedad. Esta operación supone dos etapas: filtración y lavado.

El final de la etapa de filtración se alcanza cuando la pérdida de carga es tan alta que el filtro ya no produce agua a la tasa deseada, usualmente 2,4 m pérdida cuando la carrera del filtro es de 36 horas o más.

Se procede a lavar el filtro para remover el material acumulado en el lecho filtrante y para recuperar su capacidad de filtración.

Hay tres tipos de lechos filtrantes, los de un solo medio (arena, antracita), los de medio dual (arena y antracita) y los de lecho mezclado (arena, antracita y granate).

5.2.5.1 Diseño del Filtro Rápido de Arena

Para este sistema se escogió un filtro rápido de arena rectangular, con una arena comercial con radio efectivo de 0,5 mm;

Se adopta una carga superficial de $120\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, como se recomienda en el (Anexo 2). Se conoce el caudal de $1728\text{ m}^3/\text{día}$ y la carga $120\text{m}^3/\text{m}^2\text{día}$, con esto se determina el área de filtración, como lo indica la ecuación 6.

$$A = \frac{Q}{C.S.}$$

Donde:

C.S.: carga superficial, m/día.

$$A = \frac{1728\text{ m}^3/\text{día}}{120\text{ m}^3/\text{día}}$$

$$A = 14,4\text{ m}^2$$

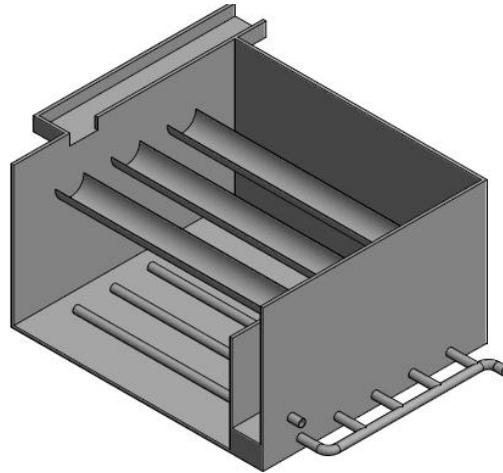


Figura 19.- Filtro rápido de arena. Elaborado por: Silva M, Vera A

Hidráulica de Filtración

Para el cálculo de las pérdidas de carga en el filtro rápidos, es ideal la ecuación de Rose.

$$\frac{h}{L} = 0,178 \frac{v^2}{g e^4} * \frac{\alpha}{\beta} \sum C_{Di} * \frac{P_i}{d_i} \quad \text{Ecuación 38}$$

Donde:

L: profundidad del lecho, m.

e: porosidad del lecho.

v: velocidad de filtración, m/s.

α : factor de forma de área superficial.

β : factor de forma de volumen.

P_i : fracción en peso de partículas de tamaño d_i .

d_i : $(d_1 d_2)^{1/2}$, tamaño promedio geométrico de las aberturas de los dos tamices adyacentes.

C_{Di} : coeficiente de arrastre para los granos del tamaño promedio d_i .

Donde la relación α/β es igual a 6 para un tipo de arena esférica, como se muestra a continuación:

Tabla XVIII.- Valores Aproximados de factores de forma para arena.

Tipo de Arena	β	α/β	ψ
Angular	0,64	6,9	0,81
Afilada	0,77	6,2	0,85
Erosionada	0,86	5,7	0,89
Redondeada	0,91	5,5	0,91
Esférica	0,52	6,0	1,00

Fuente: Romero J. Purificación del Agua, 2006.

La densidad relativa de la arena es de 2,65 y su coeficiente de uniformidad de 1,5. Aplicando la ecuación de Rose la pérdida de carga en el filtro es:

$$h = 0,178 * \frac{\left[\frac{120}{86400} \right]^2}{9,8 * (0,45)^4} * 6 * 257993,9 * 0,7$$

$$h = 0,92 \text{ m}$$

La ecuación de Rose sirve para calcular la pérdida de carga a través de un lecho limpio. Pero cuando se quiere remover el material suspendido del agua, la pérdida de carga

aumenta con el tiempo y debe restablecerse la capacidad del flujo.

En los filtros rápidos, el flujo del agua hacia arriba expande el lecho produciendo una condición fluidizada de las partículas, en la cual el material acumulado es arrastrado de las partículas por el agua de lavado.

Para el cálculo del lecho expandido se lo determina mediante una relación entre las porosidades y las profundidades del lecho fijo y las del expandido:

$$L_e = L \frac{1-e}{1-e_c} \quad \text{Ecuación 39}$$

Donde:

L_e : profundidad del lecho expandido, m.

e_c : porosidad del lecho expandido.

$$L_e = 0,70 * \frac{1 - 0,45}{1 - 0,6}$$

$$L_e = 1,37 \text{ m}$$

Con este dato, se determina la relación de la expansión RE, la cual es igual a:

$$RE = \frac{\left[\frac{v_b}{v_t}\right]^{0,22} - e}{1 - \left[\frac{v_b}{v_t}\right]^{0,22}} \quad \text{Ecuación 40}$$

Como $v_b=0,1v_t$, entonces:

$$RE = \frac{(0,1)^{0,22} - e}{1 - (0,1)^{0,22}}$$

$$RE = \frac{0,6 - e}{0,4}$$

La relación de expansión es:

$$RE = \frac{0,6 - 0,45}{0,4}$$

$$RE = 37,5 \%$$

La altura de la canaleta sobre el lecho filtrante (H_o) se calcula de la siguiente manera:

$$(0,75L + P) < H_o < (L + P) \quad \text{Ecuación 41}$$

$$0,625 < H_o < 0,7$$

La altura de la canaleta (H_o) debe estar entre 0,625 y 0,7; se adopta un valor de 0,65m.

El espaciamiento entre ejes de las canaletas (s) debe de estar entre:

$$1,5H_o < S < 2H_o \quad \text{Ecuación 42}$$

$$0,97 < S < 1,3$$

Se adopta un valor de 1,0 m para el espaciado entre canaletas, el total de canaletas del filtro será de 3.

Para el filtro, una arena con un coeficiente de uniformidad de 1,5, una densidad relativa de 2,65 y una porosidad de 0,45, (Rojas, Filtración, 2006).

Utilizando la fórmula de Kawamura para la velocidad de arrastre de la arena, se tiene:

$$v_t = 10D_{60} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$v_t = 10 * 1,5 * 0,55 \text{mm}$$

$$v_t = 137 \text{mm/s}$$

(Fair & Geyer, 1954) Encontraron experimentalmente que para la fluidización del lecho se tiene:

$$v_b = v_s e^{4,5} \quad \text{Ecuación 44}$$

El lecho filtrante se considera completamente fluidizado cuando la fuerza de fricción ejercida por el agua de lavado excede el peso de las partículas del medio, entonces:

$$v_b \geq v_s e^{4,5}$$

$$v_b \geq 8,25 * 0,45^{4,5}$$

$$v_b \geq 3,8 \text{ mm/s}$$

Esto quiere decir que la velocidad fluidizará el lecho, pero no lo expandirá.

Kawamura en 1975, demuestra que la abrasión máxima ocurre cuando la velocidad del lavado es igual al 10% de la velocidad de arrastre, por lo tanto:

$$v_b = 0,1V_t \quad \text{Ecuación 45}$$

$$v_b = 0,1 * 137 \text{ mm/s}$$

$$v_b = 13,7 \text{ mm/s}$$

Así se cumple la condición descrita en la Ecuación 44.

De la misma forma en la que se calcularon las pérdidas para la tubería de impulsión del aireador, se calcularon las pérdidas para las tuberías que van desde la salida del filtro hasta el reservorio rectangular y la que va desde el reservorio rectangular hasta el filtro para el lavado del mismo.

Para la tubería que transporta el agua desde el tanque de captación después del filtro hasta el reservorio de agua se tiene:

Tabla XIX.-Características de la tubería de Impulsión desde el Tanque de Impulsión hasta el Reservorio.

Diámetro	metros	0,11
Longitud de la tubería	metros	35
Altura Estática de Bombeo	metros	4
Pérdida por tuberías	metros	1,16
Número de Codos de 90°		4
Pérdidas por Codos de 90°	metros	0,85
ADT		6,01
Potencia de la Bomba Calculada	Hp	2,46
Potencia de Bomba Comercial	Hp	3

Elaborado por: Silva M., Vera A.

Para el lavado del filtro se requiere de una velocidad ideal de 3,8 mm/s, es decir 0,0038 m/s, si el área del filtro es 14,4 m² y que el caudal es igual al área por la velocidad se tiene un caudal requerido de 0,05m³/s.

$$0,05 \frac{m^3}{s} * \frac{60 s}{1 min} * 10 min = 30 m^3$$

Considerando que el área del reservorio rectangular es de 100m² y que el lavado de los filtros se lo realiza por diez minutos, se tiene que se requiere un volumen de 30m³ para el lavado del filtro.

Para evitar el uso de una bomba, se utiliza la diferencia de alturas en el nivel del agua entre el reservorio y el rebose del filtro para el lavado de 2,20 metros, que se puede apreciar en el

Anexo 9, dibujo 3

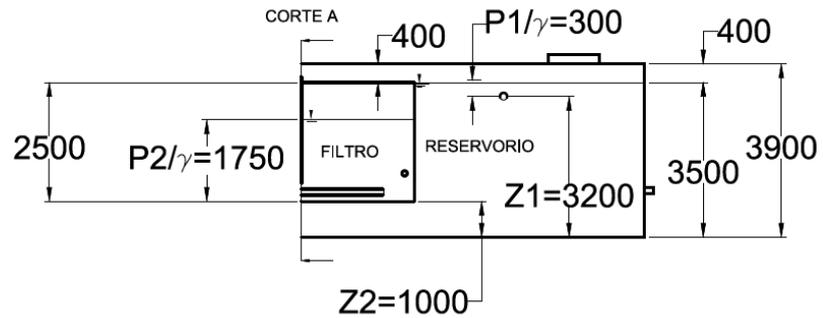


Figura 20.- Diferencias de altura del nivel del agua. Elaborado por: Silva M., Vera A.

Se utiliza el teorema de Bernoulli para un cálculo inicial de la pérdida:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h_f \quad \text{Ecuación 46}$$

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + z_1 - z_2$$

Al ser la misma tubería la velocidad se mantiene constante y queda:

$$h_f = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + z_1 - z_2$$

$$h_f = (0,30 - 1,75) + 2,20$$

$$h_f = 0,75 \text{ m}$$

Con una tubería de 20 m de largo y por medio de la **ecuación 13**, ecuación de Hazen-Williams, se despeja y calcula el diámetro.

$$D = \left(10,67 * \left(\frac{Q}{C} \right)^{1,852} * \frac{L}{H} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D = \left(10,67 * \left(\frac{0,05}{150} \right)^{1,852} * \frac{20}{0,75} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D = 0,15 \text{ m}$$

Con un diámetro comercial de 160mm (6,4 pulgadas) se calculan las pérdidas de los accesorios, se corrige la pérdida total y finalmente se recalcula el diámetro:

$$LE = (0,67D + 0,09) \left(\frac{C}{100} \right)^{1,85}$$

$$LE = (0,67 * 6,4 + 0,09) \left(\frac{150}{100} \right)^{1,85}$$

$$LE = 9,27 \text{ m}$$

Un codo de 90° de 160 mm de diámetro equivale a 9,27 metros en tubería lisa, se utilizarán 3 codos lo que equivale a 27,8 metros de tubería.

$$H = 10,67 * \left(\frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1,825} * \frac{27,8}{(0,16 \text{ m})^{4,87}}$$

$$H_3 = 0,81 \text{ m}$$

Se recalcula la pérdida solo por la tubería de 20 metros.

$$H = 10,67 * \left(\frac{0,05 \text{ m}^3/\text{s}}{150} \right)^{1,825} * \frac{20}{(0,16 \text{ m})^{4,87}}$$

$$H = 0,58 \text{ m}$$

La pérdida total está dada por la sumatoria de las pérdidas:

$$H_T = H_1 + H_2$$

$$H_T = 0,81\text{m} + 0,58\text{m}$$

$$H_T = 1,39 \text{ m}$$

Se corrige el diámetro entonces:

$$D = \left(10,67 * \left(\frac{0,05}{150} \right)^{1,852} * \frac{20}{1,39} \right)^{\frac{1}{4,87}}$$

$$D = 0,13 \text{ m}$$

Entonces se recomienda una tubería de 140mm de diámetro comercial.

Para que el lavado sea uniforme se proponen 5 tuberías perforadas, donde los orificios forman un ángulo de 85° con la horizontal distribuidas en el fondo del filtro, es decir que si el caudal Q de la tubería que viene del reservorio es 0,05m³/h, se reparte 5 veces en 0,01m³/h.

5.2.6 Sistema de Cloración

5.2.6.1 Clorador Gas

La Junta Regional de Agua de Manglaralto ya cuenta con un sistema de cloración cloro-gas. La misma que fue donada por el Gobierno Seccional de la Provincia de Santa Elena.

Almacenamiento

Se emplea un periodo de almacenamiento de 90 días, como se indica la (INEN, 2012) en el capítulo de cloración. Con este dato, se procede a calcular el peso de cloro requerido para el periodo de almacenamiento seleccionado.

$$W = Q * T * D \quad \text{Ecuación 47}$$

Donde:

T: periodo de almacenamiento, días.

Q: caudal de diseño, L/día.

W: peso de cloro requerido, kg.

Los resultados mostrados en el capítulo IV evidencian la ausencia de Coliformes totales y fecales por lo que se adopta y calcula la dosis promedio del desinfectante: ANEXO 4

$$D = \frac{(D_M + D_m)}{2} \quad \text{Ecuación 48}$$

D_M: dosis máxima, mg/L.

D_m: dosis mínima, mg/L.

La dosis promedio:

$$D = \frac{1 + 5}{2}$$

$$D = 3 \text{ mg/L}$$

Se tiene que el peso total requerido para el periodo de 90 días es:

$$W = \frac{1728 \text{ m}^3/\text{día} * 90 \text{ días} * 3 \text{ mg/L}}{1000}$$

$$W = 466.56 \text{ kg}$$

Según la Tabla 20, un cilindro de cloro pesa 67kg; con este dato se calcula el número de cilindros que se almacenarán.

$$N = \frac{W}{P} \quad \text{Ecuación 49}$$

Donde:

W: peso de cloro requerido para el periodo de almacenamiento requerido, kg.

P: peso de un cilindro de cloro, kg.

$$N = \frac{466.56 \text{ kg}}{67 \text{ kg}}$$

$$N = 6.96 \approx 7$$

Se necesitarán 7 cilindros de 67 kg para el tiempo de almacenamiento seleccionado.

Tabla XX.- Número de cilindros necesarios según la capacidad requerida, 67 kg.

Capacidad requerida kg/día	En servicio	Vacíos	Reserva mínima
0-18	1	2	3
18-36	2	4	6
35-54	3	6	9
54-72	4	8	12
72-90	5	10	15
90-100	6	12	18

Fuente: Manual de Desinfección del Agua. Arboleda Valencia, J. 1987

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se estableció un diseño adecuado para el tratamiento del agua subterránea para la parroquia Manglaralto, Santa Elena, en base a los resultados obtenidos de pruebas de tratabilidad realizadas en laboratorio.
- Actualmente la junta provee un promedio 52,6 litros de agua por habitante por día; Según el INEC, para el 2024 la población en Manglaralto habrá incrementado en un 35% (Anexo 6). Se estima que la planta de 1728m³ diarios, trabajando 24 horas, podría tranquilamente abastecer a 25600 habitantes que recibirían 67,5 litros de agua por día por habitante. Asegurando de esta manera lo establecido por la OMS en su folleto informativo N°35 “El derecho del agua” 2011, en el que cita “se requieren entre 50 y 100 litros de agua por persona al día para cubrir la mayoría de las necesidades básicas y evitar la mayor parte de los problemas de salud” en los siguientes diez años.
- Las tres campañas de muestreo realizadas en noviembre, enero y mayo del 2013 permitieron caracterizar al agua de entrada a los reservorios de Manglaralto. Los resultados determinaron las características de un agua tipo cálcica-sódica y con alto contenido de bicarbonatos, sulfatos y cloruros. Los análisis también

determinaron que estas características tienden a variar en épocas de invierno principalmente en el contenido de calcio.

- Se estableció un diagrama de barras de Stabler que permitió asumir las hipotéticas combinaciones de compuestos de mayor a menor concentración, dando como resultado que en la época seca se tiene bicarbonato de calcio, cloruro de sodio y sulfato de magnesio; mientras que en la época de lluvia se encuentra bicarbonato de sodio, cloruro de sodio y sulfato de sodio. Ambos resultados reflejan un agua bastante dura, la cual se corrobora con los test in situ realizados.
- Es común que las aguas subterráneas contengan altas concentraciones de hierro y manganeso. Sin embargo la concentración de hierro se mantuvo bajo los límites establecidos durante las tres campañas de muestreo, mientras que la concentración de manganeso estuvo elevada.
- Las pruebas realizadas con la zeolita clinoptilolita activada con cloruro de sodio y con óxidos de manganeso, no resultaron eficaces. Mientras que en los ensayos con las soluciones de manganeso presentaron los resultados esperados, donde la concentración de manganeso bajaba de 1,5 ppm hasta 0 ppm.
- No se consideró adecuado el uso de filtros de resina sintética para el tratamiento del agua ya que aunque las concentraciones

de dureza y manganeso bajaron a cero, esto afecta en la ingesta diaria de minerales debido a que el cuerpo humano no solo necesita sodio y potasio para una correcta hidratación, necesita también de otros iones como lo son el calcio y magnesio, especialmente en el agua de bebida y en la que cocinan sus alimentos diariamente.

- Las pruebas en laboratorio permitieron diseñar un sistema adecuado de para este tipo de agua, que incluye los procesos de aireación para oxigenar, eliminar olores y oxidar manganeso; la mezcla rápida y lenta, con un vertedero rectangular y un floculador hidráulico de flujo horizontal, para poner en contacto al coagulante con el agua a tratar y formación de los flóculos; la sedimentación; el filtro rápido de arena y finalmente la desinfección que consiste en recomendar un mejor uso al clorador ya adquirido por la junta regional de potabilización del agua en Manglaralto.
- Se escogió cada uno de los equipos con el fin de ahorrar energía y agua, debido que en esta zona de Santa Elena los cortes de energía son frecuentes.
- Las pruebas de laboratorio permiten concluir que el tratamiento es eficaz, esto se refleja en un agua apta para el consumo humano y que se encuentra dentro de los límites permitidos por la Organización Mundial de la Salud y la Normativa ecuatoriana.

6.2 Recomendaciones

- El uso de la zeolita clinoptilolita activada con cloruro de sodio y óxidos de manganeso, se podría utilizar para aguas con menos dureza y que solamente contengan niveles altos de manganeso.
- Las zeolitas activadas es una tecnología muy común en México que se la podría adaptar en Ecuador, siendo un país rico en este mineral; tema que se puede seguir estudiando.
- Para la construcción del aireador se recomienda acero inoxidable, debido a que este equipo está sometido al ambiente y es posible la proliferación de lamas, bacterias, entre otros.
- Para la dosificación de la Cal en el vertedero de mezcla rápida se recomienda el uso de una bomba de tornillo.
- Para la construcción del floculador se recomienda usar planchas de PVC y una estructura de cemento.
- Para la construcción de los demás equipos se recomienda el uso de cemento.
- El mantenimiento del sedimentador podrá efectuarse por medio de la tecnología de Airlifting. Un método relativamente simple y confiable que consiste en introducir un tubo con una inyección de aire muy cerca de su base, este tubo es sumergido en el fondo del tanque donde se encontrará mezcla sólido-líquido (Cal) Mezclándose con burbujas de aire que se expanden y suben por

medio del tubo. Se recomienda la limpieza una vez al día ya que la eficiencia del filtro depende de la eficiencia del sedimentador.

- Para el lavado de filtros se recomienda tener el reservorio con un nivel de agua de al menos 40 cm sobre la tubería de lavado de filtros. Además de realizarse mientras la planta no esté en servicio para así asegurar el volumen de agua necesario para el respectivo lavado.
- Para la impulsión de agua, se recomienda tener dos bombas, una en funcionamiento y otra en caso de daño o mantenimiento.
- Se recomienda la implementación de este tratamiento en los terrenos aledaños a los reservorios de agua ya existentes, con el fin de ahorrar dinero.
- Se recomienda la implementación de este sistema, ya que las altas concentraciones de Dureza pueden traer complicaciones al acumular minerales en las tuberías de la casa y su pobre rendimiento con los detergentes y jabones. Los efectos del manganeso mayormente ocurren en el tracto respiratorio y el cerebro. El manganeso puede causar Parkinson, embolia a los pulmones y hasta bronquitis.

ANEXOS

ANEXO 1

Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional.

Parámetros	Expresado Como	Unidad	Límite Máximo Permissible
Aceites y Grasas	Sustancias solubles en hexano	mg/l	0,3
Aluminio	Al	mg/l	0,2
Amoniaco	N-Amoniacal	mg/l	1,0
Amonio	NH ₄	mg/l	0,05
Arsénico (total)	As	mg/l	0,05
Bario	Ba	mg/l	1,0
Cadmio	Cd	mg/l	0,01
Cianuro (total)	CN-	mg/l	0,1
Cloruro	Cl	mg/l	250
Cobre	Cu	mg/l	1,0
Coliformes Totales	Nmp/100ml		3000
Coliformes Fecales	Nmp/100ml		600
Color	Color real	Unidades de color	100
Compuestos fenólicos	Fenol	mg/l	0,002
Cromo hexavalente	Cr+6	mg/l	0,05
Demanda Bioquímica de Oxígeno (5 días)	DBO ₅	mg/l	2,0

Dureza	CaCO ₃	mg/l	500
Bifenilo policlorados/PCBs		µg/l	0,0005
Fluoruro (total)	F	mg/l	1,5
Hierro (total)	Fe	mg/l	1,0
Manganeso (total)	Mn	mg/l	0,1
Materia flotante			Ausencia
Mercurio (total)	Hg	mg/l	0,001
Nitrato	N-Nitrato	mg/l	10,0
Nitrito	N-Nitrito	mg/l	1,0
Olor y sabor			Es permitido olor y sabor removible por tratamiento convencional
Oxígeno disuelto	O.D.	mg/l	No menor al 80% del oxígeno de saturación y no menor a 6mg/l
Plata (total)	Ag	mg/l	0,05
Plomo (total)	Pb	mg/l	0,05
Potencial de hidrógeno	pH		6-9
Selenio (total)	Se	mg/l	0,01
Sodio	Na	mg/l	200
Sólidos disueltos totales		mg/l	1 000
Sulfatos	SO ₄ ⁼	mg/l	400

Temperatura		°C	Condición Natural + o - 3 grados
Tensoactivos	Sustancias activas al azul de metileno	mg/l	0,5
Turbiedad		UTN	100
Zinc	Zn	mg/l	5,0
*Productos para la desinfección		mg/l	0,1
Hidrocarburos Aromáticos			
Benceno	C_6H_6	µg/l	10,0
Benzo(a) pireno		µg/l	0,01
Etilbenceno		µg/l	700
Estireno		µg/l	100
Tolueno		µg/l	1 000
Fuente: Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria, Libro IV Anexo 1, TABLA 1			

ANEXO 2

Parámetros de diseño de sedimentadores convencionales.

Parámetro	Valor	Observaciones	Referencia
Carga superficial, m/d	14-22	Floc de Alumbre	(1)
	18-27	Floc con Polímero	(9)
	37-44	Ablandamiento con cal	(1)
	22-58	Agua fría, flujo ascensional	(1)
	58-88	Agua cálida, flujo ascensional	(1)
	22-147	Ablandamiento, flujo ascensional	
	30-60		(78,79)
	15-30		(78,79)
Tiempo de retención, horas	2-4		(1,78)
	1,5-4		(78,80)
Velocidad de flujo, cm/s	0,25-1,5		(1)
	0,5-1,8		(80)
	<2		(9)
	<1		(51,78,79)
Número mínimo de tanques	2		(78,79)
Profundidad de agua, m	3-5		(78)
	3-4,5		(80)
	4-5		(78,79)

Pendiente del fondo, %	>2		(78,79)
	>0.4		(51)
Descarga de lodos, horas	<6		(78,79)
Relación longitud/ancho	4/1 a 8/1		(78,79)
	>4/1		(78,80)
	3/1 a 6/1		(1)
Relación longitud/profundidad	5/1 a 25/1		(78,79)
	>15/1		(78,80)
Relación ancho/profundidad	3/1 a 6/1		(78,80)
Tasa de rebose, L/sm	1,7 a 3,3		(78,79)
	2,5 a 3,6		(78,80)
	<7,25	Clarificación	(1)
	1,7 a 3,1	Floc de Alumbre	(1)
	3,1 a 3,7	Floc de Ablandamiento	
	2 a 7		(24)
Fuente: Purificación del agua. Jairo Romero Rojas. 2da. Edición			

ANEXO 3

Principales características de los filtros

Característica	Filtros lentos de arena	Filtros rápidos de arena	Filtros de alta tasa
Tasa de filtración	2-5(<12m/d)	120m/d	180-480m/d
Medio	Arena	Arena	Arena y antracita
Distribución del medio	No estratificado	Estratificado: fino a grueso	Estratificado: grueso a fino
Duración de carrera	20-60 días	12-36 horas	12-36 horas
Pérdida de carga	Inicial: 0.60m Final: 1.2m	Inicial: 0.30m Final: 2.4-3.0m	Inicial: 0.30m Final: 2.4-3.0m
Agua de lavado	No usa	2-4% del agua filtrada	6% agua filtrada
Profundidad del medio	0.6-1.0m	0.60-0.75m	Antracita 0.4-0.6m Arena 0.15-0.3m
Profundidad de grava	0.30m	0.30-0.45m	0.30-0.45m
Drenaje	Tubería perforada	Tubería perforada Falsos fondos	Falsos fondos
Fuente: Purificación del agua. Jairo Romero Rojas. 2da. Edición			

ANEXO 4

Criterios de almacenamiento de productos desinfectantes.

Producto	Tiempo de almacenamiento (meses)	Dosis en mg/L		Concentración de la solución (mg/L)
		Mínima	Máxima	
Cloro en cilindros a presión	3-6	1	5	3,500
Hipoclorito de calcio	3-6	1,4	4,3	10,000-50,000
Hipoclorito de sodio	< 1 mes	1,7	23,1	10,000-50,000

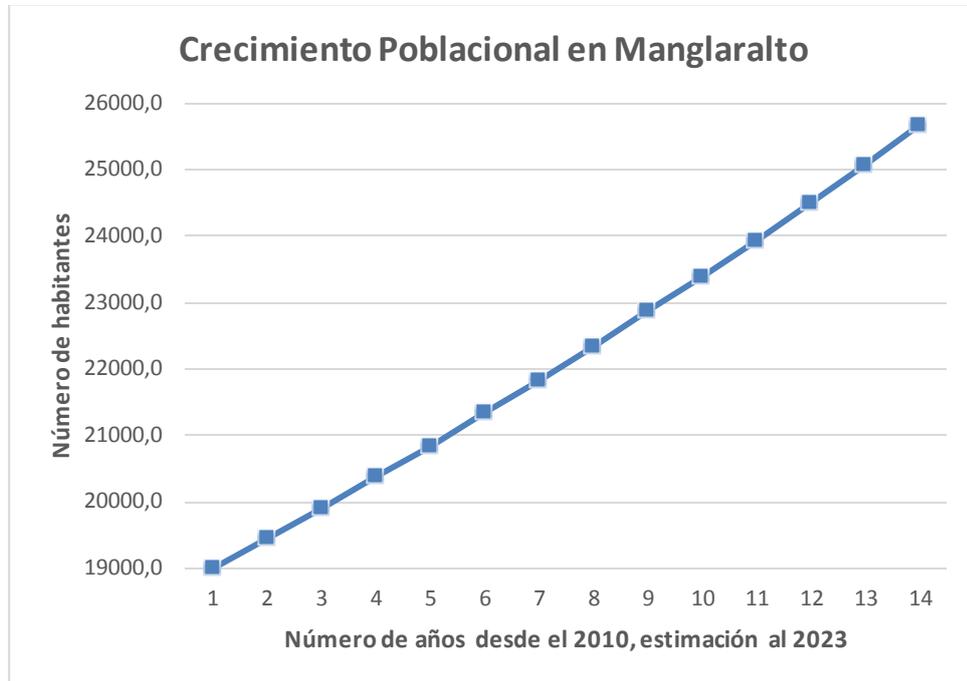
Fuente: Víctor Rodríguez Araya. Manual de Diseño, "Criterios de diseño para estaciones de Cloración". 1992

ANEXO 5

Ecuaciones para el cálculo de longitudes equivalentes.	Longitud equivalente (m) D (pulgadas) C Hazen Williams.
Codo radio largo 90°	$Le = (0.52D+0.04)(C/100)^{1,85}$
Codo radio medio 90°	$Le = (0.67D+0.09)(C/100)^{1,85}$
Codo radio corto 90°	$Le = (0.76D+0.17)(C/100)^{1,85}$
Codo de 45°	$Le = (0.38D+0.02)(C/100)^{1,85}$
Curva 90° $r/D = 1 \frac{1}{2}$	$Le = (0.30D+0.04)(C/100)^{1,85}$
Curva 90° $r/D = 1$	$Le = (0.39D+0.11)(C/100)^{1,85}$
Curva de 45°	$Le = (0.18D+0.06)(C/100)^{1,85}$
Entrada normal	$Le = (0.46D+0.08)(C/100)^{1,85}$
Entrada de borda	$Le = (0.77D-0.04)(C/100)^{1,85}$
Válvula de compuerta abierta	$Le = (0.17D+0.03)(C/100)^{1,85}$
Válvula de globo abierta	$Le = (8.44D+0.50)(C/100)^{1,85}$
Válvula de ángulo abierta	$Le = (4.27D+0.25)(C/100)^{1,85}$
Tee de paso directo	$Le = (0.53D+0.04)(C/100)^{1,85}$
Tee con salida de lado	$Le = (1.56D+0.37)(C/100)^{1,85}$
Tee con salida a ambos lados	$Le = (0.56D+0.33)(C/100)^{1,85}$
Válvula de pie con rejilla	$Le = (6.38D+0.40)(C/100)^{1,85}$
Válvula de retención tipo liviano	$Le = (2.00D+0.20)(C/100)^{1,85}$
Válvula de retención tipo pesado	$Le = (3.20D+0.03)(C/100)^{1,85}$
Reducción gradual	$Le = (0.15D+0.01)(C/100)^{1,85}$
Ampliación gradual	$Le = (0.31D+0.01)(C/100)^{1,85}$
Salida de tubería	$Le = (0.77D+0.04)(C/100)^{1,85}$

Fuente: Pérez C. R., 1997. Aditamento

ANEXO 6



Fuente: Datos INEC. Elaborado por: Silva M., Vera A.

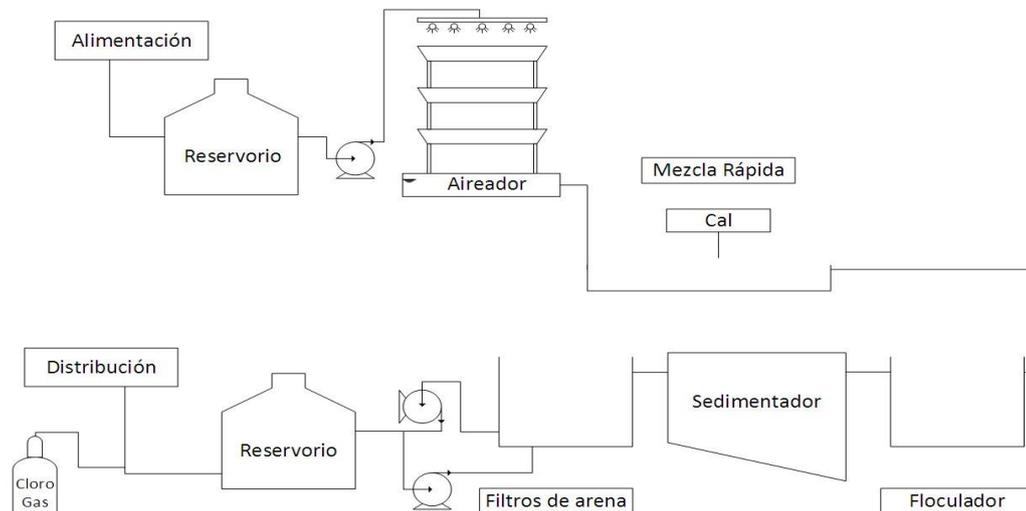
ANEXO 7



FOTO 1. RESERVORIO CILINDRICO, RESERVORIO RECTANGULAR Y DOSIFICACIÓN DE CLORO DE LA JUNTA DE AGUA DE MANGLARALTO. VISTA FRONTAL

ANEXO 8

PI&D DE LA PLANTA.



Elaborado por: Silva M., Vera A.

ANEXO 9

PLANOS DE AUTOCAD DE LOS EQUIPOS.

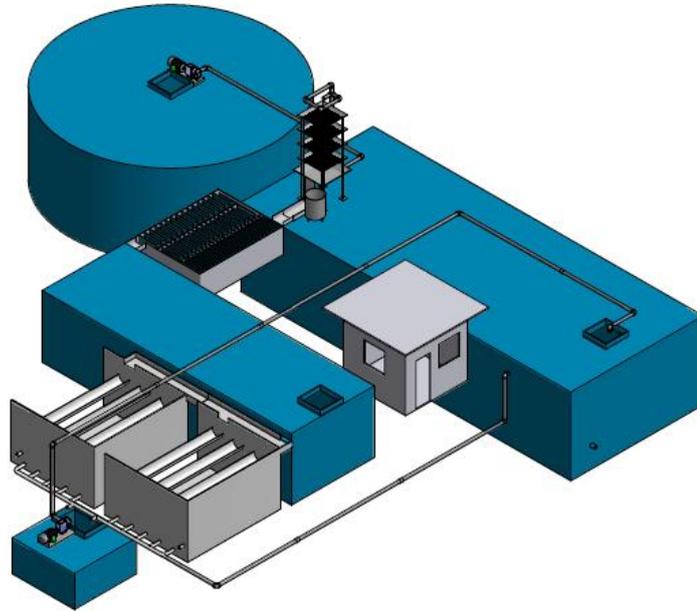


FOTO A. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROPUESTA PARA LA JUNTA DE AGUA DE MANGLARALTO. VISTA ISOMÉTRICA. Elaborado por: Silva M., Vera A.

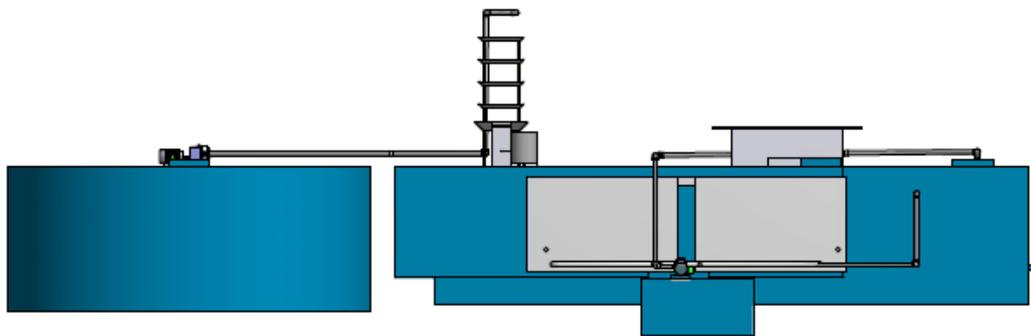


FOTO C. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROPUESTA PARA LA JUNTA DE AGUA DE MANGLARALTO. VISTA FRONTAL. Elaborado por: Silva M., Vera A.

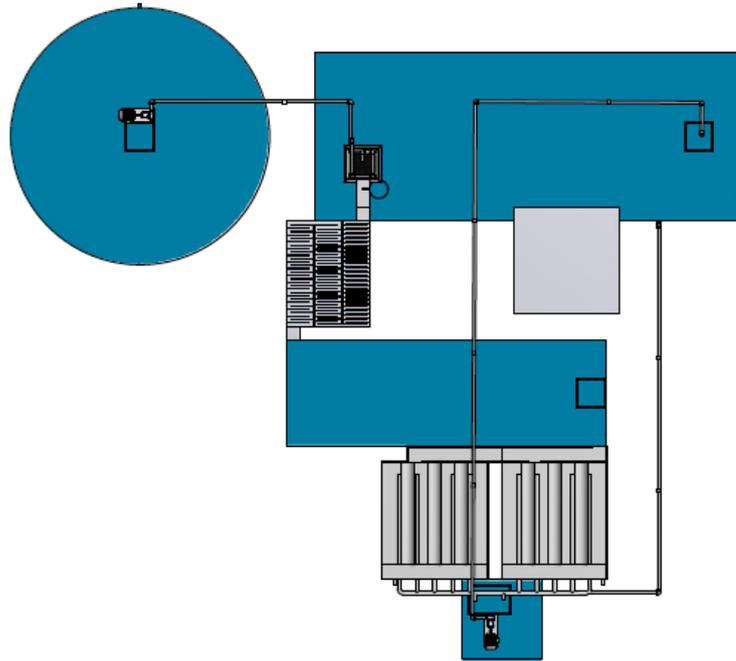


FOTO B. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROPUESTA PARA LA JUNTA DE AGUA DE MANGLARALTO. VISTA SUPERIOR. Elaborado por: Silva M., Vera A.

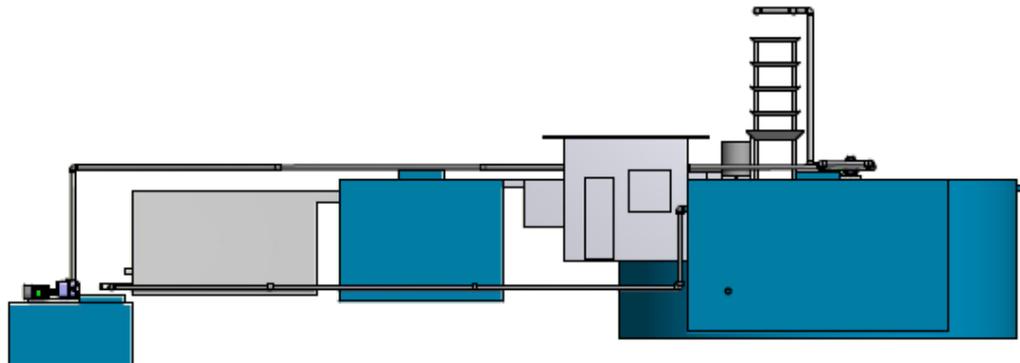
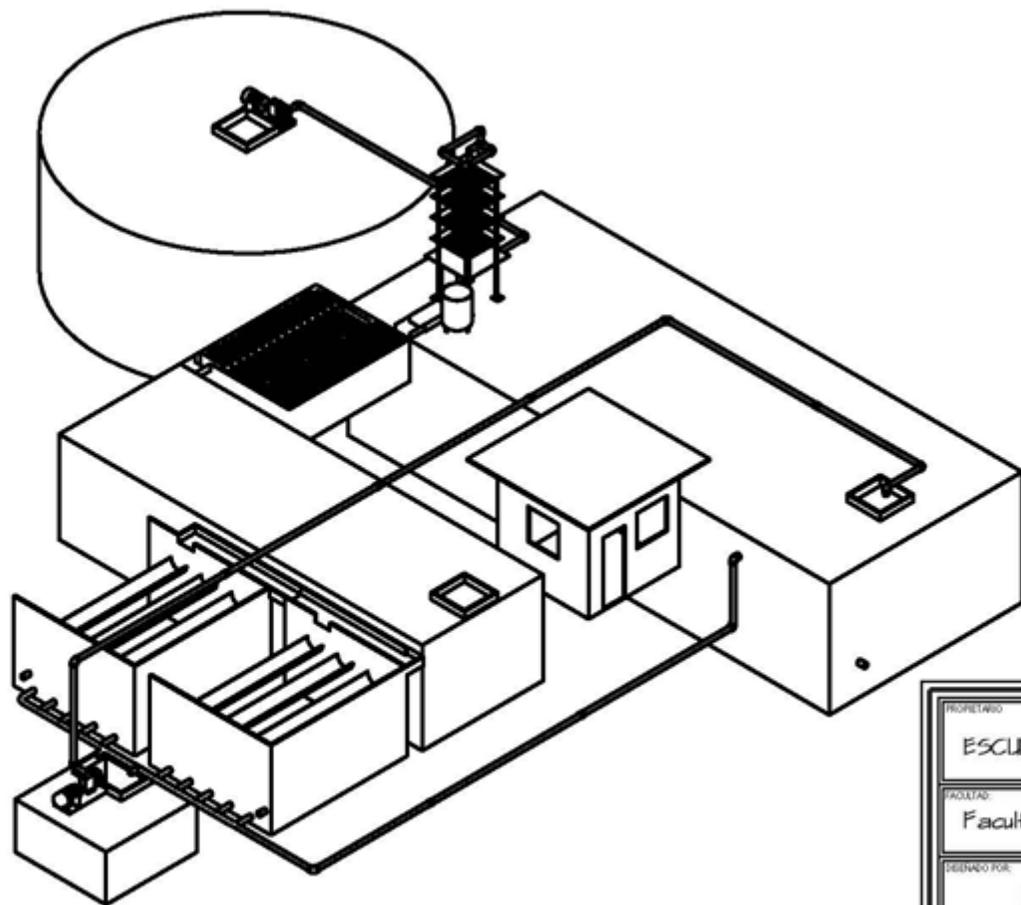
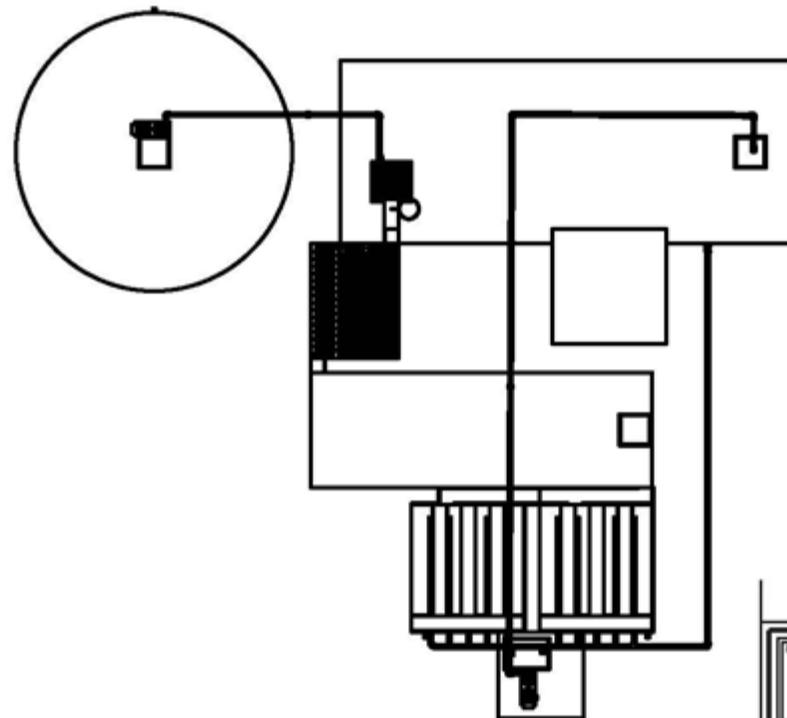


FOTO D. PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA PROPUESTA PARA LA JUNTA DE AGUA DE MANGLARALTO. VISTA LATERAL. Elaborado por: Silva M., Vera A.



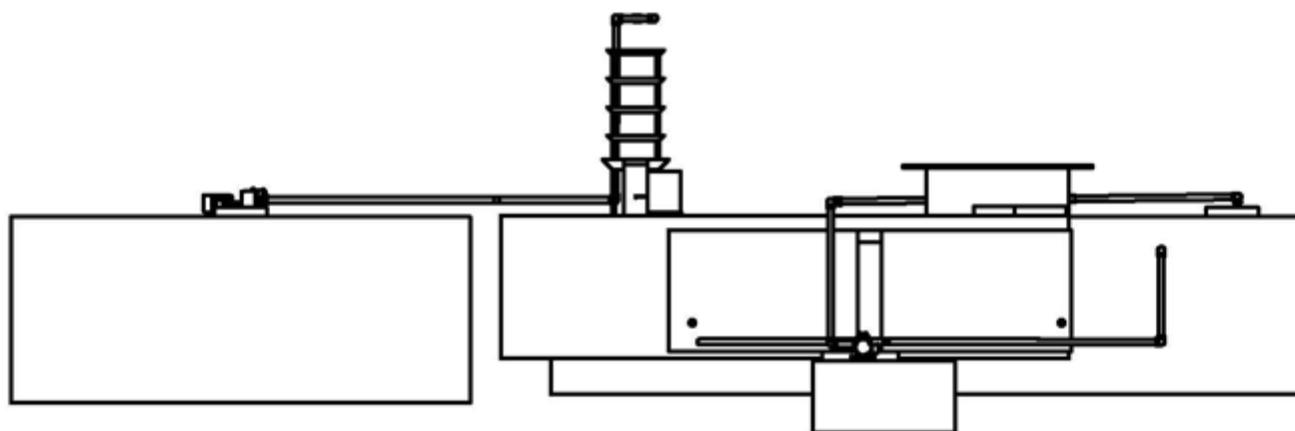

 Vista Isométrica

PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Planta de Tratamiento de Agua Subterránea	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO N°
DICIEMBRE-2019	MSA/AVL	5/8	001



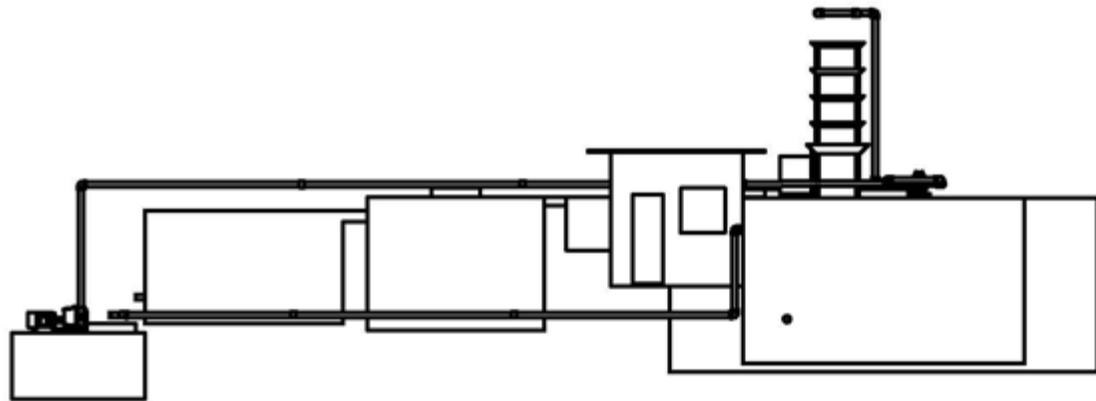

 Vista Superior
ESCALA

PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Planta de Tratamiento de Agua Subterránea	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DEBIDO A
DICIEMBRE-2019	MSA/AVL	5/8	002



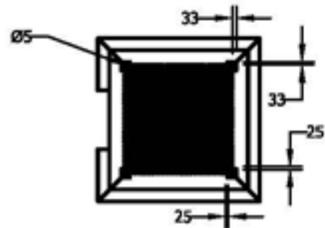

 Vista Frontal

PROYECTO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Planta de Tratamiento de Agua Subterránea	
FECHA	DISEÑO POR	ESCALA	DIBUJO N°
DICIEMBRE-2019	MSA/AEVL	5/8	008

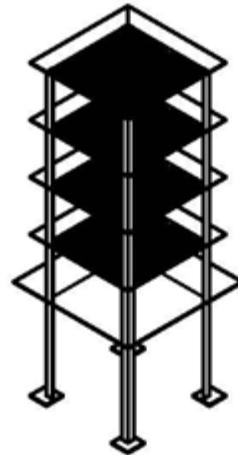



 Vista Lateral

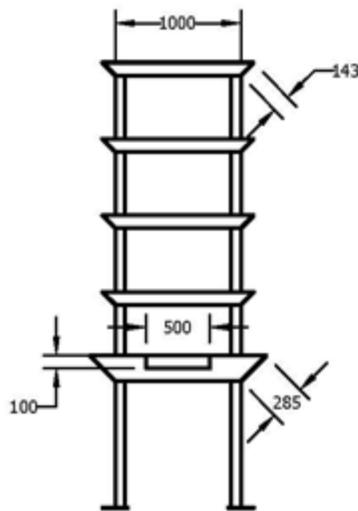
PROYECTO			
ESUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
UNIVERSIDAD		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Planta de Tratamiento de Agua Subterránea	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO N°
DICIEMBRE-2015	MISA/NEVL	5/ 8	001



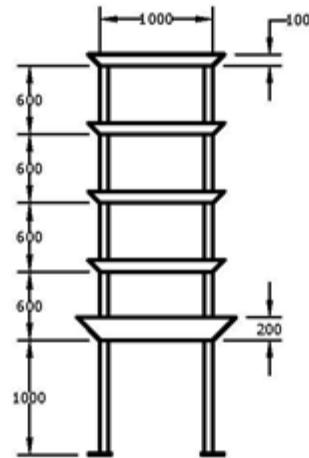
○ Vista Superior
ESCALA



○ Vista Isométrica
ESCALA

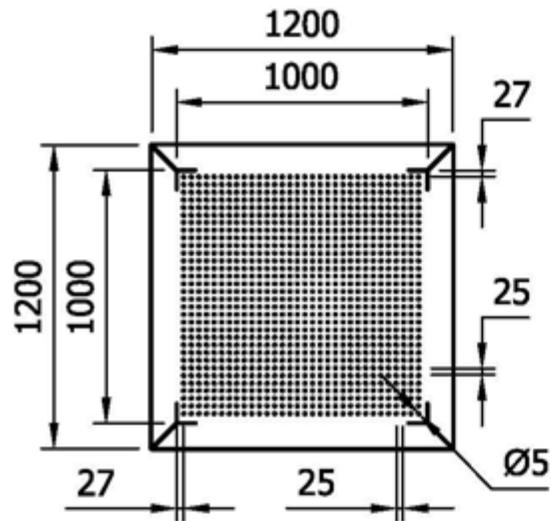


○ Vista Frontal
ESCALA

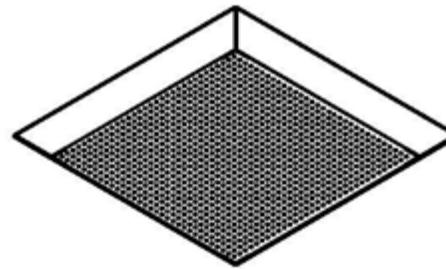


○ Vista Lateral
ESCALA

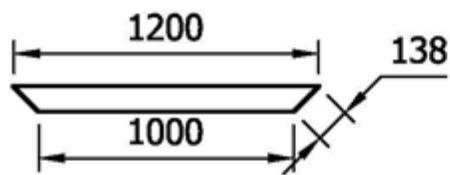
PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		COURSE	
Ingeniería Química		Aireador	
FECHA	DISEÑADO POR:	ESCALA	DIBUJO N°
DICIEMBRE-2015	MSA/REV.	5/5	009



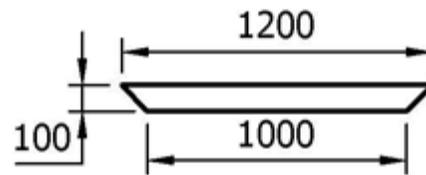
Vista Superior
ESCALA



Vista Isométrica
ESCALA

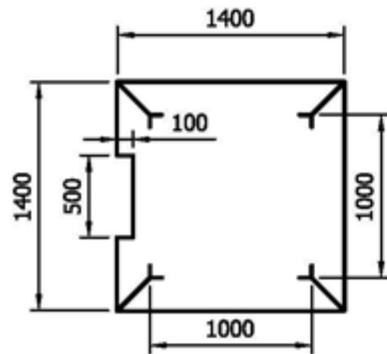


Vista Frontal
ESCALA

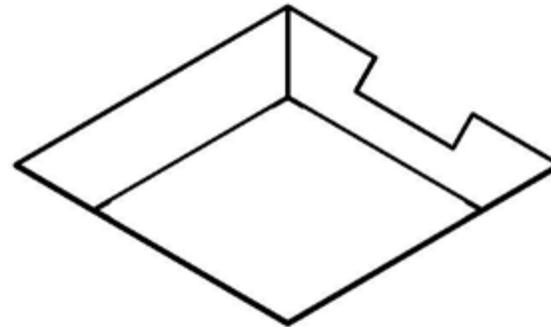


Vista Lateral
ESCALA

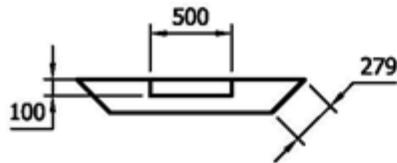
PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CÓDIGO	
Ingeniería Química		Bandeja perforada del Aireador	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DESUO N°
DICIEMBRE-2019	MISA/AVL	5/5	006



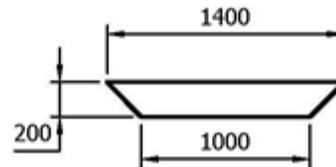
⊙ Vista Superior
ESCALA



⊙ Vista Isométrica
ESCALA

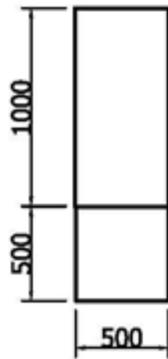


⊙ Vista Frontal
ESCALA

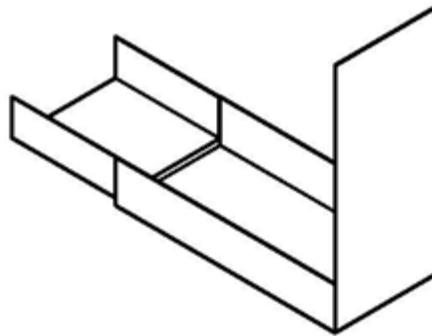


⊙ Vista Lateral
ESCALA

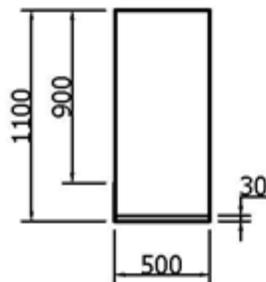
PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Bandeja Inferior del Aireador	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO Nº
DICIEMBRE-2015	MSA/REV.	5/5	007



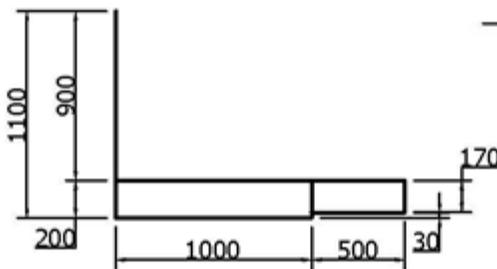
Vista Superior
ESOLA



Vista Isométrica
ESOLA

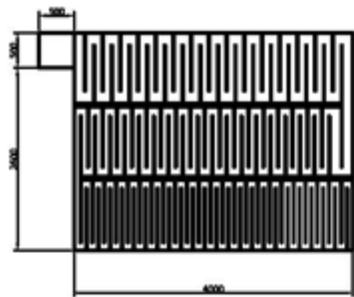


Vista Frontal
ESOLA

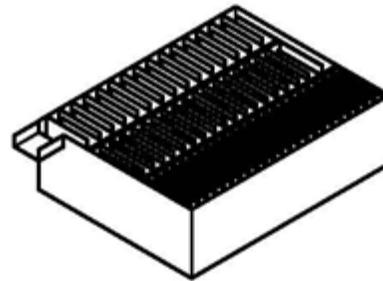


Vista Lateral
ESOLA

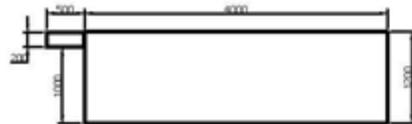
PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Vertedero Rectangular de Mezcla Rápida	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO Nº
DICIEMBRE-2015	MSA/AVL	5/5	008



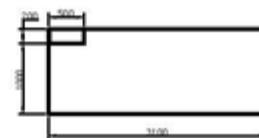
Vista Superior
ESCALA



Vista Isométrica
ESCALA

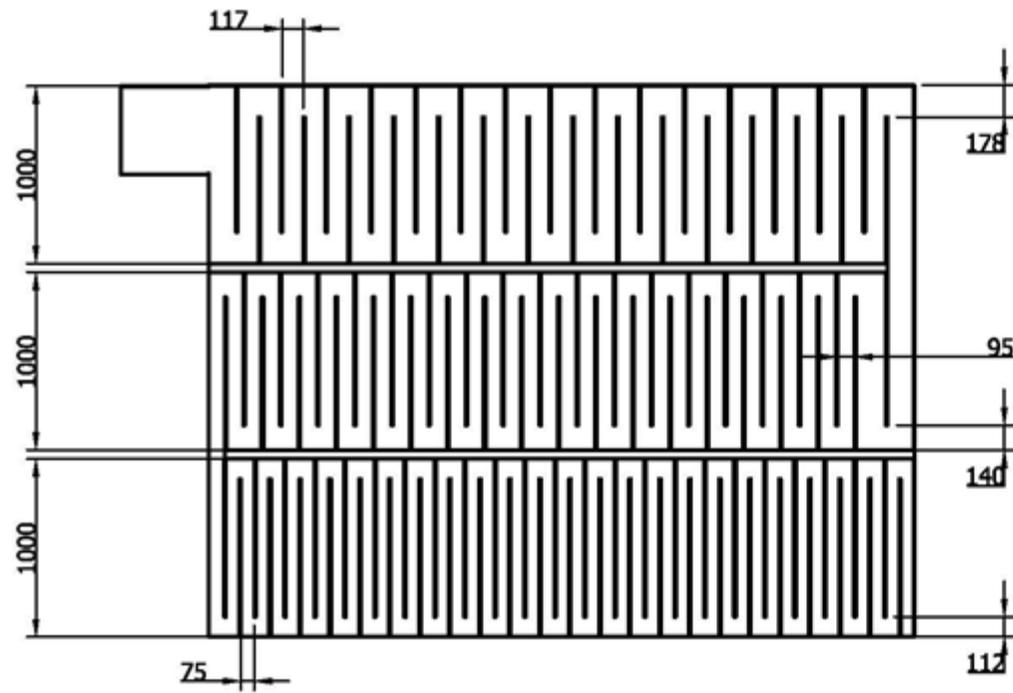


Vista Frontal
ESCALA



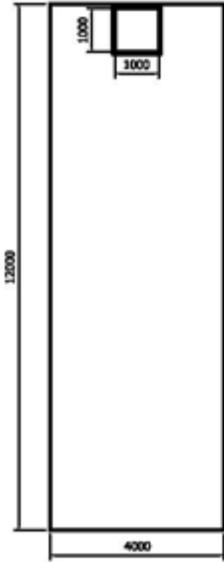
Vista Lateral
ESCALA

PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	
FECHA	DISEÑO POR	ESCALA	DIBUJO Nº
DICIEMBRE-2015	MSA/AEVL	5/5	009

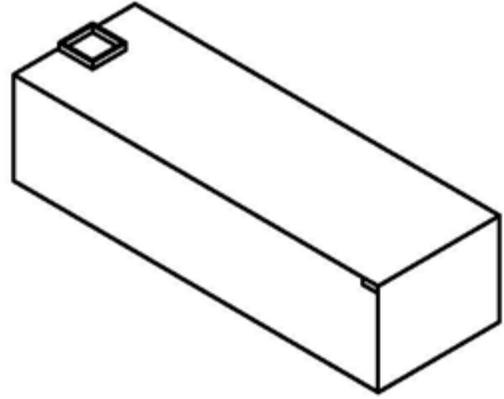



 Vista Superior

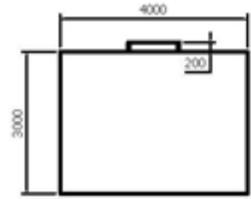
PROPIETARIO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Pantallas del Floculador Hidráulico de Flujo Horizontal	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DEBIDO A
DICIEMBRE-2015	MISA/AVL	5/8	00



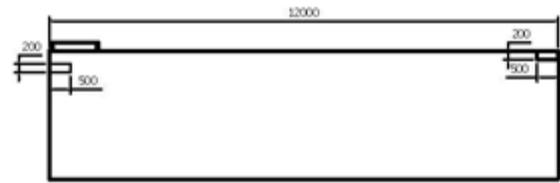
Vista Superior
ESCALA



Vista Isométrica
ESCALA

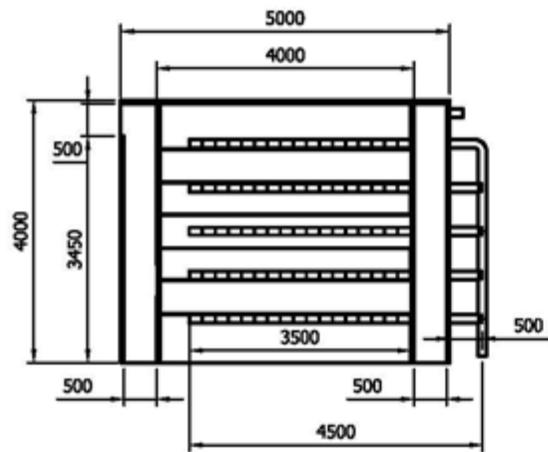


Vista Frontal
ESCALA

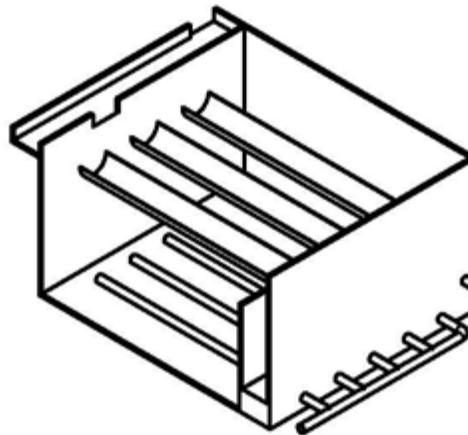


Vista Lateral
ESCALA

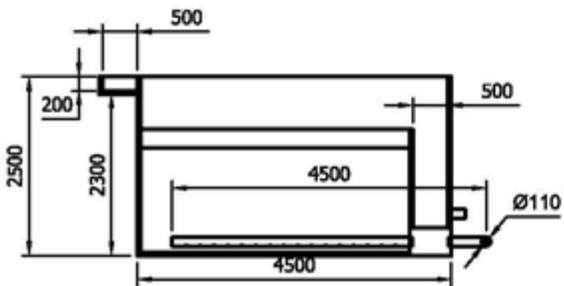
SECRETARÍA			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR:			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA:		CONTENIDO:	
Ingeniería Química		Sedimentador	
FECHA:	DISEÑADO POR:	ESCALA:	DEBIDO A:
DICIEMBRE-2015	MSA/AEVL	5/5	CI



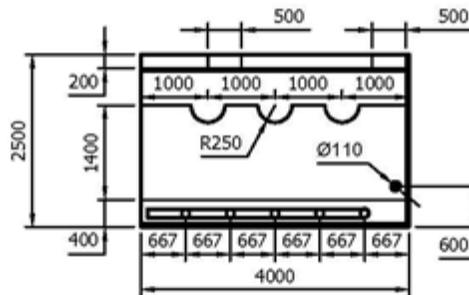
Vista Superior
ESCALA



Vista Isométrica
ESCALA

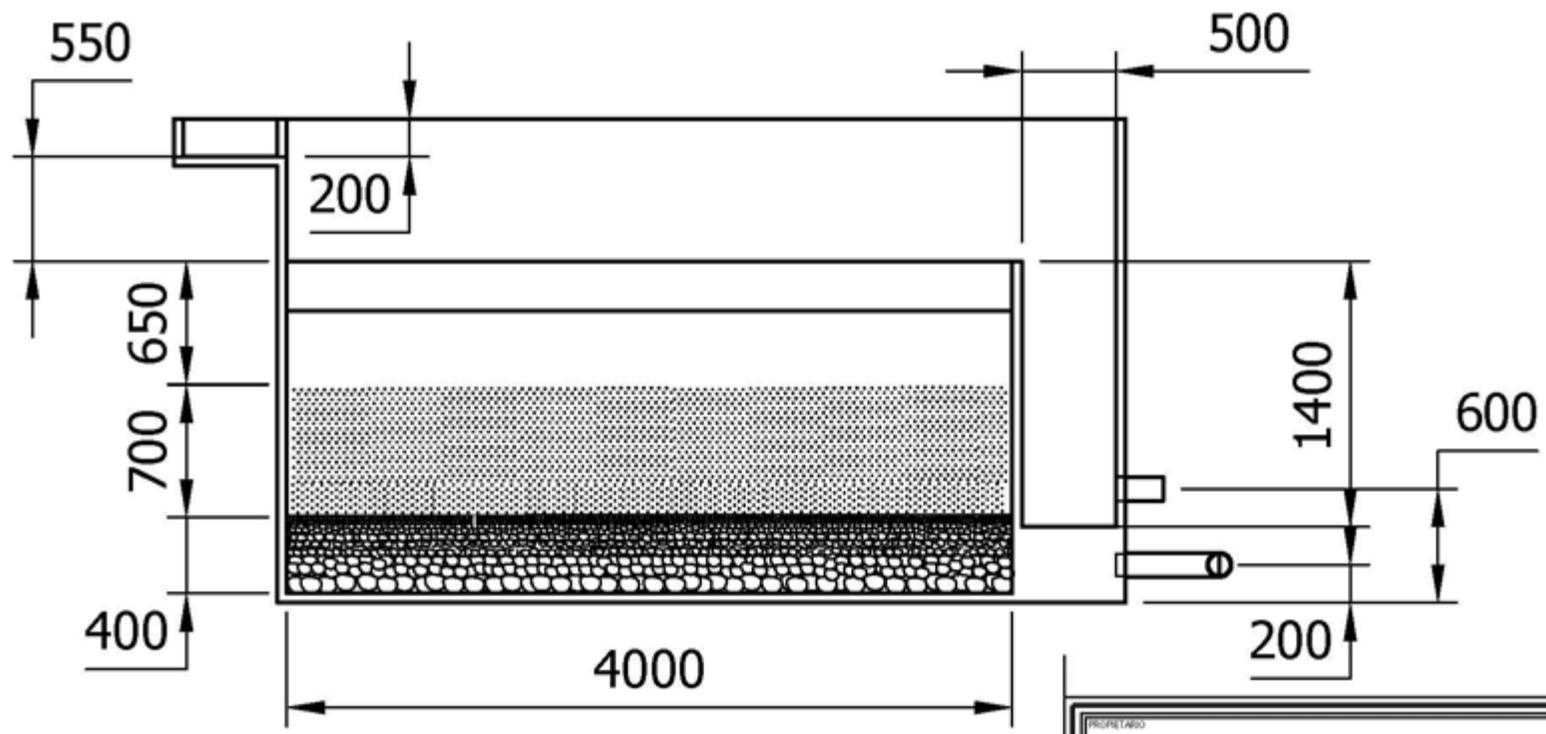


Vista Frontal
ESCALA



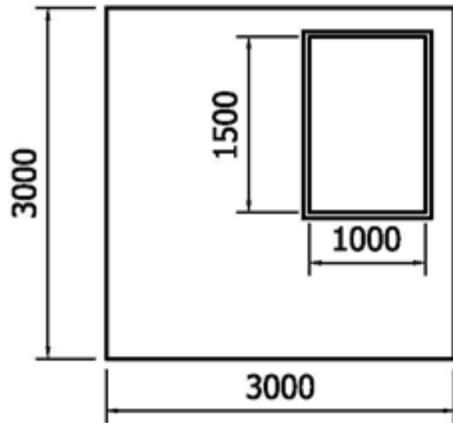
Vista Lateral
ESCALA

PROYECTO			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Looz			
CARRERA		CONTENIDO	
Ingeniería Química		Filtro Rápido de Arena	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO N°
DICIEMBRE-2015	MISA/REVA	5/ 5	012

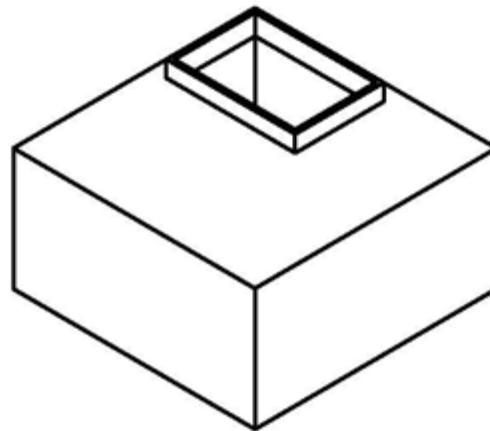


Vista Frontal
 BOLA

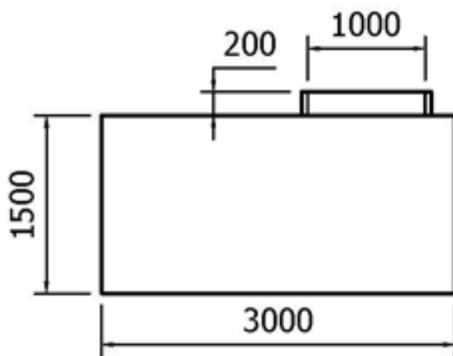
SECRETARÍA			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Looz			
CARRERA		CÓDIGO	
Ingeniería Química		Soporte y Medio de filtración Filtro Rápido de Arena	
FECHA	DISEÑADO POR	ESCALA	DIBUJO Nº
DICIEMBRE-2015	MSA/REV.	5/5	05



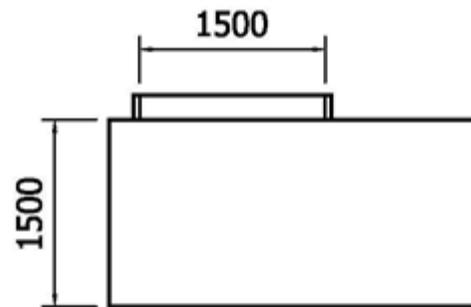
Vista Superior
ESCALA



Vista Isométrica
ESCALA



Vista Frontal
ESCALA



Vista Lateral
ESCALA

PROFESOR:			
ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL			
FACULTAD:			
Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas			
DISEÑADO POR:			
Ma. Isabel Silva - Andrea Vera Loor			
CARRERA:		TÍTULO:	
Ingeniería Química		Tanque Receptor del Agua Filtrada	
FECHA:	DISEÑADO POR:	ESCALA:	DEBIDO A:
DICIEMBRE-2015	MISA/NEVL	5/5	04

ANEXO 10

TABLA ANEXO ANÁLISIS DE ENTRADA AL RESERVORIO Y LA DISTRIBUIDA ACTUALMENTE EN MANGLARALTO Y LIBERTADOR BOLÍVAR.

PARÁME.	UNIDAD	12/11/2012			22/01/2013			22/05/2013		
		ENTRADA	R. 200	R. 300	ENTRADA	R. 200	R. 300	ENTRADA	R. 200	R. 300
PH		7,22	7,4	7,26	7,04	7,45	7,26	7,04	7,34	7,18
CE	uS/cm	1446	2265	2120	1477,2	2020,4	2096,6	1363,2	1920	1920
SDT	mg/L	925	1450	1357	945,4	1293,1	1341,8	918	1550	1550
Ca	mEq/L	5,46	11,72	9,88	6	9,84	9,74	4,2	7,2	7,02
Ca	mg/L	109,2	234,4	197,6	120	196,8	194,8	84	144	140,4
Mg	mEq/L	2,8	4,28	1,84	2,8	3,94	4,04	1,97	3,3	3,85
Mg	mg/L	33,6	51,36	22,08	33,6	47,28	48,48	23,64	39,6	46,2
Na	mEq/L	5,3	6,26	6,26	4,2	6,1	6,3	7,3	8,5	8,2
Na	mg/L	121,9	143,98	143,98	96,6	140,3	144,9	167,9	195,5	188,6
K	mEq/L	0,2	0,26	0,26	0,17	0,21	0,19	0,17	0,2	0,13
K	mg/L	7,8	10,14	10,14	6,63	8,19	7,41	6,63	7,8	5,07
Suma	mEq/L	13,76	22,52	18,24	13,17	20,09	20,27	13,64	19,2	19,2
CO3H	mEq/L	5	4,81	4,85	6,18	5,1	6,1	5	5	4,75
CO3H	mg/L	305	293,41	295,85	376,98	311,1	372,1	305	305	289,75
SO4	mEq/L	4,8	5,83	5	3,6	4,39	3,33	4,38	5,21	4,58
SO4	mg/L	230,4	279,84	240	172,8	210,72	159,84	210,24	250,08	219,84
Cl	mEq/L	4,7	12,45	10,8	4,94	10,72	11,4	3,45	8,17	8,74
Cl	mg/L	166,85	441,975	383,4	175,37	380,56	404,7	122,475	290,035	310,27
Suma	mEq/L	14,5	23,09	20,65	14,72	20,21	20,83	12,83	18,38	18,07

Fuente: Laboratorio de Análisis Dr. Fuentes

RESULTADOS ANÁLISIS DE LABORATORIOS EXTERNOS. ENTRADA DE RESERVORIO, R.200: RESERVORIO CILINDRICO Y R.300: RESERVORIO CUADRADO: MANGLARALTO Y MONTAÑITA.

FECHA	PARÁMETROS UNIDADES	DBO5 mg O2/L	DBO mg O2/L	Fe mg/L	Mn mg/L	CT NMP/100ml	CF NMP/100ml
12/11/2012	ENTRADA	6	< 50	0,02	1,3	3,2*10 ⁴	AUSENCIA
	R. 200	13	< 50	0,01	0,6	AUSENCIA	AUSENCIA
	R. 300	7	< 50	0,01	1,5	1,6*10 ⁴	AUSENCIA
22/01/2013	ENTRADA	2	86	0,05	0,7	AUSENCIA	AUSENCIA
	R. 200	< 2	< 50	0,05	0,2	1*10 ⁵	2,8*10 ³
	R. 300	2	< 50	0,01	0,9	5*10 ²	1*10 ²
22/05/2013	ENTRADA	< 2	< 50	0,01	0,6	AUSENCIA	AUSENCIA
	R. 200	< 2	< 50	0,01	0,2	AUSENCIA	AUSENCIA
	R. 300	< 2	< 50	0,02	0,2	4,9*10 ³	AUSENCIA

Fuente: Laboratorio de Análisis PSI

ANEXO 11		FICHAS DE CAMPO 12-11-2012	
Las Muestras R.300 y R.200 fueron tomadas en Cabaña Restaurant "Caída del Sol" - Libertador Bolívar y la Junta de Agua Potable de Manglalaralto respectivamente.			
La cantidad de muestra es: 2 botellas de 1 litro y una de 120mL.			
		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	
			
FECHA	12/11/2012	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	
		X: 528924	
		Y: 9796216	
Responsable		María Isabel Silva, Andrea Vera	
Código de Muestra		ENTRADA	
Tipo de Muestra		Agua Subterránea	
Cantidad de Muestra		2100 mL	
Punto de Muestreo		Tubería de Entrada de Reservorios	
Parámetros		Valor Medio	Unidades
Temperatura		23	°C
Sólidos Totales Disueltos		1813	mg/L
Conductividad Eléctrica		1813	uS/cm
Salinidad		0,7	%
		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	
			
FECHA	12/11/2012	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	
		X: 529587	
		Y: 9791577	
Responsable		María Isabel Silva, Andrea Vera	
Código de Muestra		R.300	
Tipo de Muestra		Agua Tratada con HipoClorito de Calcio	
Cantidad de Muestra		2100 mL	
Punto de Muestreo		Tubería de Comedor en Libertador Bolívar	
Parámetros		Valor Medio	Unidades
Temperatura		23	°C
Sólidos Totales Disueltos		2520	mg/L
Conductividad Eléctrica		2520	uS/cm
Salinidad		1,2	mg/L



	FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	12/11/2012	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	ALTITUD
		X: 528392	14m
		Y: 9795519	
Responsable	María Isabel Silva, Andrea Vera		
Código de Muestra	R.200		
Tipo de Muestra	Agua Tratada con HipoClorito de Calcio		
Cantidad de Muestra	2100 mL		
Punto de Muestreo	Tubería de Junta de Agua - Manglaralto		
Parámetros	Valor Medio	Unidades	
Temperatura	23	°C	
Sólidos Totales Disueltos	2600	mg/L	
Conductividad Eléctrica	2660	uS/cm	
Salinidad	1,2	mg/L	
FICHAS DE CAMPO 22-01-2013			
Las Muestras R.300 y R.200 fueron tomadas en Cabaña Restaurant "Caída del Sol" - Libertador Bolívar y la Junta de Agua Potable de Manglaralto respectivamente.			
La cantidad de muestra es: 2 botellas de 1 litro y una de 120mL.			
	FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	22/01/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	ALTITUD
		X: 528924	17m
		Y: 9796216	
Responsable	María Isabel Silva, Andrea Vera		
Código de Muestra	ENTRADA		
Tipo de Muestra	Agua Subterránea		
Cantidad de Muestra	2100 mL		
Punto de Muestreo	Tubería de Entrada de Reservorios		
Parámetros	Valor Medio	Unidades	
Temperatura	20	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1559	mg/L	
Conductividad Eléctrica	1646	uS/cm	
Salinidad	0,8	%	

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	22/01/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84		ALTITUD
		X: 529587		22m
		Y: 9791577		
Responsable		María Isabel Silva, Andrea Vera		
Código de Muestra		R.300		
Tipo de Muestra		Agua Tratada con HipoClorito de Calcio		
Cantidad de Muestra		2100 mL		
Punto de Muestreo		Tubería de Comedor en Libertador Bolívar		
Parámetros		Valor Medio	Unidades	
Temperatura		20	°C	
Sólidos Totales Disueltos		2440	mg/L	
Conductividad Eléctrica		2440	uS/cm	
Salinidad		1,3	mg/L	

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	22/01/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84		ALTITUD
		X: 528392		14m
		Y: 9795519		
Responsable		María Isabel Silva, Andrea Vera		
Código de Muestra		R.200		
Tipo de Muestra		Agua Tratada con HipoClorito de Calcio		
Cantidad de Muestra		2100 mL		
Punto de Muestreo		Tubería de Junta de Agua - Manglaralto		
Parámetros		Valor Medio	Unidades	
Temperatura		20	°C	
Sólidos Totales Disueltos		2350	mg/L	
Conductividad Eléctrica		2351	uS/cm	
Salinidad		1,2	mg/L	

FICHAS DE CAMPO 22-05-2013

Las Muestras R.300 y R.200 fueron tomadas en Cabaña Restaurant "Caída del Sol" - Libertador Bolívar y la Junta de Agua Potable de Manglaralto respectivamente.

La cantidad de muestra es: 2 botellas de 1 litro y una de 120mL.

		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	22/05/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84		ALTITUD
		X: 528924		17m
		Y: 9796216		
Responsable	María Isabel Silva, Andrea Vera			
Código de Muestra	ENTRADA			
Tipo de Muestra	X	Subterránea		
Cantidad de Muestra	2100 mL			
Punto de Muestreo	Tubería de Entrada de Reservorios			
Parámetros	Valor Medio	Unidades		
Temperatura	26	°C		
Sólidos Totales Disueltos	1375	mg/L		
Conductividad Eléctrica	1391	uS/cm		
Salinidad	0,5	%		
		FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS		
FECHA	22/05/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84		ALTITUD
		X: 529587		22m
		Y: 9791577		
Responsable	María Isabel Silva, Andrea Vera			
Código de Muestra	R.300			
Tipo de Muestra	Agua Tratada con HipoClorito de Calcio			
Cantidad de Muestra	2100 mL			
Punto de Muestreo	Tubería de Comedor en Libertador Bolívar			
Parámetros	Valor Medio	Unidades		
Temperatura	26,3	°C		
Sólidos Totales Disueltos	1983	mg/L		
Conductividad Eléctrica	2000	uS/cm		
Salinidad	0,8	mg/L		

**FICHA DE CAMPO DE PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS**

FECHA	22/05/2013	Sistema de coordenadas de GPS: WGS 84	ALTITUD
		X: 528392	14m
		Y: 9795519	
Responsable	María Isabel Silva, Andrea Vera		
Código de Muestra	R.200		
Tipo de Muestra	Agua Tratada con HipoClorito de Calcio		
Cantidad de Muestra	2100 mL		
Punto de Muestreo	Tubería de Junta de Agua - Manglaralto		
Parámetros	Valor Medio	Unidades	
Temperatura	27,1	°C	
Sólidos Totales Disueltos	1985	mg/L	
Conductividad Eléctrica	2010	uS/cm	
Salinidad	0,9	mg/L	

BIBLIOGRAFÍA

1. Agengy, E. P. (1999). *Alternative Disinfectants and Oxidants*. EPA.
2. Ambiente, M. d. (2007). *Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria*.
3. Arboleda, J., Vargas, F., & Correal, G. (1969). *Manual de tratamiento de aguas potables*. Programa de Educación de Ingeniería Sanitaria.
4. AWWA. (1969). *Water Treatment Plant Design*. AWWA & CSSE.
5. Breck, D. (1974). Zeolite Molecular Sieves. Structure, Chemistry and Uses. *John Wiley & Sons*, 313-320; 731-738.
6. Doula, M. (2006). Removal of Mn²⁺ ions from drinking water by using clinoptilolite and clinoptilolite-Fe oxide system. *Water Research*, 3167-3176.
7. Droste, R. (1997). Design of Aeration System. En R. Droste, *Theory and Practice of Water and Wastewater Treatment* (pág. 364). John Wiley & Sons, Inc.
8. E. Custodio, M. R. (2001). Desendurecimiento y desmineralización por intercambio iónico. En M. R. E. Custodio, *Hidrología Subterránea. Tomo II* (pág. 1900). Omega.
9. Fair, G., & Geyer, J. (1954). *Elements of Water Supply and Waste Water Disposal*. New York: John Wiley & Sons.
10. Fair, G., & Geyer, J. (1954). *Water Supply and Waste Disposal*. New York: John Wiley & Sons.

11. Hurtado, E. D. (2011). *Gestión Integrada de Recursos Hídricos y Cambio Climático*. Ministerio del Ambiente del Perú.
12. INEN. (1998). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Manejo y conservación de muestras. *INEN 2169*.
13. INEN. (1998). Agua. Calidad del agua. Muestreo. Técnicas de muestreo. *INEN 2176*.
14. INEN. (2012). En *Implementación de Plantas Potabilizadoras Prefabricadas en Sistemas Públicos de Agua Potable* (pág. 9). QUITO: INEN.
15. M. Ritcher, H. R. (1999). Zeolite-mediated removal of NO_x by NH₃ from exhaust streams at low temperatures. *Catalysis Today*, 531-545.
16. Morgan, B. &. (s.f.). Precipitación Química. En A. W. Association, *CALIDAD Y TRATAMIENTO DEL AGUA. Manual de suministros de agua comunitaria*. (págs. 661-662). MCGRAW-HILL.
17. Petkova Simeonova, V. (1997). "Evaluación de diversos minerales para la remoción de arsénico de agua para consumo humano.". *FEMISCA*, 1-10.
18. Rojas, J. R. (2006). Aireación . En J. R. Rojas, *Purificación del Agua* (pág. 36). Escuela Colombiana de Ingeniería.
19. Rojas, J. R. (2006). Filtración. En J. R. Rojas, *Purificación del AGua*. Escuela Colombiana de Ingeniería.

20. Rojas, J. R. (2006). Floculación. En J. R. Rojas, *Purificación del agua* (pág. 83). Escuela Colombiana de Ingeniería.
 21. Rojas, J. R. (2006). Floculación. En J. R. Rojas, *Purificación del Agua* (pág. 84). Escuela Colombiana de Ingeniería.
 22. Silvio R. Taffarel, J. R. (2010). Removal of Mn²⁺ from aqueous solution by manganese oxide coated zeolite. *Minerals Engineering*, 1131-1138.
 23. Steel, E., & McGhee, T. (1979). *Water Supply and Sewerage*. McGraw-Hill.
 24. Taffarel, S. R. (2009). On the Removal of Mn²⁺ ions by adsorption onto natural and activated Chilean zeolites. . *Mineral Engineering*, 336-343.
 25. Winter, H. L. (1999). Ground Water and Surface Water: a single resource. U.S. Geological Survey Circular 1139.
-