



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

**“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUA
POTABLE DEL CANTON MOCHA”**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERO QUÍMICO

PROYECTO TÉCNICO

AUTOR: LEONARDO FABIAN VELASCO CAISAGUANO
TUTORA: ING. MAYRA ZAMBRANO

Riobamba – Ecuador

2016

©2016, Leonardo Fabián Velasco Caisaguano

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

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

El Tribunal del Trabajo de titulación certifica que: el presente trabajo de titulación, Proyecto Técnico **“OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTOS DE AGUA POTABLE DEL CANTON MOCHA”** de responsabilidad del señor Leonardo Fabián Velasco Caisaguano ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal de titulación, quedando autorizada así su presentación.

Ing. Mayra Zambrano
DIRECTOR DEL TRABAJO
DE TITULACIÓN

Ing. Mabel Parada
MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo, Leonardo Fabián Velasco Caisaguano, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 15 de Junio del 2016

Leonardo Fabián Velasco Caisaguano

180465011-5

“Yo, Leonardo Fabián Velasco Caisaguano, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en este Trabajo de titulación, y el patrimonio intelectual Trabajo de titulación pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo”

LEONARDO FABIÁN VELASCO CAISAGUANO

DEDICATORIA

Al culminar este trabajo titulación dedico mi esfuerzo a Dios y a San Juan Bautista que es la fuente de inspiración de cada momento de mi vida, a mis padres, a mi hermano, a mis abuelitos por su cariño por sus consejos y por siempre estar apoyándome, a mis tíos y en especial a toda mi familia que siempre han estado pendiente de mí y han sido el impulso en mi superación permanente para alcanzar este nuevo objetivo, a mis amigos que siempre me han acompañado en las buenas y malas desde el principio siendo un pilar de fortaleza sabiéndose convertir en mi familia fuera del hogar.

Fabián

AGRADECIMIENTO

La vida se encuentra plagada de retos, y uno de ellos es la universidad. Tras verme dentro de ella, me he dado cuenta que más allá de ser un reto, es una base no solo para mi entendimiento del campo en el que me he visto inmerso, sino para lo que concierne a la vida y mi futuro.

En primer lugar agradecer a Dios y a San Juanito, por haberme dado la sabiduría que me permitió haber llegado hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre por ser el pilar más importante y fundamental en mi vida demostrándome siempre su apoyo y cariño incondicional, a mi padre a mi hermano que siempre han estado conmigo apoyándome, a mis abuelitos que con sus consejos han sabido guiarme para culminar mi carrera.

A mis mejores amigos que siempre supieron estar conmigo apoyándome durante toda mi carrera universitaria convirtiéndose en familia y siempre brindándome su aliento para ser una persona mejor. A mis amigos de universidad por enseñarme que la amistad no solo está en las aulas de clases si no también afuera de ellas.

Al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Mocha por la apertura para realizar el trabajo de titulación en especial al Señor Alcalde Ing. Wulzon Carranza por su confianza en mi persona, al Ing. Leopoldo Espín encargado del Sistema de Tratamientos de Agua Potable por toda su ayuda a lo largo de la investigación al igual que a todo el personal que laboran en sus instalaciones.

A las Ing. Mayra Zambrano y a la Ing. Mabel Parada quienes con su guía y apoyo se supieron encaminar a lo largo de este trabajo de Titulación.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN	XVII
SUMMARY	XVIII
1 CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Identificación del problema	1
1.2 Justificación del proyecto	2
1.3 Línea base del proyecto	3
1.3.1 Localización geográfica.....	3
1.3.2 Antecedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable	4
1.3.3 Situación actual de la planta de agua potable.....	5
1.4 Bases Teóricas.....	7
1.4.1 Agua potable	7
1.4.2 Calidad del agua	7
1.4.3 Fuentes de agua	8
1.4.3.1 Aguas subterráneas	8
1.4.3.2 Aguas superficiales.....	8
1.4.4 Caracterización del agua.....	9
1.4.4.1 Características físicas	9
1.4.4.1.1 Turbidez	9
1.4.4.1.2 Color.....	9
1.4.4.1.3 Olor y sabor.....	10
1.4.4.1.4 Temperatura	10
1.4.4.1.5 Sólidos.....	10
1.4.4.1.6 Conductividad	10
1.4.4.2 Características químicas	11
1.4.4.2.1 Alcalinidad	11
1.4.4.2.2 Dureza	11
1.4.4.2.3 Nitrógeno.....	11
1.4.4.2.4 Sulfatos.....	12
1.4.4.2.5 Cloruros.....	12
1.4.4.2.6 Fluoruros	12
1.4.4.2.7 Hierro y manganeso.....	12
1.4.4.3 Análisis microbiológico del agua	12
1.5 Beneficiarios directos e indirectos	13

1.5.1	Directos	13
1.5.2	Indirectos	13
2	CAPITULO 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	14
2.1	Objetivo general	14
2.2	Objetivos específicos.....	14
3	CAPITULO 3. ESTUDIO TÉCNICO	15
3.1	Localización del proyecto.....	15
3.2	Ingeniería del proyecto	15
3.2.1	Diagnóstico del estado actual de la planta	15
3.2.2	Muestreo.....	16
3.2.3	Caracterización del agua que ingresa a la PTAP.....	16
3.2.4	Pruebas de tratabilidad.....	20
3.2.4.1	Pruebas de jarras.....	20
3.2.5	Caracterización final del agua con el tratamiento propuesto.....	24
3.2.6	Optimización	25
3.2.6.1	Cálculo de la población futura, (Nt, hab).....	26
3.2.6.2	Cálculo de la dotación básica, (DB, Lhab. día)	26
3.2.6.3	Dotación futura, (DF, Lhab. día)	27
3.2.6.4	Cálculo del consumo medio diario, (cmd, Ls)	27
3.2.6.5	Cálculo del Consumo Máximo Diario, (CMD, LS).....	28
3.2.6.6	Cálculo del Consumo Máximo Horario, (CMH LS)	28
3.2.6.7	Cálculo del caudal de optimización	28
3.2.6.8	Parámetros de optimización para el canal de Parshall.....	29
3.2.6.9	Parámetros de optimización de un floculador hidráulico de flujo horizontal	37
3.2.6.10	Dosificación	43
3.2.6.11	Cálculo de la concentración de Policloruro de Aluminio (PAC)	43
3.2.6.11.1	Concentración de PAC en la solución 3:1.....	43
3.2.6.11.2	Concentración de PAC en la dosificación optima.....	44
3.2.6.12	Cálculo del consumo de Poli Cloruro de Aluminio (PAC) al día.....	44
3.2.6.13	Cálculo de la concentración de Cal.....	45
3.2.6.13.1	Concentración de cal en la solución 3:1.....	45
3.2.6.13.2	Concentración de cal en la dosificación optima.....	45
3.2.6.14	Cálculo del consumo de cal al día	45
3.2.7	Resultados	46
3.2.8	Porcentaje de remoción	49

3.2.8.1	Porcentaje de Remoción con el Tratamiento Actual	49
3.2.8.2	Porcentaje de Remoción con el Tratamiento Propuesto	50
3.3	Proceso de producción.....	51
3.3.1	Proceso de producción actual	52
3.3.2	Proceso de producción propuesto	53
3.4	Requerimiento de tecnología	54
3.5	Análisis de costos/beneficios del proyecto.	55
3.5.1	Costo de operación con las pruebas de tratabilidad	55
3.5.2	Costos de operación para análisis de laboratorio	56
3.5.3	Costos de operación para el sistema de mezclado.....	57
3.5.4	Análisis de resultados	59
3.5.5	Conclusiones	61
3.5.6	Recomendaciones	63

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS Y APÉNDICES

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

<i>D</i>	Ancho en la entrada de la sección convergente
<i>W</i>	Ancho de la garganta del canal
<i>D'</i>	Ancho de la sección de medición
<i>C</i>	Ancho de la salida
<i>b_{ac}</i>	Ancho útil de la lámina A-C
<i>a</i>	Ancho del canal del floculador
<i>d</i>	Ancho de las vueltas de la floculación
<i>B_f</i>	Ancho del floculador
<i>H₀</i>	Altura del agua
<i>h₁</i>	Altura del agua del resalto
<i>H_u</i>	Altura del agua en la unidad
<i>θ</i>	Ángulo del canal
<i>A_F</i>	Área del canal del floculador
<i>Q</i>	Caudal
<i>q</i>	Caudal específico
<i>Q_d</i>	Caudal máximo de diseño
<i>Q_{max.d}</i>	Caudal máximo de diseño
<i>E₀</i>	Carga hidráulica disponible
<i>K</i>	Coefficiente que depende del ancho de la garganta (adimensional)
<i>m</i>	Constante
<i>Cmd</i>	Consumo Medio Diario
<i>CMD</i>	Consumo Máximo Diario
<i>k</i>	Coefficiente de Variación diaria
<i>K₂</i>	Coefficiente de Variación Horaria
<i>ρ_f</i>	Densidad del fluido a la temperatura
<i>q</i>	Dotación Percápita Máxima
<i>DB</i>	Dotación Básica
<i>DF</i>	Dotación Futura
<i>FM</i>	Factor de Mayorización
<i>G</i>	Gradiente de Velocidad
<i>g</i>	Gravedad
<i>LMP</i>	Límite Máximo Permisible
<i>K¹</i>	Longitud de las paredes de la sección divergente

F_1	Número de Froude
OMS	Organización Mundial de la Salud
PAC	Policloruro de Aluminio
N	Profundidad de la cubeta
TULSMA	Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiental
T	Tiempo de mezcla en el resalto
Tus	Total de Usuarios servidos
Vac:	Volumen de Agua Consumida
v	Velocidad del flujo de agua
v_0	Velocidad en la sección de medición
v_1	Velocidad antes del resalto
μ	Viscosidad del fluido

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-1	Mapa de cobertura del agua potable del cantón Mocha.....	3
Ilustración 2-1	Proceso actual de agua potable del cantón Mocha.....	5
Ilustración 3-3	Mapa de localización de la planta de tratamiento de agua potable de Mocha. ...	15
Ilustración 4-3	Canal de Parshall.....	29
Ilustración 5-3	Los factores K, m para el dimensionamiento del canal de Parshall	30
Ilustración 6-3	Floculadores Hidráulicos.....	37
Ilustración 7-3	Proceso propuesto del sistema de tratamiento de agua potable del cantón Mocha	52
Ilustración 8-3	Proceso propuesto del sistema de tratamiento de agua potable del cantón Mocha	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-1	Macrolocalización del Sistema de Agua Potable.....	3
Tabla 2-1	Localización Geográfica del Sistema de Agua Potable	4
Tabla 3-1	Clasificación del agua según su dureza	11
Tabla 4-1	Principales formas del cloro en el agua	12
Tabla 5-1	Calidad Microbiológica del Agua	13
Tabla 6-3	Cronograma de muestreo del sistema de agua potable del cantón Mocha	16
Tabla 7-3	Análisis físico - químico y microbiológico del agua cruda del sistema de potabilización del cantón Mocha.....	17
Tabla 8-3	Análisis físico - químico y microbiológico del agua potable del sistema de potabilización del cantón Mocha.....	18
Tabla 9-3	Tratamiento con Na_2CO_3 al 5 % en una solución de 100 ml y un elevador de pH hidróxido de sodio Na (OH)	20
Tabla 10-3	Tratamiento con Sulfato de Aluminio – Cal en una solución de 100 ml y elevador de pH Na (OH)	21
Tabla 11-3	Tratamiento con PAC y Cal en una solución 3:1 y elevador de pH Na (OH).....	22
Tabla 12-3	Mejor resultado propuesto.....	24
Tabla 13-3	Análisis físico - químico del agua con el tratamiento propuesto	24
Tabla 14-3	Determinación del ancho W del canal Parshall en función del caudal.....	30
Tabla 15-3	Dimensiones estandarizados del canal de Parshall	30
Tabla 16-3	Dimensiones estandarizadas del canal de Parshall de acuerdo al ancho de la garganta.....	31
Tabla 17-3	Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal	38
Tabla 18-3	Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla	39
Tabla 19-3	Resultados de las variables para el diseño	46
Tabla 20-3	Resultados de dimensionamiento de un Canal Parshall.....	47
Tabla 21-3	Resultados del dimensionamiento de un Floculador del flujo horizontal	48
Tabla 22-3	Resultados de la dosificación óptima	48
Tabla 23-3	Porcentaje de remoción	51
Tabla 24-3	Descripción de los métodos de laboratorio.....	54
Tabla 25-3	Equipos utilizados en el proyecto.....	55
Tabla 26-3	Determinación de los costos de operación.....	55
Tabla 27-3	Consumo de sustancias químicas para el tratamiento propuesto	56
Tabla 28-3	Determinación del costo de operación propuesto	56
Tabla 29-3	Determinación del costo de operación del proyecto propuesto.....	56
Tabla 30-3	Costos de los análisis de Laboratorio	61

Tabla 31-3	Pesupuesto para el sistema de mezclado	61
------------	--	----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1-3	Análisis Físico-Químico, Agua cruda.....	17
Gráfica 2-3	Análisis Microbiológica, Agua cruda	18
Gráfica 3-3	Análisis Físico-Químico, Tratamiento actual	19
Gráfica 4-3	Pruebas de Jarra con Na ₂ CO ₃ al 5 %	20
Gráfica 5-3	Prueba de Jarra con Sulfato de Aluminio y CAL.....	21
Gráfica 6-3	Pruebas de jarra con PAC-CAL.....	23
Gráfica 7-3	Tratamiento propuesto, análisis Físico-Químico	25
Gráfica 8-3	Resultado del porcentaje de Remoción.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

- Anexo A. Pruebas de tratabilidad
- Anexo B. Informe de los análisis físicos-químicos del agua cruda del sistema de potabilización del cantón Mocha
- Anexo C. Informe de los análisis microbiológicos del agua cruda del sistema de potabilización del cantón Mocha
- Anexo D. Informe de los análisis físico-químicos del agua potable del cantón Mocha
- Anexo E. Informe de los análisis microbiológicos del agua con el tratamiento actual
- Anexo F. Informe de los análisis físico, químico y microbiológico con el tratamiento propuesto
- Anexo G. Planos del sistema de mezclado
- Anexo H. Normas INEN 1108:2006

RESUMEN

Se optimizó el proceso de potabilización de agua en el sistema de Tratamiento del cantón Mocha, con el objetivo de obtener agua de calidad para el consumo humano, para lo cual se realizaron análisis de laboratorio para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas, se realizó un muestreo en diferentes puntos: agua cruda y potable donde se identificó parámetros como: dureza, calcio y sulfatos los que se encontraban fuera de las normas Instituto Nacional Ecuatoriano de Normalización (INEN) 11:08 2006, Texto Unificado Legislación Secundaria Medio Ambiental (TULSMA) y Guías de la Organización Mundial de la Salud (OMS), los parámetros antes mencionados fueron sometidos a pruebas de tratabilidad usando el método de Test de jarra mediante el uso de Policloruro de aluminio (PAC) y Cal en una solución de 3 a 1. Teniendo como resultados los siguientes valores dureza 72,22%, calcio 63,89%, sulfatos 81,82%, son datos que reflejan el cumplimiento de las Normas de referencia en la calidad de agua con la dosificación del PAC y Cal. En conclusión se validó el tratamiento propuesto para la optimización del Sistema de Tratamiento de agua potable del cantón Mocha mediante la caracterización final en un laboratorio acreditado obteniendo: dureza 176 mg/L, calcio 42 mg/L y sulfatos 91 mg/L, mediante la correcta dosificación del PAC-cal. Al definir los costos a nivel comercial, se determinó que el costo por el consumo del PAC y Cal es de \$ 53,91 por día consumiendo 38.8kg/día PAC y 12kg/día Cal. El estudio de optimización debe implementarse en el Sistema de Tratamiento de agua potable del cantón Mocha, con el uso de PAC y Cal con las concentraciones encontradas en el estudio realizado. Debido a que el sistema de tratamiento de agua potable no cuenta con procesos químicos se propone la implementación de un canal de Parshall con las siguientes dimensiones largo: 0,305m, ancho: 0,178m, alto: 0,57m y también un Floculador rectangular de ancho: 2,75m largo: 3,34m volumen: 7,14m³ para la dosificación y mezclado del PAC y Cal.

Palabras clave:<OPTIMIZACIÓN DEL PROCESO DE POTABILIZACIÓN>< MOCHA [CANTÓN]><INSTITUTO NACIONAL ECUATORIANO DE NORMALIZACIÓN [INEN]><POLICLORURO DE ALUMINIO><CAL><TEST DE JARRA><CANAL DE PARSHALL><FLOCULADOR>

SUMMARY

It was optimized the process of water purification in the treatment system of the canton Mocha, with the goal of obtaining quality for human consumption, for which laboratory analyses were performed to determine the characteristics of physical, chemical and microbiological, sampling was conducted at different points: raw and potable water where we identified parameters such as: hardness calcium and sulfates which were outside the national Institute Ecuatoriano of normalization (INEN) rules 11:08 2006, the text unified legislation secondary environmental (TULSMA) and guides of the World Health Organization (OMS), the above mentioned parameters were tested for Treatability using the method of Test jar through the use of polyvinyl chloride (PAC) and aluminum lime in a solution of 3-1. Given as results values 72,22% calcium 63,89% hardness, 81,82% sulfates, are date reflecting compliance with reference standards on the quality of water with the PAC and Cal dosing. In conclusion, the treatment proposed for the optimization of the system of treatment drinking water of the canton Mocha final characterization in an accredited laboratory was validated by obtaining: hardness 176 mg/L, calcium 42 mg/L, and sulfates 91 mg/L, using the correct dose of PAC-Cal. Defining the costs at commercial level, determined that the cost per PAC and Cal consumption is \$53,91 per day consumed 38,8 Kg/day PAC and 12 kg/day cal. The study of optimization should be implemented in the system of treatment of drinking water of the Mocha canton, with the use of PAC and Cal with concentrations found in the study. Since drinking water treatment system does not have chemical processes. Proposes the implementation of a channel of Parshall with the following dimensions: length 0,305m, width 0,178m, 0,57m and also a wide rectangular Flocculator: 2,75m long width 3,34m volume 7,14m³ for dosing and mixing the PAC and Cal.

1 CAPÍTULO 1. DIAGNÓSTICO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

1.1 Identificación del problema

La carencia de agua potable se debe tanto a la falta de inversiones en sistemas de agua como a su mantenimiento inadecuado. Cerca del 50% del agua en los sistemas de suministro de agua potable en los países en desarrollo se pierde por fugas, conexiones ilegales y vandalismo. En algunos países, el agua potable es altamente subsidiada para aquellos conectados al sistema, generalmente personas en una mejor situación económica, mientras que la gente pobre que no está conectada al sistema depende de vendedores privados costosos o de fuentes inseguras.

El suministro de agua es cada vez más limitado para las diversas comunidades, en millones de ellas nunca llegará la red de agua potable, la insuficiencia de este recurso natural afectará el desarrollo económico de muchos países en las próximas décadas. Los sistemas de captación del agua de lluvia para uso doméstico tienen cisternas construidas con diversos materiales los cuales representan una opción para hacer frente a la escasez de agua.

El agua se considera un recurso indispensable para la vida humana es por eso que debe ser de óptima calidad, el suministro debe ser seguro para uso comercial, doméstico e industrial. En la actualidad la contaminación del líquido es uno de los problemas más relevantes con falta de solución, es por esta razón que las entidades públicas y privadas buscan satisfacer esta necesidad garantizando la salud de la población.

En el sistema de tratamientos de agua potable del Cantón Mocha se verificó la falencia en algunas de sus operaciones o procesos para potabilizar el agua, ya que no son suficientes las operaciones que actualmente presenta el sistema de tratamiento para la remoción de contaminantes existentes, que exige la Norma Técnica Ecuatoriana NTE INEN 1108:2006, los requerimientos de la OMS, y el TULSMA.

Esta planta de tratamiento de agua potable presenta varios parámetros fuera de norma como dureza, calcio, sulfatos lo que ocasiona una distribución de agua potable de mala calidad y por ende problemas con quienes la consumen, por estos antecedentes se vio la necesidad de realizar una OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE TRATAMIENTO, para dar una solución inmediata.

1.2 Justificación del proyecto

Actualmente los gobiernos autónomos descentralizados municipales buscan brindar a la ciudadanía una mejor calidad de vida necesaria para alcanzar el buen vivir, es por eso que ahora los municipios y las distintas entidades se encargan de ofrecer los servicios básicos como son: energía eléctrica, servicio telefónico, alcantarillado y agua potable de calidad. Los actuales sistemas de dotación de agua se las realiza en tomas superficiales de los ríos o esteros, pozos y en algunas de estas fuentes se descargan las aguas servidas de las poblaciones aledañas, lo que hace que el agua sea entubada, de color turbia y de mal olor, no apta para el consumo humano.

Es necesario mencionar que actualmente el sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha, no cuenta con las operaciones o procesos de tratamientos necesarios para asegurar su potabilización completa, lo cual implica un problema constante sobre la salud de la población. “La Organización Mundial de la Salud (OMS) estima que 80% de todas las enfermedades en el mundo, son causadas por la falta de agua limpia y saneamiento adecuado, siendo ésta una de las causas principales de enfermedades y muertes sobre todo en los niños” (GONZALES, Carlos, 2014).

La presente investigación busca estudiar, analizar y proponer una alternativa para mejorar el estado actual del sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha, de tal manera que el agua captada reciba un tratamiento adecuado previa a su distribución del líquido vital a la población de la parte urbana y sus diferentes comunidades que aproximadamente cuenta con una población de 5000 personas según el censo realizado en el 2013.

1.3 Línea base del proyecto

1.3.1 Localización geográfica

El sitio de estudio del proyecto es el cantón Mocha el cual se abastece de agua potable del Sistema de Tratamiento de Agua ubicado en este sector, que brinda un servicio a: Mocha Centro, Chilcapamba, Cochalata, Cruz de Mayo, San Juan, El Rey, Santa Marianita.

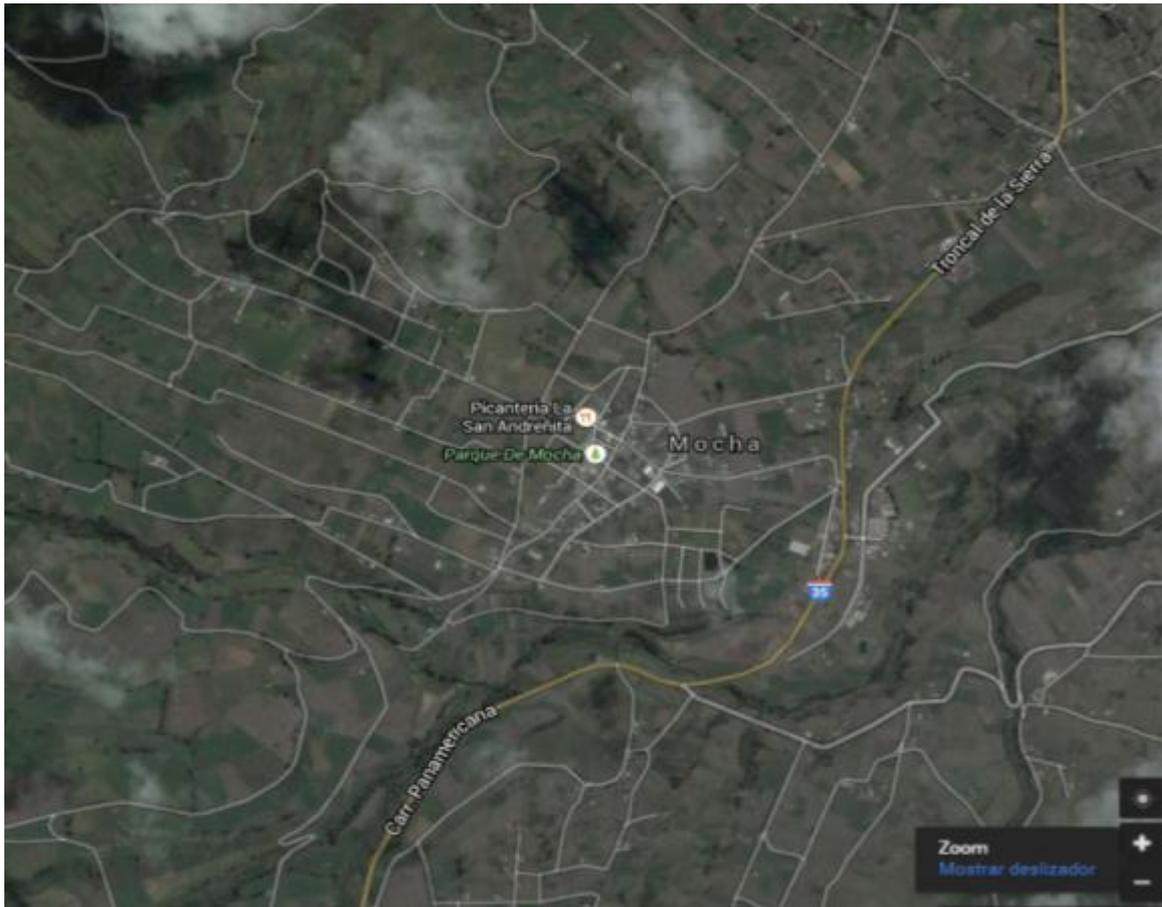


Ilustración 1-1 Mapa de cobertura del agua potable del cantón Mocha

Fuente: Google Map

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Tabla 1-1 Macrolocalización del Sistema de Agua Potable

País	Ecuador
Provincia	Tungurahua
Cantón	Mocha
Parroquia	Mocha
Sector	Chilcapamba

Fuente: CAÑADAS. L. 1983

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Tabla 2-1 Localización Geográfica del Sistema de Agua Potable

Latitud	1°24'11.80"S
Longitud	78°41'23.74"O
Altitud	3788msnm
Temperatura	Promedio de 13 grados Centígrados

Fuente: CAÑADAS, L, 1983

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

1.3.2 Antecedentes de la Planta de Tratamiento de Agua Potable

“El Cantón Mocha perteneciente a la Provincia de Tungurahua se encuentra en una ubicación geográfica delimitada por: al Norte el Cantón Tisaleo, al Sur la Carretera Panamericana con, al Este la parroquia Rumipamba perteneciente al Cantón Quero, Oeste por la cumbre Nor-Oriente del Nevado Carihuairazo, el ramal orográfico conocido como el Filoque pasa por el cerro Pacacochas y sitio Pampa de Patococha. “El cantón cuenta con una extensión de 80 Km² y una densidad poblacional aproximadamente de 5000 habitantes” (CAÑADAS, L, 1983).

Los encargados de la potabilización y abastecimiento de agua potable a todo el Cantón es el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Mocha, representado por el Ing. Wilson Carranza Alcalde del mismo, siendo los encargados de proporcionar a la población servicios básicos de agua potable y alcantarillado de manera eficaz y responsable, de esta manera garantizan el bienestar de toda la comunidad, mejorando su calidad y estándares de vida.

“La Planta de Tratamiento de Agua Potable del Cantón Mocha se abastece del líquido vital del Sector Pampas de Salazaca, específicamente del deshielo del Nevado Carihuairazo, el recorrido del agua desde este sector hasta llegar a la planta de tratamiento es por medio de tuberías PVC, ubicadas en el sector de Chilcapamba” (GUANANGA, Ana, 2013). La planta de tratamiento aproximadamente tiene una vida útil de 20 años.

1.3.3 Situación actual de la planta de agua potable

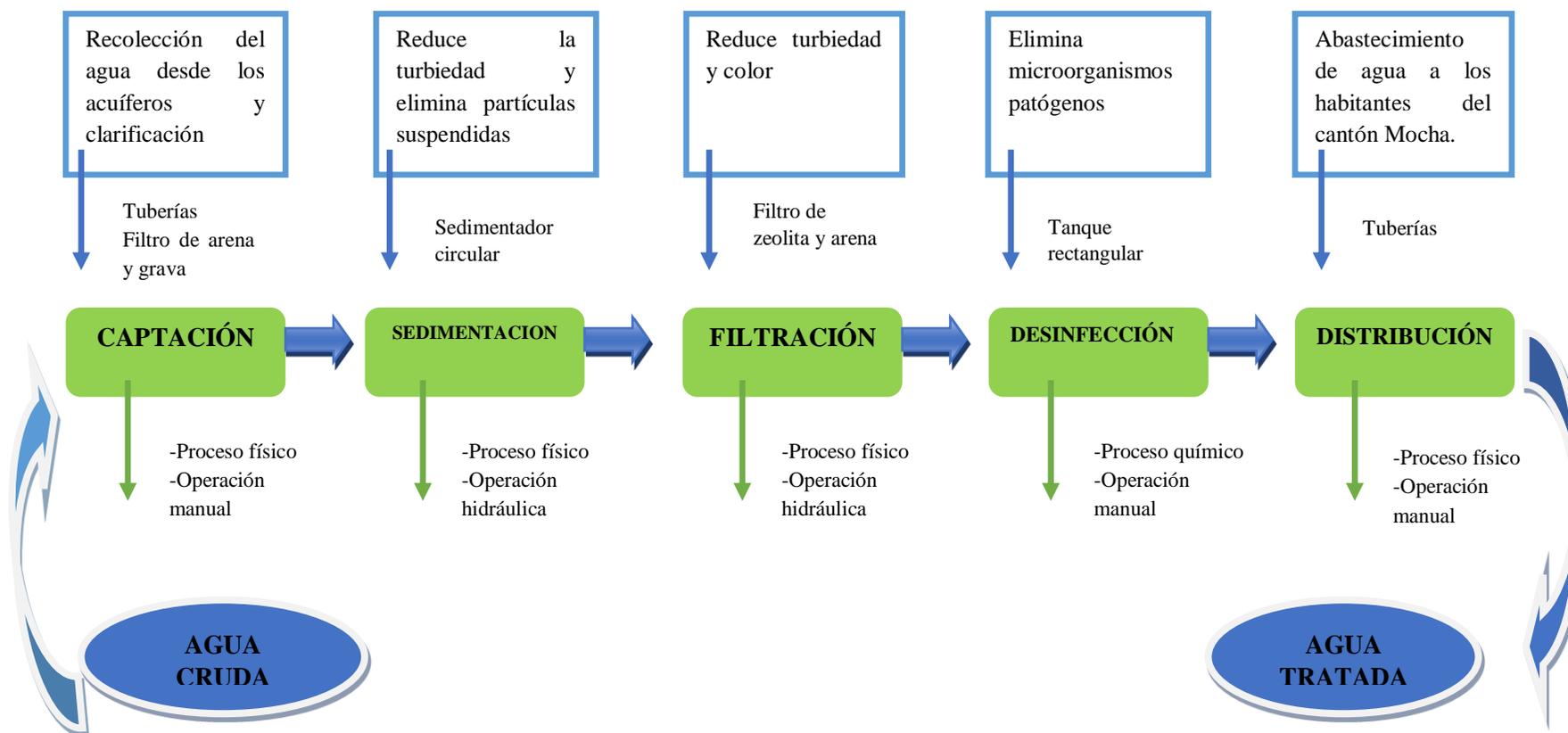


Ilustración 2-1 Proceso actual de agua potable del cantón Mocha
 Realizado por: Fabián Velasco, 2016

El abastecimiento de agua potable del cantón Mocha proviene de vertientes cuya captación es de 15 litros de agua por segundo, que se encuentra ubicado en la comunidad Chilcapamba a 10 minutos del cantón Mocha y es distribuido a la población de la parte urbana y las diferentes comunidades del cantón, abasteciendo así a una población de aproximadamente 5000 personas.

La planta de tratamiento de agua potable consta de las siguientes etapas:

- **Captación**

El agua para potabilizar es captada de fuente superficial (deshielo del Carihuirazo), en donde encontramos un sistema de rejas y compuertas que retienen los materiales de gran tamaño (palos, maderas, plásticos, etc.) para evitar que entren a la tubería que conduce el agua hacia el establecimiento potabilizador.

- **Conducción**

El agua procedente de la fuente de abastecimiento, es transportada mediante tuberías de PVC, hacia los tanques de almacenamiento, planta de tratamiento y distribución. Esta última se la realiza por:

- **GRAVEDAD:** permite el transporte del agua utilizando la energía hidráulica.

- **Sedimentación**

El agua circula lentamente mediante un sedimentador circular para que los sólidos pesados en suspensión, caigan al fondo. El agua con menos material suspendido, pero todavía turbia pasa a la siguiente etapa que es la filtración.

- **Filtración**

Aquí el agua es separada de la materia en suspensión haciéndola pasar a través de una sustancia porosa o medio filtrante. Todo lo que no precipitó en el sedimentador es retenido en el filtro. El filtro que se utiliza es de arena y zeolita, el agua pasa por gravedad a baja velocidad, la separación de los materiales sólidos se efectúa al pasar el agua por los poros de la capa filtrante y adherirse las partículas a los granos de arena, luego mediante un prelavado es expulsado el material en suspensión esto se realiza diariamente (ESTRADA, José, 2011).

– **Desinfección**

Donde se destruyen los agentes microbianos, por medio de productos químicos, la desinfección se realiza con cloro gas. Este es el último paso en la potabilización del agua, donde después se acumula en los tanques de almacenamiento y es distribuida por red a los domicilios.

1.4 Bases Teóricas

1.4.1 Agua potable

Se denomina agua potable al agua “bebible” en el sentido que puede ser consumida por personas y animales sin riesgo de contraer enfermedades. El término se aplica al agua que ha sido tratada para su consumo humano según normas de calidad promulgadas por autoridades locales e internacionales (YANQUI Cristian, 2014).

1.4.2 Calidad del agua

El agua pura como tal no existe en la naturaleza. El agua lluvia puede recoger impurezas mientras pasa a través del aire. Los ríos y las quebradas recogen impurezas que provienen del suelo de las descargas de aguas residuales domesticas e industriales, transportándolas a los lagos, embalses y mares.

Existe menor riesgo de polución en las aguas superiores de un rio, donde la población es escasa, pero en ningún caso puede considerarse un agua superficial carente de contaminación a pesar de que la purificación natural ocurre en todo cuerpo de agua gracias a la sedimentación y muerte de las bacterias patógenas.

“Las impurezas que puede contener el agua pueden encontrarse en solución o en suspensión. Toda materia suspendida debe removerse, al igual que cualquier sustancia disuelta que se encontrara en exceso o que haga el agua inadecuada para uso doméstico o industrial. El tipo de polución que puede ocurrir en el agua y las medidas que deben tomarse para prevenirla o removerla varía con la fuente de donde provenga el agua” (SALAZA, Lorena, 2012).

El criterio de calidad del agua va depender directamente de la utilización que se le vaya a dar a dicha agua. Muchas de las características fisicoquímicas y bacteriológicas requeridas para determinado uso son características adoptadas para propósitos generales. Así, por ejemplo, es condición generalmente aceptada que un suministro de agua, para uso doméstico, debe ser claro,

libre de minerales que produzcan alteración en el organismo del ser humano y que puedan afectar la salud.

“Aguas puras no existe en la naturaleza; por consiguiente, se utiliza el término de agua segura y de agua potable. El agua segura es aquella cuyo consumo no implican ningún riesgo para la salud del consumidor, mientras que el agua potable es aquella que además de ser segura es satisfactoria desde el punto de vista físico, químico, biológico, es decir es apta para el consumo humano” (ROMERO, J, 2009).

1.4.3 Fuentes de agua

“La calidad y la cantidad del agua procedente de aguas superficiales y subterráneas, las dos fuentes principales, experimentan la influencia de la geografía, el clima y las actividades humanas, Las aguas subterráneas normalmente se pueden utilizar con poco o ningún tratamiento. El agua superficial, por otra parte, suele necesitar tratamientos extensos, en especial si está contaminada. En las regiones áridas del mundo la falta de aguas subterráneas o superficiales puede hacer necesaria la desalinización de agua de mar y la recuperación de aguas residuales tratadas. Estos tratamientos son costosos, pero se produce agua de calidad adecuada para cualquier propósito” (CORDOVA, Christian, 2014).

1.4.3.1 Aguas subterráneas

Son aquellas que se han filtrado desde la superficie de la tierra hacia abajo por los poros del suelo y roca que se han saturado de líquido se conoce como depósitos de aguas subterráneas, o acuíferos. El agua normalmente se extrae de estos depósitos por medio de pozos.

1.4.3.2 Aguas superficiales

“Las aguas superficiales de ríos y lagos son fuentes importantes de abastecimiento de aguas públicas en virtud de las altas tasas de extracción que soportan normalmente. Una desventaja de utilizar aguas superficiales es que están expuestas a la contaminación de todo tipo. Los contaminantes llegan a los lagos y ríos desde diversas e intermitentes, como residuos industriales y municipales, drenaje de áreas urbanas y agrícolas, y erosión de los suelos” (PESANTES, Itaya, 2013).

1.4.4 Caracterización del agua

El principal objetivo de caracterizar el agua es conocer sus atributos físicos, químicos y biológicos con el propósito de definir su aptitud para uso humano, agrícola, industrial.

1.4.4.1 Características físicas

1.4.4.1.1 Turbidez

Es la propiedad óptica de una suspensión que hace que la luz sea remitida y no transmitida a través de una suspensión. La turbidez de un agua puede ser ocasionada por una gran variedad de materiales en suspensión que varían en tamaño, desde dispersiones coloidales hasta partículas gruesas, entre otros.

Es importante considerarla porque:

- No tiene efectos sobre la salud pero afecta la calidad estética del agua pudiendo ocasionar rechazo por el consumidor.
- Determina el sistema de tratamiento más adecuado en cuanto a filtrabilidad.
- Las partículas presentes reducen la eficiencia del proceso de desinfección protegiendo a microorganismos de un contacto directo.
- La determinación de la turbiedad a la entrada y salida del proceso de tratamiento sirve para cuantificar la eficiencia remocional del mismo facilitando el control del proceso.

1.4.4.1.2 Color

El termino color se refiere al color verdadero del agua y se acostumbra medir junto con el pH, pues la intensidad del color aumenta con el incremento del pH.

El color natural del agua existe principalmente por efecto de partículas coloidales cargadas negativamente; debido a esto, su remoción puede lograrse con ayuda de un coagulante de una sal de ion metálico trivalente como el Al^{+++} o el Fe^{+++} (PESANTES, Itaya, 2013).

1.4.4.1.3 Olor y sabor

La determinación del olor y sabor en el agua es útil para evaluar la calidad de la misma y su aceptabilidad por parte del consumidor, para el control de los procesos de una planta y para determinar en muchos casos la fuente de una posible contaminación.

1.4.4.1.4 Temperatura

La determinación exacta de la temperatura es importante para diferentes procesos de tratamiento y análisis de laboratorio, por ejemplo, el grado de saturación de OD, la actividad biológica y el valor de saturación con carbonato de calcio se relacionan con la temperatura.

1.4.4.1.5 Sólidos

Se clasifica toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos, como materia sólida.

- Sólidos totales: Se define como sólidos la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103°C.
- Sólidos disueltos: Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos.
- Sólidos suspendidos: Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado.
- Sólidos sedimentables: La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentaran, en condiciones tranquilas, por acción de la gravedad.

1.4.4.1.6 Conductividad

Es una expresión numérica de su habilidad para transportar una corriente eléctrica, que depende de la concentración total de las sustancias disueltas ionizadas en el agua y de la temperatura a la cual se haga la determinación” (UVIDIA, Johana, 2013).

1.4.4.2 Características químicas

1.4.4.2.1 Alcalinidad

La alcalinidad del agua puede definirse como su capacidad para neutralizar ácidos, como su capacidad para reaccionar con iones hidrogeno, como su capacidad para aceptar protones o como la medida de su contenido total de sustancias alcalinas (OH⁻).

En aguas naturales, la alcalinidad se debe generalmente a la presencia de tres clases de compuestos:

- Bicarbonatos
- Carbonatos
- Hidróxidos

1.4.4.2.2 Dureza

La dureza es causada por iones metálicos divalentes, capaces de reaccionar con el jabón para formar precipitados y con ciertos aniones presentes en el agua para formar incrustaciones.

Tabla 3-1 Clasificación del agua según su dureza

Rango	Tipo de agua
0 – 75 mg/L	Blanda
75 – 150 mg/L	Moderadamente Dura
150 – 300 mg/L	Dura
> 300	Muy Dura

Fuente: ROMERO, J., 2009

1.4.4.2.3 Nitrógeno

Los compuestos de nitrógeno son de gran interés para los ingenieros ambientales debido a su importancia en los procesos vitales de todas las plantas y animales.

Las formas de mayor interés, en nuestro caso son:

- Nitrógeno amoniacal
- Nitrógeno de nitritos
- Nitrógeno de nitratos
- Nitrógeno orgánico

1.4.4.2.4 Sulfatos

El ion sulfato, uno de los aniones más comunes en las aguas naturales, se encuentran en concentraciones que varían desde unos pocos hasta varios miles mg/L.

1.4.4.2.5 Cloruros

Las altas concentraciones de cloruro confieren un sabor salado al agua. Las principales formas del cloro en aguas y su correspondiente número de oxidación son:

Tabla 4-1 Principales formas del cloro en el agua

Compuesto	Nombre	Nº de oxidación
HCl	Ácido clorhídrico	-1
Cl ⁻	Ion cloro	-1
Cl ₂	Cloro molecular	0
HOCl	Acido hipocloroso	1
OCl ⁻	Ion hipoclorito	1
HClO ₂	Ácido cloroso	3
ClO ₂ ⁻	Ion clorito	3
ClO ₂	Dióxido de cloro	4
HClO ₃	Acido clórico	5
ClO ₃ ⁻	Ion clorato	5

Fuente: ROMERO, J., 2009

1.4.4.2.6 Fluoruros

La determinación de fluoruros es responsable del diseño y operación de unidades de tratamiento para remoción de fluoruros, en aguas que contienen cantidades excesivas.

1.4.4.2.7 Hierro y manganeso

Tanto el hierro como el manganeso crean problemas en suministros de aguas.

1.4.4.3 Análisis microbiológico del agua

Se puede definir como el conjunto de operaciones encaminadas a determinar los microorganismos presentes en el agua. El interés se centra en los microorganismos patógenos, que son los diferentes tipos de bacterias, virus, protozoos y otros organismos que transmiten enfermedades.

Los parámetros físicos-químicos dan información extensa de la naturaleza de las sustancias químicas del agua y sus propiedades físicas, sin aportar información de su influencia en la vida acuática.

El método microbiológico para detectar la presencia de microorganismos Coliformes en el agua contemplan tres fases: prueba presuntiva, prueba confirmativa y prueba completa” (ROMERO, J. (2009). Calidad del Agua. Bogotá -Colombia. Editorial Escuela Colombia de Ingeniería. Pp: 105-215).

Tabla 5-1 Calidad Microbiológica del Agua

Calidad de Agua	Número de gérmenes/ml
Excesivamente pura	0 a 10
Muy pura	10 a 100
Pura	100 a 1000
Medianamente pura	1000 a 10000
Impura	10000 a 100000
Muy Impura	Más de 1000000

Fuente: ROMERO, J., 2009

1.5 Beneficiarios directos e indirectos

1.5.1 Directos

- El beneficiario directo del trabajo de titulación es el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Mocha cuya institución se encarga de velar por el bienestar de los moradores de dicho cantón, siendo uno de los problemas la calidad de agua potable que se abastece a los pobladores de este sector.

1.5.2 Indirectos

- Los beneficiarios indirectos son los habitantes del cantón Mocha ya que los resultados de optimización del sistema, permitirán brindar agua de calidad que cumpla con los parámetros especificados en la Norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006.

2 CAPITULO 2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

2.1 Objetivo general

- Optimizar el sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha.

2.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar el estado actual del sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha.
- Efectuar la caracterización físico-química y microbiológica del agua captada y del agua que se consume actualmente.
- Identificar los parámetros que se encuentran fuera de rango, establecidos por la Norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006, Calidad del Agua Potable de la OMS y el TULSMA, a la entrada y salida de la planta.
- Establecer alternativas de tratabilidad más adecuado a nivel de proceso operacional.
- Identificar las variables del proceso que se requieren para el rediseño de la planta de tratamiento.
- Realizar los respectivos cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha.
- Validar la optimización de la planta con la caracterización final de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos del agua tratada, según la norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006, Calidad del Agua Potable, del OMS y el TULSMA.

3 CAPITULO 3. ESTUDIO TÉCNICO

3.1 Localización del proyecto

La planta de tratamiento de agua potable del cantón Mocha se encuentra ubicada en la comunidad Chilcapamba a 10 minutos del cantón Mocha.



Ilustración 3-3 Mapa de localización de la planta de tratamiento de agua potable de Mocha.

Fuente: Google Map

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2 Ingeniería del proyecto

3.2.1 Diagnóstico del estado actual de la planta

El diagnóstico del estado actual de la planta permite observar cómo se encuentra el funcionamiento del proceso de potabilización de la planta del cantón Mocha y se observó que no está funcionando adecuadamente, ya que el filtro de zeolita y arena ha cumplido su vida útil el cual ya no trabaja en perfectas condiciones, por tanto se tiene problemas de la dureza del agua.

3.2.2 Muestreo

Para el desarrollo del presente trabajo la selección de la muestra en la planta de agua potable, fue realizada por muestreo aleatorio y compuesto (muestra homogenizada), como se indica a continuación:

Tabla 6-3 Cronograma de muestreo del sistema de agua potable del cantón Mocha

Cronograma de muestreo				
Tipo de muestra	Febrero todo el mes			Numero de muestras
	Muestra aleatoria	Muestra compuesta	Muestra simple	
Agua cruda			X	3
Agua potable	X	X	X	3
			TOTAL	6

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

La valoración de la potabilización del sistema de tratamiento de agua se llevó a cabo con un total de 6 muestras recolectadas 1 vez por semana, durante un período de 1 meses, de estas muestras se realizaron los análisis físicos-químicos y microbiológicos.

Las muestras recogidas se transportaron al Laboratorio de Calidad Ambiental de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo-Facultad de Ciencias, donde fueron analizadas físico-química y microbiológicamente y comparadas con las Normas INEN 1108:2006, TULSMA (Libro VI ANEXO 1, Tabla 1: Límites máximos permisibles para aguas de consumo humano y uso doméstico, que únicamente requieren tratamiento convencional y según la normativa de la OMS. En base a estas normas se identificó 3 parámetros fuera de norma en el agua tratada, los cuales son: Dureza, Calcio y Sulfatos.

3.2.3 Caracterización del agua que ingresa a la PTAP

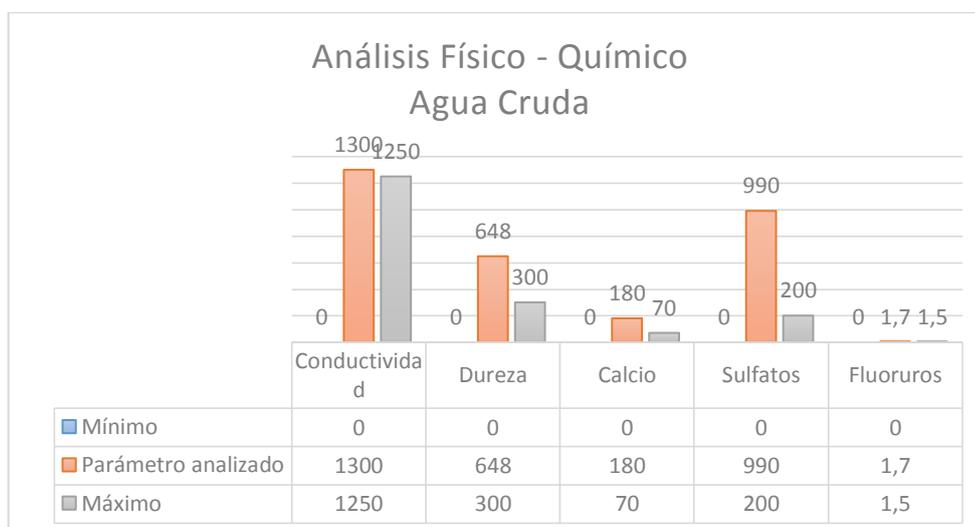
Las características físico-químicas como resultado del muestro realizado, indica la situación actual de proceso de tratamiento de agua potable del cantón Mocha. La cual se realizó en diferentes días, como se muestra a continuación:

Tabla 7-3 Análisis físico - químico y microbiológico del agua cruda del sistema de potabilización del cantón Mocha

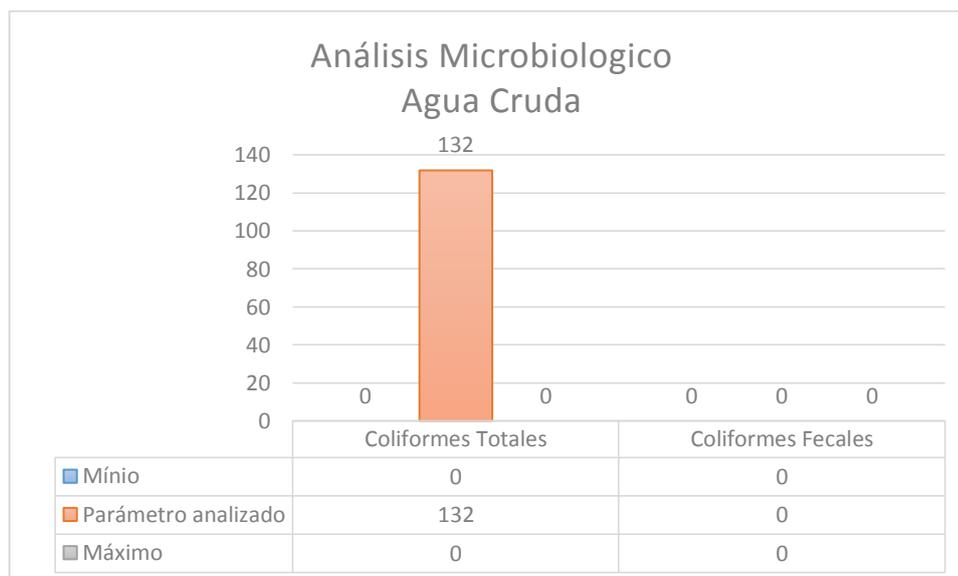
DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS			LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLE		
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	INEN 1108:2006	TULSMA	OMS
Color	und Co/Pt	12	14	10	<15	15	15
Ph	Unid	7,45	7,5	7,3	6,5 - 8,5	6 - 9	6,5-8,5
Conductividad	μSiems/cm	1300	1360	1352	< 1250	< 1250	1000
Turbiedad	UNT	1,68	1,18	0,9	5	< 5	2
Cloruros	mg/L	35	42	38	250	250	250
Dureza	mg/L	684	640	664	300	500	<500
Calcio	mg/L	180	175	178	70	70	100
Magnesio	mg/L	45	42	39	30 - 50	-----	-----
Alcalinidad	mg/L	180	120	130	250- 300	250- 300	<200
Sulfatos	mg/L	990	910	840	200	400	250
Nitritos	mg/L	0,006	0,025	0,095	0,01	1,0	<0,1
Nitratos	mg/L	0,9	1,9	0,9	<40	10	<5
Fluoruros	mg/L	1,70	2,10	1,80	<1,5	1,5	1,5
Fosfatos	mg/L	0,29	0,22	0,19	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Manganeso	mg/L	0,099	0,085	0,085	-----	-----	-----
Sólidos Disueltos	mg/L	450	480	450	500	1000	500
Coliformes totales	NMP/100ml	132	130	128	<2		
Coliformes fecales	NMP/100ml	0	0	0	<2		

	Parámetros fuera de norma
	LMP OMS
	LMP TULSMA
	LMP INEN 1108:2006

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016 (CAMBIAR EL ORDEN)



Gráfica 1-3 Análisis Físico-Químico, Agua cruda
Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 2-3 Análisis Microbiológica, Agua cruda
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

El agua cruda presenta parámetros físico-químicos y microbiológicos fuera de los límites permisibles (Ver Anexo B y C), los cuales son: Conductividad, Dureza, Calcio, Sulfato, Fluoruros, y Coliformes totales éstos parámetros no cumplen con la norma INEN 1108:2006, OMS, y el TULSMA, tal como indica la Gráfica 1-3 y 2-3

Tabla 8-3 Análisis físico - químico y microbiológico del agua potable del sistema de potabilización del cantón Mocha

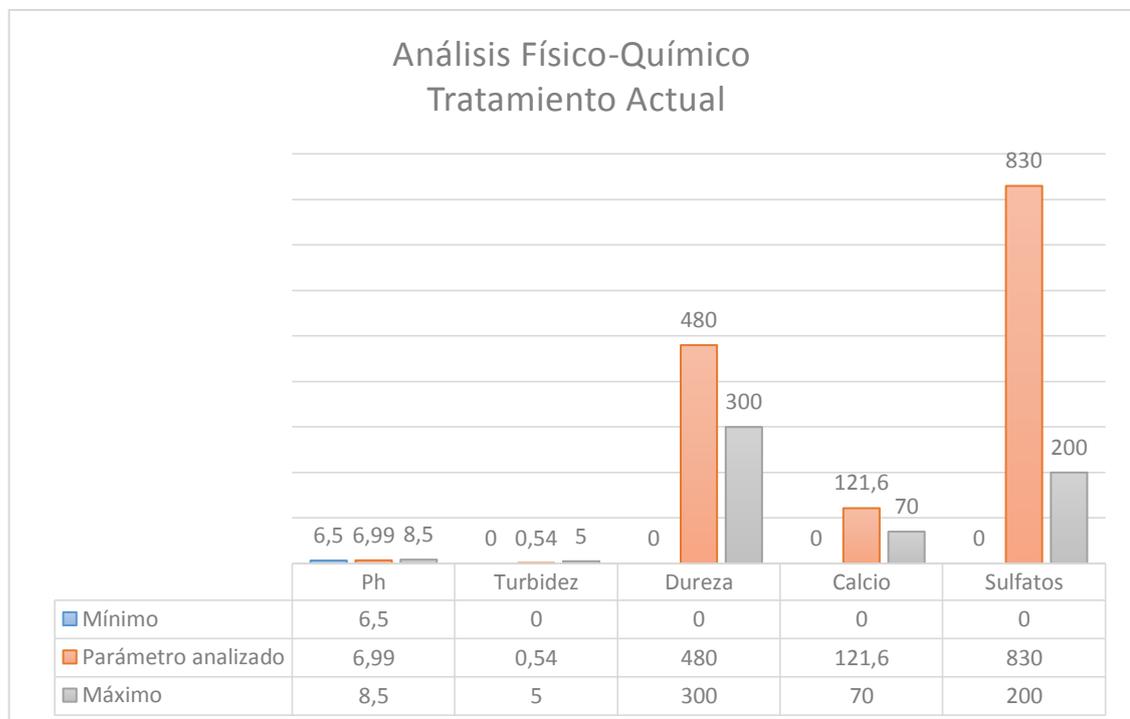
DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS			LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLE		
		SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	INEN 1108:2006	TULSMA	OMS
Color	und Co/Pt	9.0	8.0	10	<15	15	15
Ph	Unid	6.99	6.75	6,94	6,5 - 8,5	6 - 9	6,5-8,5
Conductividad	µSiems/cm	700	800	890	< 1250	< 1250	1000
Turbiedad	UNT	0.54	0.58	0,74	5	< 5	2
Cloruros	mg/L	12.03	25	16,02	250	250	250
Dureza	mg/L	480	624	520	300	500	<500
Calcio	mg/L	121.6	166.4	144	70	70	100
Magnesio	mg/L	42.7	49.5	38,8	30 - 50	-----	-----
Alcalinidad	mg/L	100	120	100	250- 300	250- 300	<200
Sulfatos	mg/L	830	990	540	200	400	250
Nitritos	mg/L	0.003	0.005	0,003	0,01	1,0	<0,1
Nitratos	mg/L	0.4	0.4	0,6	<40	10	<5

Fluoruros	mg/L	0.52	0.83	0,91	<1,5	1,5	1,5
Fosfatos	mg/L	0.26	0.29	0,22	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Manganeso	mg/L	0.065	0.079	0,055	-----	-----	-----
Sólidos Disueltos	mg/L	370	420	470	500	1000	500
Coliformes totales	NMP/100ml	0	0	0	<2		
Coliformes fecales	NMP/100ml	0	0	0	<2		

	Parámetros fuera de la norma
	LMP OMS
	LMP TULSMA
	LMP INEN 1108:2006

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 3-3 Análisis Físico-Químico, Tratamiento actual

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Los análisis físico-químicos del agua tratada en la planta de potabilización del cantón Mocha dieron como resultado parámetros fuera de la norma establecidos por la INEN 1108:2006, OMS, y TULSMA según la Gráfica 3-3, siendo estos: Dureza, Calcio, y Sulfatos. Estos parámetros a más de un proceso físico requieren de un tratamiento químico para la obtención de agua potable de calidad bajo las normas que la rigen (Ver Anexo D).

Los resultados microbiológicos indican que los coliformes totales y fecales están dentro de las normas INEN 1108:2006, OMS, y TULSMA. (Ver Anexo E).

3.2.4 Pruebas de tratabilidad

3.2.4.1 Pruebas de jarras

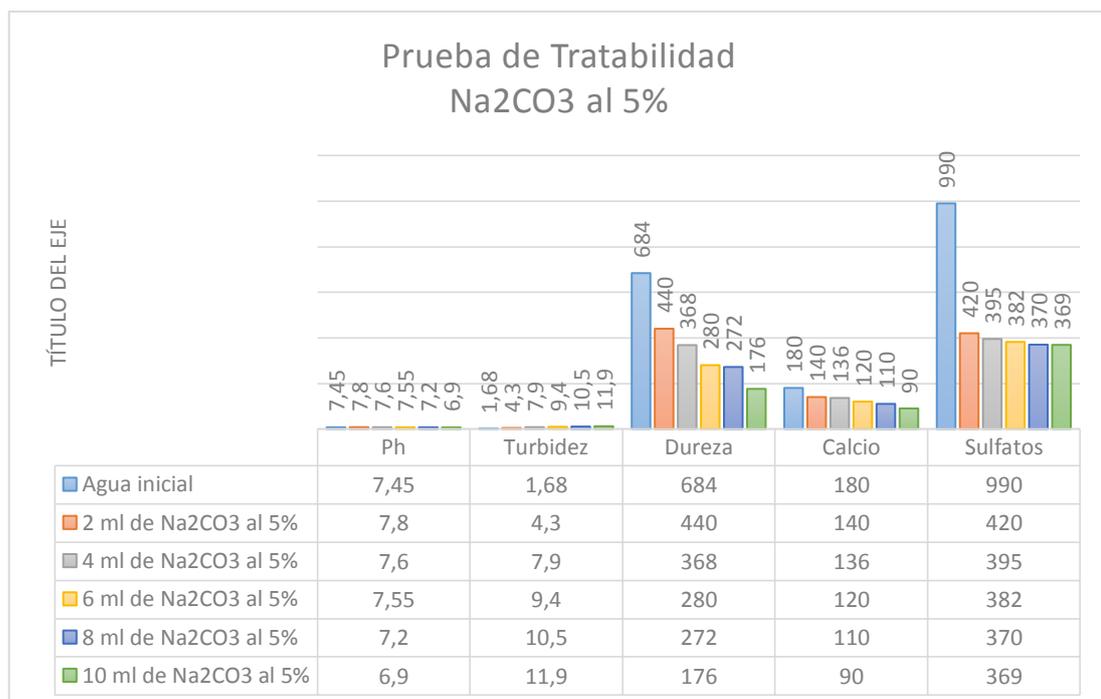
- Con Na₂CO₃

El tratamiento con Na₂CO₃ al 5% para la potabilización del agua para el cantón Mocha se explica en las pruebas de tratabilidad Tabla 9-3, para esto se tomó 5 gramos Na₂CO₃ luego se aforo a 100 ml. De la solución madre se tomó dosificaciones de 2 mL-10mL para añadir a una muestra con volumen de 1000 mL donde se agita por 5 minutos para luego dejar en reposo por 1 hora, y finalmente analizar los parámetros de interés.

Tabla 9-3 Tratamiento con Na₂CO₃ al 5 % en una solución de 100 ml y un elevador de pH hidróxido de sodio Na (OH)

Parámetros	Inicial	2 ml de Na ₂ CO ₃ al 5%	4 ml de Na ₂ CO ₃ al 5%	6 ml de Na ₂ CO ₃ al 5%	8 ml de Na ₂ CO ₃ al 5%	10 ml de Na ₂ CO ₃ al 5%
pH	7,45	7,8	7,6	7,55	7,2	6,9
Dureza	684	440	368	280	272	176
Calcio	180	140	136	120	110	90
Sulfatos	990	420	395	382	370	369
Turbidez	1,68	4,3	7,9	9,4	10,5	11,9

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 4-3 Pruebas de Jarra con Na₂CO₃ al 5 %
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Las pruebas de tratabilidad con Na₂CO₃ permitió la remoción de los parámetros como: Dureza y Calcio excepto los sulfatos y la turbidez debido a que esta solución eleva la turbidez del agua, para mayor detalle observar la Gráfica 4-3.

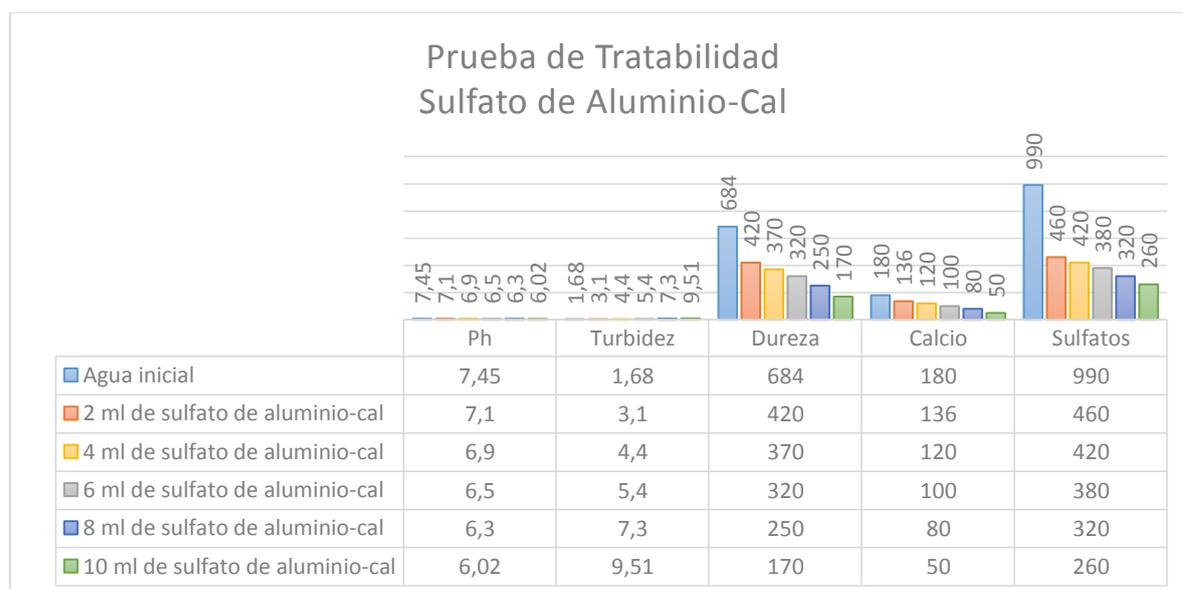
- **Con Sulfato de Aluminio-Cal**

El proceso de tratamiento con el Sulfato de Aluminio-Cal se explica en la Tabla 10-3 para lo cual se realizó una mezcla de 3:1. Se tomó 3 gramos de Sulfato de Aluminio y Cal, cada uno se afora a 100 mL, luego se tomó 30 mL Sulfato de Aluminio y 10 mL de la solución de cal la mezcla de esta dos soluciones se afora a 100 mL, con la mezcla final o mezcla madre se hicieron las pruebas de tratabilidad.

Tabla 10-3 Tratamiento con Sulfato de Aluminio – Cal en una solución de 100 ml y elevador de pH Na (OH)

Parámetros	Inicial	2 ml de sulfato de aluminio – cal	4 ml de sulfato de aluminio – cal	6 ml de sulfato de aluminio – cal	8 ml de sulfato de aluminio – cal	10 ml de sulfato de aluminio – cal
pH	7,45	7,1	6,9	6,5	6,3	6,02
Dureza	684	420	370	320	250	170
Calcio	180	136	120	100	80	50
Sulfatos	990	460	420	380	320	260
Turbidez	1,68	3,1	4,4	5,4	7,3	9,51

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 5-3 Prueba de Jarra con Sulfato de Aluminio y CAL

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Las pruebas de tratabilidad dieron como resultado la remoción de todos los parámetros pero el Sulfato de Aluminio al igual que el Carbonato de Sodio (Na_2CO_3) tiende a elevar la Turbidez del agua, se verifica en la Gráfica 5-3.

- **Con Policloruro de Aluminio-Cal**

La tratabilidad con el Policloruro de Aluminio-Cal a una concentración del 3% para una solución de 3:1 se da de la siguiente forma:

- Se tomó 3 gramos de PAC y cal y cada una se aforó a 100 mL.
- A continuación se tomó 30 mL de PAC y 10 mL de la solución de cal, se mezcló y se aforo a 100 mL.
- Con la mezcla final o mezcla madre se hicieron las pruebas de tratabilidad

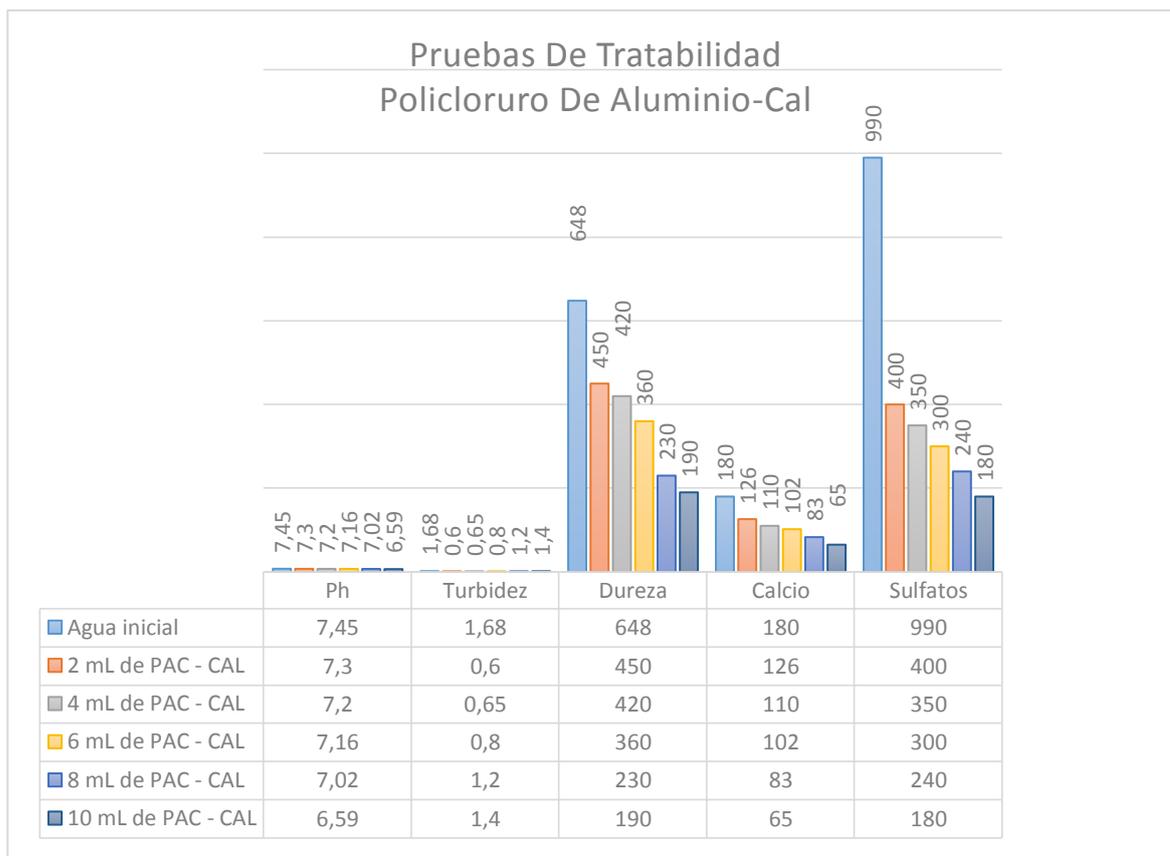
Tabla 11-3 Tratamiento con PAC y Cal en una solución 3:1 y elevador de pH Na (OH)

Parámetros	Inicial	2 ml de PAC y cal	4 ml de PAC y cal	6 ml de PAC y cal	8 ml de PAC y cal	10 ml de PAC y cal
pH	7,45	7,3	7,2	7,16	7,02	6,59
Dureza	684	450	420	360	230	190
Calcio	180	126	110	102	83	65
Sulfatos	990	400	350	300	240	180
Turbidez	1,68	0,6	0,65	0,8	1,2	1,4

	Parámetros dentro de los LMP
--	------------------------------

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Las pruebas con el Policloruro de Aluminio-Cal arrojaron mejores resultados y la remoción de todos los contaminantes, la Turbidez no tiende a elevarse por lo que es considerado la mejor opción para la potabilización del agua para el cantón Mocha.



Gráfica 6-3 Pruebas de jarra con PAC-CAL

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Los resultados con el policloruro de aluminio y cal son mucho más eficiente con respecto al sulfato de aluminio (Alum) y cal debido que el Aluminio tiende a incrementar la turbiedad, mientras que el carbonato de sodio no cumple con la remoción de todos los parámetros que se encuentran fuera de normas.

De acuerdo a la tratabilidad y a la exigencia de las normas INEN 1108:2006, OMS, y TULSMA la mejor opción para tratar el agua es el Policloruro de aluminio (PAC) y cal en relación de 3:1, con una dosificación óptima de 10 ml en una muestra de 1L, tal como se describe en la Tabla 7-3; 8-3 y la Gráfica 6-3.

De acuerdo a los tratamientos realizados el mejor resultado es el siguiente:

Tabla 12-3 Mejor resultado propuesto

Parámetros	Inicial	10 ml de PAC y cal	Límites máximos permisibles		
			OMS	TULSMA	INEN 1108:2006
pH	7,45	6,59	6,8-8,5	6-9	6,5-8,5
Dureza	684	190	<500	500	300
Calcio	180	65	100	70	70
Sulfatos	990	180	2	<5	200
Turbidez	1,68	1,4	250	400	5

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2.5 Caracterización final del agua con el tratamiento propuesto

Los resultados obtenidos están basados no solo en el cumplimiento de las Normas INEM 1108-2006, OMS y TULSMA tomando en cuenta los costos operación para este tratamiento (Ver Anexo F).

Tabla 13-3 Análisis físico - químico del agua con el tratamiento propuesto

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS TRATAMIENTO PROPUESTO	LÍMITES MÁXIMO PERMISIBLE		
			INEN 1108:2006	TULSMA	OMS
Color	und Co/Pt	10	<15	15	15
pH	Unid	6,59	6,5 - 8,5	6 - 9	6,5-8,5
Conductividad	µSiems/cm	840	< 1250	< 1250	1000
Turbiedad	UNT	1,4	5	< 5	2
Cloruros	mg/L	37	250	250	250
Dureza	mg/L	190	300	500	<500
Calcio	mg/L	65	70	70	100
Magnesio	mg/L	38	30 – 50	-----	-----
Alcalinidad	mg/L	110	250- 300	250- 300	<200
Sulfatos	mg/L	180	200	400	250
Nitritos	mg/L	0,085	0,01	1,0	<0,1
Nitratos	mg/L	0,6	<40	10	<5
Fluoruros	mg/L	0,76	<1,5	1,5	1,5
Fosfatos	mg/L	0,16	< 0,30	< 0,30	< 0,30
Manganeso	mg/L	0,069	-----	-----	-----
Sólidos Disueltos	mg/L	340	500	1000	500

	Parámetros dentro de la norma
	LMP OMS
	LMP TULSMA
	LMP INEN 1108:2006

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias

Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 7-3 Tratamiento propuesto, análisis Físico-Químico
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

La Gráfica 7-3 describe el resultado de la tratabilidad del agua cruda y los parámetros que se encuentran dentro de la norma INEN 1108:2006, OMS, y TULSMA, de esta manera se verifica el cumplimiento de dichas normas.

3.2.6 Optimización

La optimización de una planta de tratamiento de agua potable tiene como finalidad mejorar el sistema actual, las diferentes variables existentes para mejorar la calidad y distribuir agua que cumpla con la norma correspondiente.

Requiere un conocimiento profundo de los diversos procesos desde la entrada hasta la salida del sistema, un monitoreo detenido de los procesos y así detectar las condiciones instantáneas. Para de esta manera estar proporcionado de los datos necesarios para modelar y optimizar las fases individuales del proceso.

Es necesario lograr una integración de los procesos de tratamiento de agua con la rentabilidad económica y lograr satisfacer los requerimientos de calidad del agua potable.

Las especificaciones de implementación deben garantizar una construcción económica pero durable, tomando en cuenta que los sistemas de tratamiento son usados por muchos años.

El sistema actual de potabilización para el abastecimiento del cantón Moche, se efectúa con un proceso de tratamiento físico de sedimentación y filtración, y un tratamiento de desinfección,

según los resultados de los análisis, éste sistema requiere de un proceso químico con un coagulante y cal a más del procesos ya mencionados, en consecuencia también es preciso la implementación de nuevos sistemas como el Canal Parshall para la dosificación de las sustancias y químicas y un Floculador para la formación de los flóculos y el mezclado. Para efectuar la optimización e implementación de nuevos sistemas se procede a realizar cálculos de ingeniería.

3.2.6.1 Cálculo de la población futura, (N_t , hab)

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

Ecuación 1

Donde:

N_o = Población Actual: 5000 habitantes dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Mocha

r = Tasa de crecimiento anual: 1,34 % según el INEC

t = Tiempo de diseño: 15 años

$$N_t = 5000 \left(1 + \frac{1,34}{100} \right)^{15}$$

$$N_t = 6104,96 \text{ habitantes}$$

3.2.6.2 Cálculo de la dotación básica, (DB , $\frac{L}{hab.dia}$)

$$DB = \frac{Vac}{Tus}$$

Ecuación 2

Donde:

Vac = Volumen de agua consumida: $28357,95 \frac{m^3}{mes.}$ Dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Mocha

Tus = Total de usuarios servidos: 4000 dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Mocha

*Apreciación de cada usuario representa a 5 habitantes.

$$DB = \frac{28357,95}{4000}$$

$$DB = 7,10 \frac{m^3}{mes.usuar.} * \frac{1000 L}{1m^3} * \frac{1mes}{30 dias} * \frac{1 usr.}{5 hab.}$$

$$DB = 47,33 \frac{L}{hab.dia}$$

3.2.6.3 Dotación futura, $(DF, \frac{L}{hab.dia})$

$$DF = FM * DB$$

Ecuación 3

Donde:

FM = Factor de Mayorización (a dimensional)

DB = Dotación Básica: $47,33 \frac{L}{hab.dia}$

– Cálculo del factor de Mayorización, (FM)

Se utiliza esta ecuación de Harmon para calcular el factor de Mayorización puesto que el número de habitantes supera los 1000 habitantes.

$$FM = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{pf}{100}}}$$

Ecuación 4

Donde:

Pf = población futura 6104,96

$$FM = 1 + \frac{14}{4 + \sqrt{\frac{6104,96}{100}}}$$

$$FM = 2,18$$

– Dotación futura

$$DF = FM * DB$$

$$DF = 2,18 * 47,33$$

$$DF = 103,18 \frac{lt}{hab.dia}$$

3.2.6.4 Cálculo del consumo medio diario, $(cmd, \frac{L}{s})$

$$cmd = \frac{q * Nt}{86400}$$

Ecuación 5

Donde:

N_t = Población futura: 6104,96 hab.

q = Dotación Per cápita Máxima: 103,18 $\frac{L}{\text{hab.día}}$

86400: s/d

$$cmd = \frac{103,18 * 6104,96}{86400}$$

$$cmd = 7,29 \frac{L}{s}$$

3.2.6.5 *Cálculo del Consumo Máximo Diario, (CMD, $\frac{L}{s}$)*

$$CMD = k * cmd$$

Ecuación 6

Donde:

K = Coeficiente de Variación diaria: 1,300 dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mocha.

cmd = Consumo Medio Diario: 7,29 $\frac{L}{s}$

$$CMD = 1,300 * 7,29$$

$$CMD = 9,48 \frac{L}{s}$$

3.2.6.6 *Cálculo del Consumo Máximo Horario, (CMH $\frac{L}{s}$)*

$$CMH = k_2 * CMD$$

Ecuación 7

Donde:

K_2 = Coeficiente de Variación Horaria, A dimensional: 1,600 dado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mocha.

CMD = Consumo Máximo Diario: 9,48 $\frac{L}{s}$

$$CMH = 1,600 * 9,48$$

$$CMH = 15,17 \frac{L}{s}$$

3.2.6.7 *Cálculo del caudal de optimización*

– Cálculo del caudal de captación, ($Q_{Captacion}, \frac{L}{S}$)

$$Q_{Captacion} = k3 * CMD$$

Ecuación 8

Donde:

$K3 = 1,500$ proporcionado por el Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Mocha.

$CMD =$ Consumo Máximo Diario: $9,48 \frac{L}{S}$

$$Q_{Captacion} = 1,500 * 9,48$$

$$Q_{Captacion} = Q_{Cond.} = 14,69 \frac{L}{S}$$

El valor del caudal de captación obtenido mediante cálculo es de $14,69 \text{ L/s}$ que es aproximado al caudal con el que actualmente funciona la planta que es de 15 L/s , por lo que se considera que no es necesario diseñar un nuevo tanque de captación del agua.

3.2.6.8 Parámetros de optimización para el canal de Parshall

El canal de Parshall es un elemento primario de flujo cumple un doble propósito en las plantas de tratamiento de agua, de servir de medidor de caudales y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, servir de punto de aplicación de coagulantes. Es uno de los aforadores críticos más conocidos, introducida en 1920 por R.L. Parshall. Puede resistir soluciones de sales inorgánicas, ácidos y bases que no presenten fuertes propiedades de oxidación, y una alta concentración de disolventes orgánicos (Ph. Salazar Lorena, Diseño de Planta Potabilizadora de agua, Bogota-Colombia 2012 http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Diseño_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html).

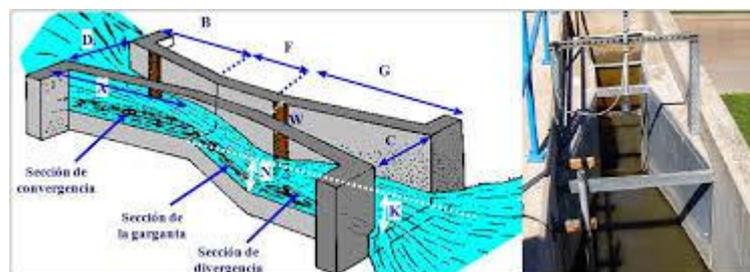


Ilustración 4-3 Canal de Parshall

Fuente: <http://abapeisa.com/nuevos-servicios-acreditados-para-el-control-de-vertidos-por-enac/>

Tabla 14-3 Determinación del ancho W del canal Parshall en función del caudal

Ancho W	Límites de caudal (L/s)	
	Q Mínimo	Q Máximo
1''	0,28	5,67
2''	0,57	14,15
3''	0,85	28,31
6''	1,42	110,44
9''	2,58	252,00
12''	3,11	455,90
18''	4,24	696,50
24''	11,90	937,30
36''	17,27	1427,20
48''	36,81	1922,70
60''	45,31	2424,00
72''	73,62	2931,00

Fuente: (Salazar Lorena, 2012)

Los valores de la K (factor que depende del ancho de la garganta) y m (exponente que varía de 1,52 a 1,56), se detalla en la siguiente ilustración:

ANCHO DE LA GARGANTA DEL PARSHALL (w)		K	m
(pg.)	(m)		
3"	0.075	3.704	0.646
6"	0.150	1.842	0.636
9"	0.229	1.486	0.633
1'	0.305	1.276	0.657
1 1/2'	0.460	0.966	0.650
2'	0.610	0.795	0.645
3'	0.915	0.608	0.639
4'	1.220	0.505	0.634
5'	1.525	0.436	0.630
6'	1.830	0.389	0.627
8'	2.440	0.324	0.623

Ilustración 5-3 Los factores K, m para el dimensionamiento del canal de Parshall

Fuente: (<http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/027757/027757-03b.pdf>)

La Tabla 15-3 nos presenta las dimensiones estandarizados para diferentes anchos de la garganta.

Tabla 15-3 Dimensiones estandarizados del canal de Parshall

W	(cm)	A	B	C	D	E	F	G	K	N
1''	2,5	36,6	35,6	9,3	16,8	22,9	7,6	20,3	1,9	2,9
3''	7,6	46,6	45,7	17,8	25,9	38,1	15,2	30,5	2,5	5,7
6''	15,2	62,1	61,0	39,4	40,3	45,7	30,5	61,0	7,6	11,4
9''	22,9	88,0	86,4	38,0	57,5	61,0	61,0	45,7	7,6	22,9
1'	30,5	137,2	134,4	61,0	84,5	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
1 1/2'	45,7	144,9	142,0	76,2	102,6	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9

2'	61,0	152,5	149,6	91,5	120,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
3'	91,5	167,7	164,5	122,0	157,2	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
4'	122,0	183,0	179,5	152,2	193,8	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
5'	152,5	198,3	194,1	183,0	230,3	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
6'	183,0	213,5	209,0	213,5	266,7	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
7'	213,5	228,8	224,0	244,0	303,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
8'	244,0	244,0	239,2	274,5	340,0	91,5	61,0	91,5	7,6	22,9
10'	305,0	274,5	427,0	366,0	475,9	122,0	91,5	183,0	15,3	34,3

Fuente: (Salazar Lorena, 2012)

- Cálculo de la altura de agua en la sección de medición, (H_o, m)

La constante $K=3,704$ y $m=0,646$ en relación con el ancho de la garganta $W=0,075$ m para un caudal de diseño es $0,005336$ m³/s.

$$H_o = K * Q_{max.d}^m$$

Ecuación 9

Donde:

K = Coeficiente que depende del ancho de la garganta (adimensional)

m = Constante (adimensional)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m³/s)

$$H_o = 3,704 * (0,015)^{0,646}$$

$$H_o = 0,25 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho de la sección de medición, (D', m)

El ancho de la garganta del canal del Parshall (W) es de $0,075$ m o 3 pulgadas

$$D' = \frac{2}{3} * (D - W) + W$$

Ecuación 10

Tabla 16-3 Dimensiones estandarizadas del canal de Parshall de acuerdo al ancho de la garganta

Condiciones	Valor	Simbología	Unidad
Ancho en la entrada de la sección convergente	0,259	D	m
Profundidad de la cubeta	0,057	N	m
Longitud de las paredes de la sección divergente	0,025	K^1	m
Ancho de la salida	0,178	C	m
Longitud de la sección divergente	0,305	G	m

Densidad de fluido	997,45	df	kg/m^3
Viscosidad dinámica del fluido	$0,9463 \times 10^{-3}$	μ	$kg/m.s$

Fuente: (Salazar Lorena, 2012)

Donde:

D = Ancho en la entrada de la sección convergente (m); 0,259 m

W = Ancho de la garganta del canal (m)

$$D' = \frac{2}{3} * (0,259 \text{ m} - 0,075 \text{ m}) + 0,075 \text{ m}$$

$$D' = 0,20 \text{ m}$$

– Cálculo de la velocidad en la sección de medición, ($v_0, m/s$)

$$v_0 = \frac{Q_d}{D' * H_0}$$

Ecuación 11

Donde:

D' = Ancho de la sección de medición (m)

H_0 = Altura del agua (m); 0,25 m

Q_d = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$v_0 = \frac{0,015 \text{ m}^3/s}{0,20 \text{ m} * 0,25 \text{ m}}$$

$$v_0 = 0,3 \text{ m/s}$$

– Cálculo del caudal específico en la garganta de la canal, ($q, m^3/m.s$)

$$q = \frac{Q_d}{W}$$

Ecuación 13

Donde:

Q_d = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

W = Ancho de la garganta del canal (m); 0,075 m

$$q = \frac{0,015 \text{ m}^3/s}{0,075 \text{ m}}$$

$$q = 0,2 \text{ m}^3/m.s$$

- Cálculo de la carga hidráulica disponible, (E_0, m)

La profundidad de la cubeta $N=0,057 m$ con respecto $W=0,075 m$

$$E_0 = \frac{v_0^2}{2g} + H_0 + N$$

Ecuación 14

Donde:

v_0 = Velocidad en la sección de medición (m/s); 0,3 m/s

H_0 = Altura del agua en la sección de la medición (m); 0,25 m

N = Profundidad de la cubeta (m)

g = Gravedad ($9,8 m/s^2$)

$$E_0 = \frac{(0,3 m/s)^2}{2(9,8 m/s^2)} + 0,25 m + 0,057 m$$

$$E_0 = 0,31 m$$

- Cálculo del ángulo del canal, (θ)

$$\cos\theta = -\frac{q * g}{\left(\frac{2}{3} * g * E_0\right)^{1,5}}$$

Ecuación 15

Donde:

q = Caudal específico ($m^3/m.s$); 0,2 $m^3/m.s$

E_0 = Carga hidráulica disponible (m); 0,31 m

g = Gravedad ($9,8 m/s^2$)

$$\cos\theta = -\frac{0,2 m^3/m.s * 9,8 m/s^2}{\left(\frac{2}{3} * 9,8 m/s^2 * 0,31 m\right)^{1,5}}$$

$$\cos\theta = -0,68$$

$$\theta = \cos^{-1} - 0,68$$

$$\theta = 132^\circ 50'$$

- Cálculo de la velocidad antes del resalto, ($V_1, m/s$)

$$V_1 = 2 * \sqrt{\frac{2gE_0}{3} * \frac{\cos\theta}{3}}$$

Ecuación 16

Donde:

E_0 = Carga hidráulica disponible (m); 0,31 m

$\theta =$ Ángulo del canal

$$v_1 = 2 * \sqrt{\frac{2(9,8 \text{ m/s}^2) 0,31 \text{ m}}{3}} * \frac{\cos 132^\circ 50'}{3}$$
$$v_1 = 2,04 \text{ m/s}$$

– Cálculo de la altura del agua antes del resalto, (h_1, m)

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

Ecuación 17

Donde:

$v_1 =$ Velocidad antes del resalto (m/s); 2,04 m/s

$q =$ Caudal específico ($m^3/m.s$); 0,2 $m^3/m.s$

$$h_1 = \frac{0,2 \text{ m}^3/m.s}{2,04 \text{ m/s}}$$

$$h_1 = 0,098 \text{ m}$$

– Cálculo del Número de Froude, ($F_1, adimensional$)

El Parshall funciona con un número de Froude de 2-3 siendo este un valor adimensional para la aplicación del coagulante.

$$F_1 = \frac{v_1}{\sqrt{h_1 g}}$$

Ecuación 18

Donde:

$h_1 =$ Altura del agua del resalto (m); 0,098 m

$v_1 =$ Velocidad antes del resalto (m/s); 2,04 m/s

$g =$ Gravedad ($9,8 \text{ m/s}^2$)

$$F_1 = \frac{2,04 \text{ m/s}}{\sqrt{0,098 \text{ m} * 9,8 \text{ m/s}^2}}$$

$$F_1 = 2,08$$

- Cálculo de la altura del resalto, (h_2, m)

$$h_2 = \frac{h_1}{2} \left[\sqrt{1 + 8F_1^2} - 1 \right]$$

Ecuación 19

Donde:

h_1 = Altura del agua del resalto (m); 0,098 m

F_1 = Número de Froude (unidades); 2,08

$$h_2 = \frac{0,098 \text{ m}}{2} \left[\sqrt{1 + 8(2,08)^2} - 1 \right]$$

$$h_2 = 0,24 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad en el resalto, ($v_2, m/s$)

$$v_2 = \frac{Q_d}{Wh_2}$$

Ecuación 20

Donde:

W = Ancho de la garganta del canal (m), 0,075 m

h_2 = Altura de resalto (m); 0,24 m

Q_d = Caudal máximo de diseño (m^3/s);

$$v_2 = \frac{0,015 \text{ m}^3/s}{0,075 \text{ m} * 0,24 \text{ m}}$$

$$v_2 = 0,83 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la altura de la sección de salida del canal, (h_3, m)

$$h_3 = h_2 - (N - K^1)$$

Ecuación 21

Donde:

N = Profundidad de la cubeta (m); 0,0075 m

K^1 = Longitud de las paredes de la sección divergente (m); 0,025 m

h_2 = Altura de resalto (m); 0,24 m

$$h_3 = 0,25 \text{ m} - (0,057 \text{ m} - 0,025 \text{ m})$$

$$h_3 = 0,20 \text{ m}$$

- Cálculo de la velocidad en la sección de la salida, ($v_3, m/s$)

$$v_3 = \frac{Q_{max.d}}{C * h_3}$$

Ecuación 22

Donde:

Q_d = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

C = Ancho de la salida (m); 0,178 m

h_3 = Altura de la sección de salida del canal (m); 0,20 m

$$v_3 = \frac{0,015 \text{ m}^3/s}{0,178m * 0,20 \text{ m}}$$

$$v_3 = 0,42 \text{ m/s}$$

- Cálculo de la pérdida de carga en el resalto, (h_{pr}, m)

$$h_{pr} = H_0 + K^1 - h_3$$

Ecuación 23

Donde:

H_0 = Altura del agua (m)

K^1 = Longitud de las paredes de la sección divergente (m); 0,025 m

h_3 = Altura de la sección de salida del canal (m); 0,20 m

$$h_{pr} = 0,25 \text{ m} + 0,025 \text{ m} - 0,20 \text{ m}$$

$$h_{pr} = 0,075 \text{ m}$$

- Cálculo del tiempo de mezcla en el resalto, (T, s)

$$T = \frac{2G}{v_2 - v_3}$$

Ecuación 24

Donde:

G = Longitud de las paredes de la sección divergente (m); 0,305 m

T = Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$$T = \frac{2 * 0,305m}{0,83 \text{ m/s} - 0,42 \text{ m/s}}$$

$$T = 1,49 \text{ s}$$

- Cálculo de gradiente de velocidad, (G', s^{-1})

$$G' = \sqrt{\frac{\rho_f h_{pr}}{\mu T}}$$

Ecuación 25

Donde:

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 20 °C (kg/m^3); 998,2 kg/m³

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 20 °C ($kg/m.s$); $1,009 \times 10^{-3}$ kg/m.s

h_{pr} = Pérdida de carga (m); 0,075 m

T = Tiempo de mezcla en el resalto (s)

$$G = \sqrt{\frac{998,2 \text{ Kg}/m^3 \cdot 0,075 \text{ m}}{1,009 \times 10^{-3} \text{ Kg}/m.s \cdot 1,49 \text{ s}}}$$

$$G = 223,15 \text{ s}^{-1}$$

3.2.6.9 Parámetros de optimización de un floculador hidráulico de flujo horizontal

El agua se desplaza en sentido horizontal entre dos tabiques consecutivos haciendo el giro al final de cada uno, el uso y construcción de este floculador es recomendable para plantas pequeñas con caudales menor a 100 L/s.

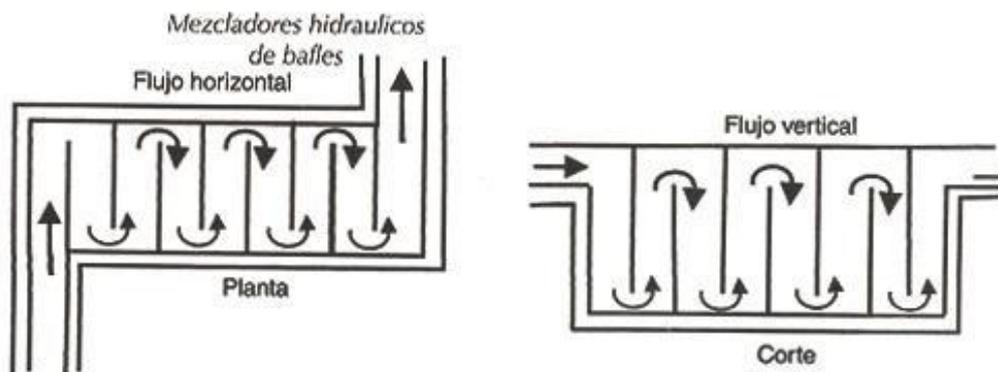


Ilustración 6-3 Floculadores Hidráulicos

Fuente: http://repositorio.sena.edu.co/sitios/calidad_del_agua/imagenes/cartilla/imagen54.jpg

- Cálculo del área del canal del floculador (A_F, m^2)

El caudal de diseño es 0,015 m³/s y una velocidad de flujo de 10 m/s.

$$A_F = \frac{Q_{max.d}}{v}$$

Donde:

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

$Q_{max.d}$ = Caudal máximo de diseño (m^3/s)

$$A_F = \frac{0,015 m^3/s}{0,10 m/s}$$

$$A_F = 0,15 m^2$$

– Cálculo del ancho del canal de floculación (a, m)

La altura de agua de la unidad o profundidad se toma un valor de 1,00 m de acuerdo al tipo de material de la pantalla para el Floculador.

Tabla 17-3 Criterios de diseño para un floculador hidráulico de flujo horizontal

Tipo De Pantalla	Profundidad	Unidad
Asbesto-cemento (A.C)	1,0	m
Madera	1,5-2,0	m

Fuente:(L. Canepa de Vargas)

$$a = \frac{A_F}{H_u}$$

Ecuación 27

Donde:

H_u = Altura del agua en la unidad (m),

A_F = Área del canal del floculador (m^2)

$$a = \frac{0,15}{1}$$

$$a = 0,15 m$$

– Cálculo del ancho de las vueltas de floculación (d, m)

El paso de un canal a otro deberá ser de 1,5 veces el espacio entre pantallas.

$$d = 1,5 a$$

Ecuación 28

Donde:

a = Ancho del canal del floculador (m)

$$d = 1,5 (0,15)m$$

$$d = 0,23 \text{ m}$$

- Cálculo del ancho del floculador, (B_f, m)

Tabla 18-3 Dimensiones específicas para cada tipo de pantalla

Tipo De Pantalla	Coefficiente De Fricción Manning	Ancho (m)	Largo (m)	Espesor (m)
Asbesto-cemento corrugado	0,030	0,825	2,44	0,006
Asbesto-cemento plana	0,013	1,22	2,44	0,01
Madera	0,012	-	-	-

Fuente:(L. Canepa de Vargas)

Al utilizar una pantalla de Asbesto y cemento corrugado disminuye la gradiente de velocidad entre el canal y las vueltas para lograr esta condición el ancho útil de la lámina A-C corrugado es 0,825m.

$$B_f = 3b_{ac} + d$$

Ecuación 29

Donde:

b_{ac} = Ancho útil de la lámina A-C (m)

d = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$B_f = 3 * 0,825 \text{ m} + 0,23 \text{ m}$$

$$B_f = 2,71 \text{ m}$$

- Cálculo de la longitud efectiva del canal, (LE, m)

$$LE = B_f - d$$

Ecuación 30

Donde:

B_f = Ancho del floculador (m)

d = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$LE = 2,71 \text{ m} - 0,23 \text{ m}$$

$$LE = 2,48 \text{ m}$$

- Cálculo de la distancia recorrida por el agua , (L_c, m)

El tiempo de detención para la distancia recorrida según la norma GOMELLA es de 10 a 30 minutos en tanto que, el valor para nuestro calculo será de 10 minutos como tiempo mínimo para que ocurra el proceso de floculación.

$$L_c = v Tr$$

Ecuación 31

Donde:

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

Tr = Tiempo de detención (min)

$$L_c = 0,10 \frac{m}{s} 10min * 60s$$

$$L_c = 60 m$$

- Cálculo del número de canales, ($Nc, unidades$)

$$Nc = \frac{L_c}{B_f}$$

Ecuación 32

Donde:

L_c = Distancia recorrida por el agua (m)

B_f = Ancho del floculador (m)

$$Nc = \frac{60m}{2,71 m}$$

$$Nc = 22,14 unidades = 22 unidades$$

- Cálculo de la longitud del floculador, (L, m)

$$L = Nc(a + es)$$

Ecuación 33

Donde:

es = Espesor de la lámina A-C (m)

Nc = Número de canales ($unidades$)

a = Ancho de las vueltas de la floculación (m)

$$L = 22 * (0,15m + 0,006 m)$$

$$L = 3,43 m$$

- Calculo del volumen del floculador, (V_F, m^3)

$$V_F = L * B_f * H_u$$

Ecuación 34

Donde:

B_f = Ancho del floculador (m)

L = Longitud del floculador (m)

H_u = Altura de la unidad (m)

$$V_F = 3,43 \text{ m} * 2,71 \text{ m} * 1 \text{ m}$$

$$V_F = 7,14 \text{ m}^3$$

– Cálculo de pérdida de carga de las vueltas, (h_{c1} , m)

El coeficiente de pérdida de carga en las vueltas varía de 2 a 4 siendo su valor usual 3.

$$h_{c1} = \frac{kv^2(Nc - 1)}{2g}$$

Ecuación 35

Donde:

k = Coeficiente de pérdida carga (*adimensional*)

Nc = Número de canales (*unidades*)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

$$h_{c1} = \frac{3 * (0,10 \text{ m/s})^2 (22 - 1)}{2 * 9,8 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{c1} = 0,032 \text{ m}$$

– Cálculo del perímetro mojado en la sección del tramo, (P , m)

$$P = 2 H_u + a$$

Ecuación 36

Donde:

a = Ancho del canal del floculador (m)

H_u = Altura del agua en la unidad (m)

$$P = 2(1)m + 0,032 \text{ m}$$

$$P = 2,03 \text{ m}$$

– Cálculo del radio hidráulico de los canales del tramo, (R_H , m)

$$R_H = \frac{A_F}{P}$$

Ecuación 37

Donde:

A_F = Área del canal del floculador (m^2)

P = Perímetro mojado en la sección en la sección del tramo (m)

$$R_H = \frac{0,15 \text{ m}^2}{2,03 \text{ m}}$$

$$R_H = 0,074 \text{ m}$$

– Cálculo de pérdida de carga en los canales del tramo, (h_{c2}, m)

El coeficiente de fricción de Manning $n=0,030$ para el tipo de pantalla de A-C corrugado se describe en la tabla 19-3

$$h_{c2} = \frac{(nv)^2}{R_H^{2/3}} * L_c$$

Ecuación 38

Donde:

L_c = Longitud del canal de floculación (m)

R_H = Radio hidráulico de los canales en la sección del tramo (m)

v = Velocidad del flujo de agua (m/s)

n = Coeficiente de fricción de manning (*adimensional*)

$$h_{c2} = \frac{(0,030 * 0,10 \text{ m/s})^2}{(0,073)^{4/3}} * 60 \text{ m}$$

$$h_{c2} = 0,018 \text{ m}$$

– Cálculo de pérdida de carga total del tramo, (h_{cT}, m)

$$h_{cT} = h_{c1} + h_{c2}$$

Ecuación 39

Donde:

h_{c1} = Pérdida de carga en los canales de la sección del tramo (m)

h_{c1} = Pérdida de carga continua en las vueltas (m)

$$h_{cT} = 0,032 \text{ m} + 0,018 \text{ m}$$

$$h_{cT} = 0,05 \text{ m}$$

– Cálculo de gradiente de velocidad, (G, s^{-1})

$$G = \sqrt{\frac{\rho f h_{cT}}{\mu Tr}}$$

Ecuación 40

Donde:

h_{cT} = Pérdida de carga total en el último tramo (m)

ρ_f = Densidad del fluido a la temperatura de 20°C, 998,2 kg/m³

μ = Viscosidad del fluido a la temperatura de 20°C, 1,009x10⁻³ kg/m.s

$$G = \sqrt{\frac{998,2 \text{ kg/m}^3}{1,009 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} * \frac{0,05 \text{ m}}{10 \text{ min} * 60 \text{ s}}}$$

$$G = 9,08 \text{ s}^{-1}$$

– Cálculo del Número de Camp, (G_T , adimensional)

$$G_T = G Tr$$

Ecuación 41

Donde:

G = Gradiente de velocidad (s^{-1})

Tr = Tiempo de detención (min)

$$G_T = 9,08 \text{ s}^{-1} * 10 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$G_T = 5448$$

3.2.6.10 Dosificación

En las pruebas de jarras el mejor tratamiento para la potabilización del agua para el cantón Mocha es mediante la utilización de PAC y cal como se explica en las pruebas de tratabilidad antes mencionadas, para lo cual se realizó una mezcla de 3:1 con una dosis optima de 10mL.

3.2.6.11 Cálculo de la concentración de Policloruro de Aluminio (PAC)

3.2.6.11.1 Concentración de PAC en la solución 3:1

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Ecuación 42

Donde:

$C1$: concentración de PAC al 3%, g/mL

$V1$: volumen de PAC al 3 %, mL

$C2$: concentración de PAC en la solución 3:1,

V2: volumen de la solución 3:1 aforada

$$C2 = \frac{C1 * V1}{V2}$$
$$C2 = \frac{0,03 * 30}{100}$$
$$C2 = 0,009 \frac{g}{mL}$$

3.2.6.11.2 Concentración de PAC en la dosificación optima

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

C1: concentración de PAC de la solución 3:1, g/mL

V1: volumen de la dosificación optima, mL

C2: concentración de PAC en la dosificación optima, g/mL

V2: volumen de agua cruda, L

$$C2 = \frac{C1 * V1}{V2}$$
$$C2 = \frac{0,009 * 10}{1}$$
$$C2 = 0,09 \frac{g}{L}$$

3.2.6.12 Cálculo del consumo de Poli Cloruro de Aluminio (PAC) al día

$$W1 = C * Q \text{ captación}$$

Ecuación 43

Donde:

W1: consumo de PAC, kg/día

C: concentración de PAC, g/L

Q captación: caudal de captación, L/s

$$W1 = 0,09 \frac{g}{L} * 15 \frac{L}{s}$$
$$W1 = \frac{1,35 g}{s} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{8 h \text{ de trabajo}}{1 dia} * \frac{1 kg}{1000 g}$$
$$W1 = 38,88 \frac{kg \text{ de PAC}}{dia}$$

3.2.6.13 Cálculo de la concentración de Cal.

3.2.6.13.1 Concentración de cal en la solución 3:1

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

C1: concentración de cal al 3%, g/mL

V1: volumen de cal al 3 %, mL

C2: concentración de cal en la solución 3:1,

V2: volumen de la solución 3:1 aforada

$$C2 = \frac{C1 * V1}{V2}$$
$$C2 = \frac{0,03 * 10}{100}$$
$$C2 = 0,003 \frac{g}{mL}$$

3.2.6.13.2 Concentración de cal en la dosificación optima

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

Donde:

C1: concentración de cal de la solución 3:1, g/mL

V1: volumen de la dosificación optima, mL

C2: concentración de cal en la dosificación optima, g/mL

V2: volumen de agua cruda, L

$$C2 = \frac{C1 * V1}{V2}$$
$$C2 = \frac{0,003 * 10}{1}$$
$$C2 = 0,03 \frac{g}{L}$$

3.2.6.14 Cálculo del consumo de cal al día

$$W1 = C * Q \text{ captación}$$

Donde:

W1: consumo de PAC, kg/día

C: concentración de cal, g/L

Q captación: caudal de captación, L/s

$$W1 = 0,03 \frac{g}{L} * 15 \frac{L}{s}$$

$$W1 = \frac{0,45 g}{s} * \frac{3600 s}{1 h} * \frac{8 h de trabajo}{1 dia} * \frac{1 kg}{1000 g}$$

$$W1 = 12,96 \frac{kg de cal}{dia}$$

3.2.7 Resultados

3.2.7.1 Variables a considerar en el diseño

Son variables que pueden afectar o intervenir en el proceso a realizar, entre las más importantes como el caudal de captación, población futura, dotación básica y futura, como se muestra a continuación:

Tabla 19-3 Resultados de las variables para el diseño

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Población Futura	N_f	6104	hab
Dotación básica	DB	47,33	$\frac{L}{hab. dia}$
Dotación futura	DF	103,18	$\frac{L}{hab. dia}$
Consumo medio diario	cmd	7,29	L/s
Consumo máximo diario	CMD	9,48	L/s
Consumo máximo horario	CMH	15,17	L/s
Caudal de captación	$Q_{captación}$	14,69	L/s

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2.7.2 Canal de Parshall

La canaleta Parshall cumple un doble propósito en las plantas de tratamiento de agua, de servir de medidor de caudales y en la turbulencia que se genera a la salida de la misma, servir de punto de aplicación de coagulantes.

Tabla 20-3 Resultados de dimensionamiento de un Canal Parshall

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Ancho de la sección de medición	D'	0,20	m
Altura del agua en la sección de medición	H_0	0,25	m
Velocidad en la sección de medición,	v_0	0,3	m/s
Ancho de la garganta del canal	W	0,075	m
Angulo de la canaleta	θ	132,50	$grados$
Número de Froude	F_1	2,08	$adimensional$
Ancho en la entrada de la sección convergente	D	0,250	m
Profundidad de la cubeta	N	0,057	m
Longitud de las paredes de la sección divergente	K^1	0,025	m
Longitud de la sección divergente	G	0,305	m
Ancho de la salida	C	0,178	m
Altura del agua antes del resalto	h_1	0,098	m
Velocidad antes del resalto	v_1	2,04	m/s
Altura del resalto	h_2	0,24	m
Velocidad en el resalto	v_2	0,83	m/s
Altura de la sección de salida de la canaleta	h_3	0,20	m
Velocidad en la sección de salida	v_3	0,42	m/s
Carga hidráulica disponible	E_0	0,31	m
Pérdida de carga en el resalto	h_{pr}	0,075	m
Gradiente de velocidad	G	223,15	s^{-1}

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2.7.3 Floculador

La floculación es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua.

Tabla 21-3 Resultados del dimensionamiento de un Floculador del flujo horizontal

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Área del canal del floculador	A_F	0,15	m^2
Ancho del canal del floculador	a	0,15	m
Ancho de las vueltas del tramo de floculación	d	0,23	m
Distancia recorrida por agua	L_c	60	m
Longitud efectiva del canal	LE	2,48	m
Ancho del floculador	B_f	2,71	m
Número de canales	N_c	22	<i>unidades</i>
Longitud del floculador	L	3,34	m
Volumen del floculador	V_F	7,14	m^3

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2.7.4 Dosificación

La dosificación que se va utilizar en el sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha es de 38,88Kg de PAC al día y 12,96Kg al día de Cal como se muestra a continuación:

Tabla 22-3 Resultados de la dosificación óptima

Parámetro	Símbolo	Valor	Unidad
Concentración de PAC en solución de 3:1			
Concentración de PAC al 3%	$C1$	0,03	g/mL
Volumen de PAC al 3 %	$V1$	30	mL
Volumen de la solución 3:1 aforada	$V2$	10	mL
Concentración de PAC en la solución 3:1	$C2$	0,009	g/mL
Concentración de PAC en la dosificación óptima			
Concentración de PAC de la solución 3:1	$C1$	0,009	g/mL
Volumen de la dosificación óptima	$V1$	10	mL
Volumen de agua cruda	$V2$	1	L
Concentración de PAC en la dosificación óptima	$C2$	0,09	g/mL
Consumo del PAC al día	$W1$	38,88	$\frac{kg \text{ de PAC}}{\text{dia}}$
Concentración de cal en la solución 3:1			
Concentración de cal al 3%	$C1$	0,03	g/mL

Volumen de cal al 3 %	V1	10	mL
Volumen de la solución 3:1 aforada	V2	100	mL
Concentración de cal en la solución 3:1	C2	0,003	g/mL
Concentración de Cal en la dosificación óptima			
Concentración de cal de la solución 3:1	C1	0,003	g/mL
Volumen de la dosificación optima	V1	10	mL
Volumen de agua cruda	V2	1	L
Concentración de cal en la dosificación optima	C2	0,03	g/mL
Consumo de Cal al día	W1	12,96	<u>kg de PAC</u> dia

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.2.8 Porcentaje de remoción

El porcentaje de remoción se obtiene por la diferencia de las cargas contaminantes de entrada (agua cruda) y cargas contaminantes de salida (agua cruda) dividido para cargas contaminantes de salida multiplicado por 100.

$$x = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

Ecuación 44

Dónde:

S_o = Cargas contaminantes de entrada

S = Cargas contaminantes de salida

3.2.8.1 Porcentaje de Remoción con el Tratamiento Actual

– Turbiedad

$$x = \frac{1,68 - 0,56}{1,68} * 100$$

$$x = 66,66 \%$$

– Dureza

$$x = \frac{684 - 480}{684} * 100$$

$$x = 29,82 \%$$

– Calcio

$$x = \frac{180 - 144}{180} * 100$$

$$x = 20 \%$$

– Sulfatos

$$x = \frac{990 - 590}{990} * 100$$

$$x = 40,40 \%$$

3.2.8.2 *Porcentaje de Remoción con el Tratamiento Propuesto*

– Turbiedad

$$x = \frac{1,68 - 1,4}{1,68} * 100$$

$$x = 16,67 \%$$

– Dureza

$$x = \frac{684 - 190}{684} * 100$$

$$x = 72,22 \%$$

– Calcio

$$x = \frac{180 - 65}{180} * 100$$

$$x = 63,89 \%$$

– Sulfatos

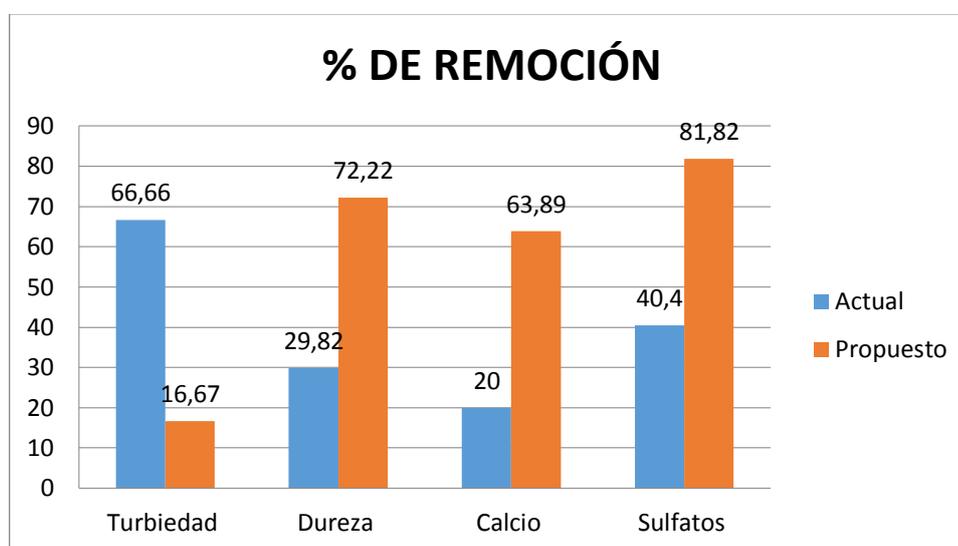
$$x = \frac{990 - 180}{990} * 100$$

$$x = 81,82 \%$$

Tabla 23-3 Porcentaje de remoción

Parámetros	Unidad	ACTUAL			PROPUESTO		
		Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% remoción	Antes del tratamiento	Después del tratamiento	% remoción
Turbiedad	UNT	1,68	0,56	66,66	1,68	1,4	16,67
Dureza	mg/L	684	480	29,82	684	190	72,22
Calcio	mg/L	180	144	20	180	65	63,89
Sulfatos	mg/L	990	540	40,40	990	180	81,82

Realizado por: Fabián Velasco, 2016



Gráfica 8-3 Resultado del porcentaje de Remoción

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

En el gráfico 8-3 se puede observar que los resultados del tratamiento propuesto donde se ve claramente que la turbidez, dureza, calcio, sulfatos están dentro de norma, optimizando el proceso y brindando solución al problema del tratamiento actual donde la turbidez, dureza, calcio, sulfatos se encontraban fuera de norma INEN 1108: 2006, TULSMA, OMS.

3.3 Proceso de producción

El proceso de producción para una Planta de Tratamiento de agua potable del Cantón Mocha consta de específicamente de un proceso físico que consta de un sistema de captación, sedimentación y filtración y por último un proceso químico que consta de un tanque de desinfección.

3.3.1 Proceso de producción actual

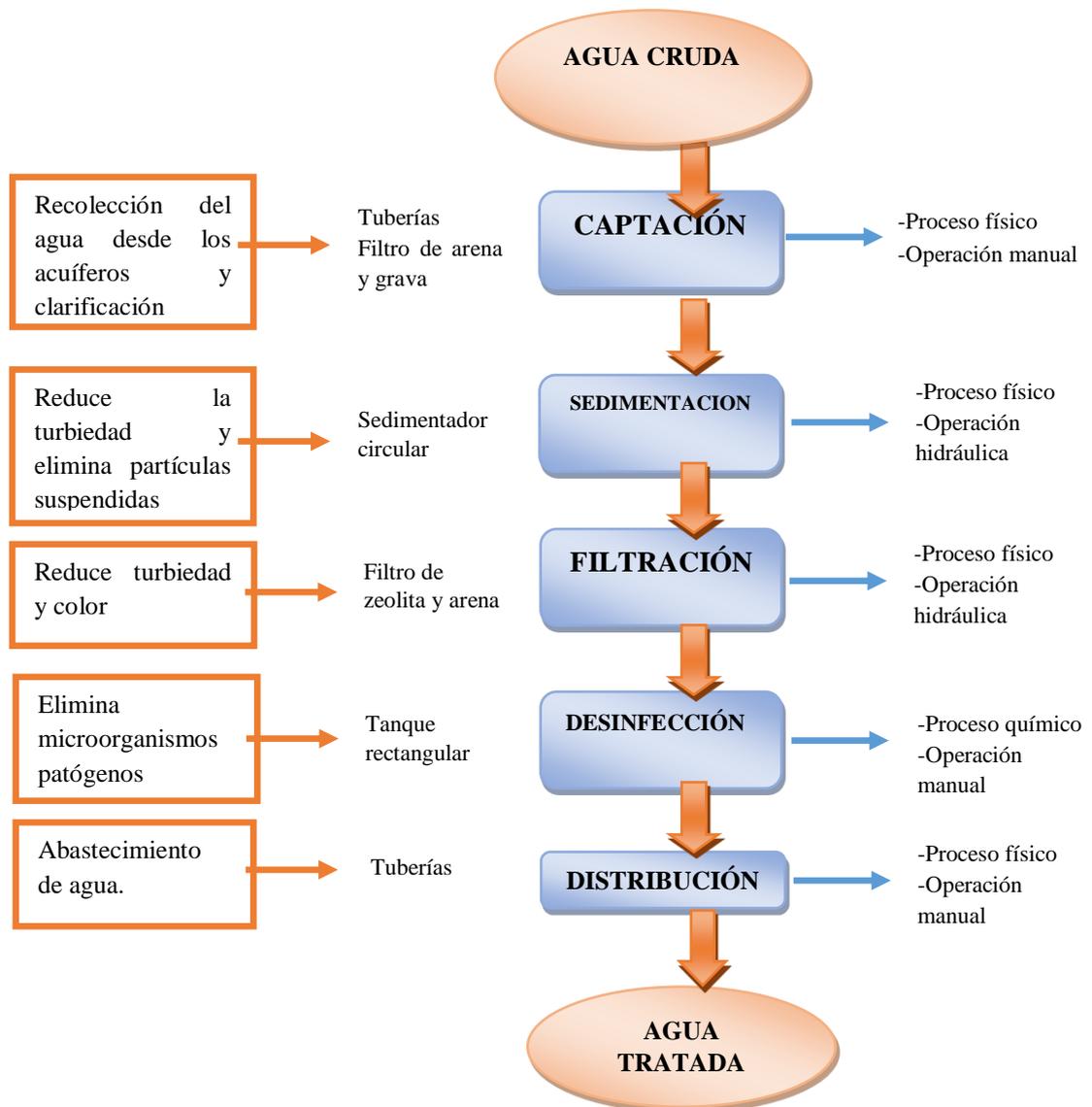


Ilustración 7-3 Proceso propuesto del sistema de tratamiento de agua potable del cantón Mocha
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.3.2 Proceso de producción propuesto

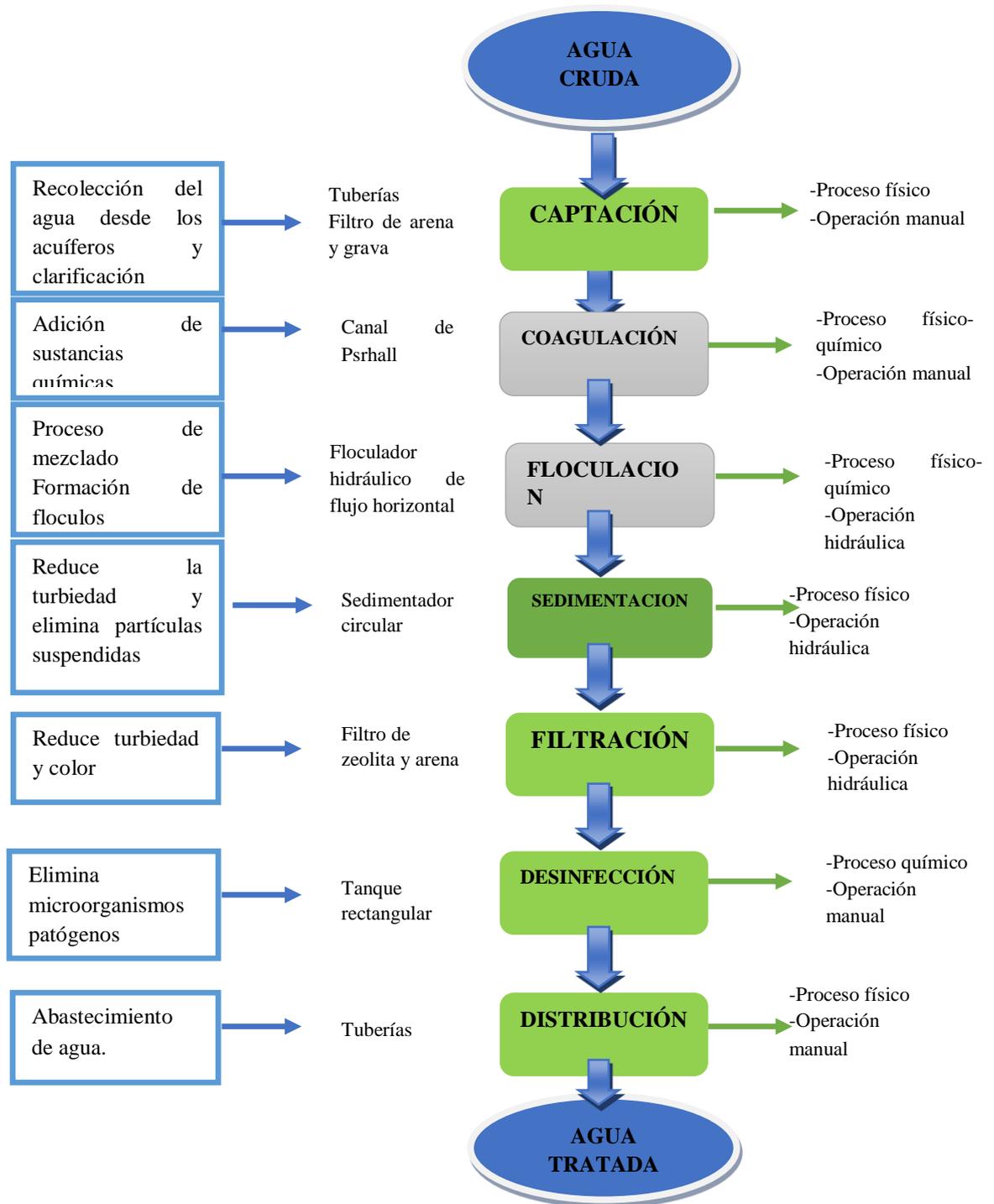


Ilustración 8-3 Proceso propuesto del sistema de tratamiento de agua potable del cantón Mocha
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.4 Requerimiento de tecnología

Para realizar los análisis físico-químicos y microbiológicos de las muestras de agua a la entrada y salida de la planta de tratamiento de agua potable, además de las pruebas de tratabilidad, se realizaron a través de los siguientes métodos:

Tabla 24-3 Descripción de los métodos de laboratorio

PARÁMETROS	MÉTODOS	DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA
pH	Potenciométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, y se registra el valor obtenido.
Fluoruros	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados obtenidos.
Sólidos totales disueltos	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, del conductímetro, y se registra su valor.
Alcalinidad	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 2 gotas de anaranjado de metilo, valorar con ácido sulfúrico 0.02 N
Magnesio	Cálculo	Diferencia entre la dureza total y el contenido de calcio en forma de carbonato de calcio.
Fosfatos, Sulfatos, cloruros, nitritos, nitratos.	Espectrofotométrico	Tomar 10 ml de muestra, colocar los reactivos indicados en el manual y registrar los resultados obtenidos.
Color	Comparativo/Espectrofotométrico	Realizar un blanco con agua destilada, tomarg 10 ml de la muestra en la celda HACH, colocar en el espectrofotómetro HACH y medir
Conductividad	Electrométrico	Se utiliza el electrodo de cristal, y se registra el valor obtenido.
Turbiedad	Nefelométricos	Utilizar el Turbidímetro para el análisis
Dureza	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de buffer de dureza + una porción de negro de eritocromo T en polvo, valoramos con EDTA (0.02M) de rojo a azul.
Calcio	Volumétrico	Tomar 25 ml de muestra + 1 ml de KCN + 1 ml de NaOH (1N) + pizca de indicador Murexida. Titular con EDTA (0.02 M). De rosado a lila
Coliformes Totales	Filtro de Membrana	Standard Methods N. 9922B

Coliformes Fecales	Filtro de Membrana	Standard Methods N. 9922 D
Test de Jarra	Método físico-químico	SIMULADOR, para determinar en Laboratorio las dosis de insumos químicos que deben aplicarse en una Planta a fin de lograr cambios favorables en la Calidad del Agua.

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Tabla 25-3 Equipos utilizados en el proyecto

Equipos	Materiales	Reactivos
<ul style="list-style-type: none"> • Balanza analítica • Espectrofotómetro HACH • pH – metro • Turbidímetro 	<ul style="list-style-type: none"> • Elenmeyer • Peras • Pinzas • Pipetas • Probetas • Vasos de precipitación • Balones aforados 	<ul style="list-style-type: none"> • Agua destilada • PAC • Cal • Na(OH) • Cianuro de potasio

Fuente: Laboratorio de Análisis Técnico de la Facultad de Ciencias
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.5 Análisis de costos/beneficios del proyecto.

3.5.1 Costo de operación con las pruebas de tratabilidad

Se realiza el costo de operación mediante las pruebas de tratabilidad, la planta actualmente posee solo procesos físicos proporcionando una agua con parámetros fuera de las normas para lo cual se ha empleado sustancias químicas para regular dichos parámetros.

Se ha realizado tres pruebas de tratabilidad utilizando carbonato de sodio, sulfato de aluminio-cal y carbonato de sodio-PAC. En base al costo de estas sustancias químicas y a la eficiencia se determinara por el más apto para la planta de agua potable del cantón Mocha.

Tabla 26-3 Determinación de los costos de operación

Sustancia química	Cumple los LMP	Unidad (kg)	Costo (\$)
PAC	X	1	1,25
Cal	X	1	0,41

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

En relación a estos tres tratamientos se opta por el PAC – Cal debido a que se obtiene un agua apta para el consumo humano cumpliendo con los parámetros establecidos dentro de la norma y a su vez que se encuentran fácilmente en el mercado a un bajo costo.

Tabla 27-3 Consumo de sustancias químicas para el tratamiento propuesto

Detalle	Símbolo	Consumo (Kg/día)
PAC	W1	38,88
Cal	W2	12,96

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Tabla 28-3 Determinación del costo de operación propuesto

Detalle	Consumo (Kg/día)	Presentación (kg)	Costo unitario (\$)	Costo por día (\$)
PAC	38,88	1	1,25	48,6
Cal	12,96	1	0,41	5,31
			TOTAL	53,91

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

Tabla 29-3 Determinación del costo de operación del proyecto propuesto

Detalle	Costo por día (\$)	Costo mensual (\$)	Costo anual (\$)
Propuesto	53,91	1617,3	19677,15

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.5.2 Costos de operación para análisis de laboratorio

Los análisis físicos, químicos y microbiológicos se deben realizar con frecuencia para mantener los parámetros dentro de las normas establecidas, y brindar agua de calidad a los habitantes de Mocha, en tanto tenemos los costos de los análisis de laboratorio.

Tabla 30-3 Costos de los análisis de Laboratorio

Parámetro analizados	Costos (\$)	Parámetros analizados	Costos (\$)
pH	3,00	Dureza	6,00
Color	4,00	Calcio	6,00
Temperatura	3,00	Magnesio	6,00
Cloruros	6,00	Nitritos	6,00
Turbiedad	5,00	Alcalinidad	6,00
Conductividad	4,00	Sulfatos	6,00
Color	4,00	Fosfatos	6,00
Manganeso	6,00	Fluoruros	6,00
Sólidos disueltos	4,00	Coliformes totales y fecales	14,00
Subtotal	39,00		62,00
	TOTAL	101,00	

Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.5.3 Costos de operación para el sistema de mezclado

El presupuesto para la implementación del sistema de mezclado en la planta de tratamiento de agua potable del cantón Mocha, está analizado para cada equipo incluyendo replanteo, nivelación, remoción de escombros, entre otros parámetros de construcción.

Tabla 31-3 Presupuesto para el sistema de mezclado

PRESUPUESTO					
RUBRO	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD TOTAL	COSTO	VALOR TOTAL
	CANAL DE PARSHAL				
1	Excavación en suelo sin clasificar	m3	0,28	2,45	0,69
2	Replanteo de H.S. f'c=180kg/cm2	m3	0,02	130,00	2,60
3	Hormigón Simple f'c= 210 Kg/cm2. incl. Encof y desencof.	m3	0,11	210,00	23,10
4	Acero de refuerzo Fy= 4200 Kg/cm2.	Kg	0,65	2,00	1,30
5	Punto de medición	U	1,00	5,00	5,00
6	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	1,25	2,08	2,60
	FLOCULADOR				
7	Excavación en suelo sin clasificar	m3	6,30	2,45	15,44
8	Replanteo de H.S. f'c=180kg/cm2	m3	0,35	130,00	45,50
9	Hormigón Simple f'c= 210 Kg/cm2. incl. Encof y desencof.	m3	3,50	210,00	735,00
10	Acero de refuerzo Fy= 4200 Kg/cm2.	Kg	363,00	2,00	726,00
11	Asbesto de cemento corrugado	u	22,00	45,00	990,00

12	Pintura de cemento blanco, para exteriores	m2	10,00	2,08	20,80
				TOTAL	2.568,02
SON: DOS MIL QUINIENTOS SESENTA Y OCHO CON 02/100 USD.					

Fuente: Arq. Quisingo Juan Carlos
Realizado por: Fabián Velasco, 2016

3.5.4 *Análisis de resultados*

En el diagnóstico de la planta de tratamiento de potabilización se observa que consta de las siguientes etapas: captación, sedimentador, filtrador y por último la etapa de cloración a través de cloro gas.

Con la caracterización físico-química y microbiológica realizada en el agua de entrada (agua cruda) se determinó que existen parámetros fuera de la norma INEN 1108:2006, OMS y TULSMA, siendo estos la conductividad(1330uSiems/cm), dureza(664mg/L), calcio(178mg/L), sulfatos(910mg/L), fluoruros(1.85mg/L). En el agua tratada (agua potable) se determinó los parámetros de: dureza 520mg/L), calcio(144mg/L) y sulfatos(540mg/L), que también se encuentran fuera de norma. La diferencia del agua cruda con los parámetros del agua potable es que desde su captación hasta la distribución atraviesa por un sedimentador, filtrador y luego la desinfección por esto solo se presenta 3 parámetros fuera de límite.

Con las pruebas de tratabilidad se utilizó sulfato de aluminio y cal a diferentes concentraciones, se puede observar que la turbiedad del agua de salida es mucho mayor que la de entrada, porque el sulfato de aluminio no actúa a turbiedades muy bajas la turbiedad a la entrada es de 0,54 UNT, y la de salida 10,5 UNT, excediendo el límite de la norma INEN 1108:2006, OMS y TULSMA por lo que ya no cumple los parámetros especificados. Al utilizar carbonato de calcio y un elevador de pH a diferentes concentraciones se observó que la turbiedad supera los límites de la norma INEN 1108:2006, OMS y TULSMA por lo cual no se utilizó este tratamiento, además que sus costos son altos. En cambio con policloruro de aluminio y cal a diferentes concentraciones se obtuvo que con un volumen de 10 ml de PAC-CAL de una solución 3 a 1, el agua tiene una turbiedad de 1,43 UNT que indican que están dentro de norma los parámetros, por lo que esta dosificación es la más adecuada para la planta de tratamientos de agua potable del Cantón Mocha y su costo es accesible.

El coagulante utilizado para el tratamiento de la planta de agua potable es el Policloruro de Aluminio mejor conocido como PAC a diferentes concentraciones, los resultados de este tratamiento se puede apreciar en la Tabla 8-3, de esta manera la concentración óptima para mejorar la calidad del agua es 38,88 Kg/día y Cal 12,96 Kg/día, (Ver Tabla 28-3).

Con los resultados obtenidos se determina el porcentaje de remoción de los parámetros fuera de norma identificados mediante la caracterización en el tratamiento propuesto, estos valores son: para la turbiedad 16,67%, dureza 72,22%, calcio 63,89%, sulfatos 81,82%, mientras que los

porcentajes de remoción del tratamiento actual son más bajos. Estos datos reflejan la mejoría en la calidad de agua con la nueva dosificación del PAC (Ver la Tabla 23-3).

Mediante las pruebas de tratabilidad se estableció como alternativa más adecuado para mejorar la calidad de agua del sistema de tratamiento del cantón Mocha en dimensionar un canal de Parshall con las siguientes dimensiones largo: 0,305m, ancho: 0,178m, alto: 0,57m y también un Floculador rectangular de ancho: 2,75m largo: 3,34m volumen: 7,14l ya que esto servirá para la inyección y mezclado de los coagulantes químicos PAC y CAL.

La caracterización del agua tratada con el tratamiento propuesto analizados en un laboratorio certificado son: dureza(176mg/L), calcio(42mg/L), sulfatos(91mg/L) y en comparación con los datos del tratamiento actual dureza(520mg/L), calcio(144mg/L) y sulfatos(540mg/L), los resultados del tratamiento propuesto son más bajos y se encuentran cumpliendo los parámetros establecidos con la norma INEN 1108:2006, OMS y TULSMA.

3.5.5 Conclusiones

- Se diagnosticó el estado actual del sistema de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha mediante una visita técnica en la cual se observó las etapas de tratamiento que consta de: captación, sedimentación, filtración, desinfección y distribución observando así que el equipo de filtración se encuentra en estado defectuoso.
- Se efectuó la caracterización físico-química y microbiológica del agua captada y del agua que se consume actualmente donde se determinó que existen ciertos parámetros fuera de la norma: en el agua captada tenemos, conductividad, dureza, calcio, sulfatos, fluoruros, mientras que en el agua de consumo, dureza, calcio, sulfatos, los cuales deben ser tratados hasta cumplir los límites máximos permisibles establecidos por NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006 y Calidad del Agua Potable de la OMS, TULSMA.
- Se identificó los parámetros que se encuentran fuera de los límites establecidos por la Norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006 y Calidad del Agua Potable de la OMS, TULSMA los cuales son: dureza 624 mg/L, calcio 166,4 mg/L y sulfatos 990 mg/L, los parámetros mencionados deben ser sometidos a un nuevo proceso de tratabilidad.
- Mediante las pruebas de tratabilidad se estableció como alternativa más adecuada para mejorar la calidad de agua de sistema de tratamiento del cantón Mocha el uso de Policloruro de aluminio y cal así como también dimensionar un canal de Parshall con las siguientes dimensiones largo: 0,305m, ancho: 0,178m, alto: 0,57m y también un Floculador rectangular de ancho: 2,75m largo: 3,34m volumen: 7,14m³ para la inyección y mezclado de los mismos.
- Se identificaron las variables de proceso para el rediseño de la planta de tratamiento entre las más importantes como el caudal de captación: 14,69l/s, población futura (15 años): 6104 habitantes, dotación básica: 47,33l/habitante.día, y dotación futura: 103,18l/habitante.día.
- Se realizaron los respectivos cálculos de ingeniería para el rediseño de la planta de tratamiento de agua potable del Cantón Mocha, de acuerdo a los resultados obtenidos en las pruebas de tratabilidad se rediseñó un sistema de mezclado que consiste en un

Canal de Parshall y Floculador donde se efectuarán los procesos de Coagulación y Floculación.

- La optimización de la Planta de Tratamiento se validó con los resultados de los parámetros que son: Dureza 190 mg/L, Calcio 64 mg/L, Sulfatos 180 mg/L y los parámetros a controlar son pH 6,59 y turbiedad 1,4 UNT, todos estos valores se encuentran dentro de la norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006, Calidad del Agua Potable, del OMS y el TULSMA.
- Se utilizó la norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2006 debido a que la norma NTE INEN – REQUISITOS 1108: 2014 se encuentra reducida algunos parámetros especialmente la dureza debido a esto no se pudo utilizar la norma actualizada.

3.5.6 Recomendaciones

- Implementar el uso de PAC y Cal en el sistema de agua potable del cantón Mocha con las concentraciones adecuadas mediante el estudio realizado de la optimización.
- Se recomienda implementar un canal de Parshall y un Floculador para la dosificación y mezclado de los agentes químicos.
- Adquirir un nuevo filtro debido a que se encuentra en estado deterior.
- Realizar caracterizaciones periódicas del agua potable y mantenimiento de los equipos.
- Se recomienda realizar un estudio de rediseño para complementar el proceso de tratabilidad del sistema de agua potable del cantón Mocha.

BIBLIOGRAFÍA

CAÑADAS, L. *El Mapa Bioclimático y Ecológico del Ecuador. MAG – PRONAREG.* Quito – Ecuador. 1983.

CORDOVA. A CHRISTIAN.R. *Optimización del sistema del tratamiento de agua potable cantón Tisaleo.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Riobamba-Ecuador. 2014.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3660/1/96T00275%20UDCTFC.pdf>

CRISTIAN R. YANQUI U. *Diseño del sistema de tratamiento de agua potable de la cabecera parroquial de Columbe cantón Colta.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Química. Pp 1

ESTRADA. T JOSÉ. J. *Diseño de una planta portátil potabilizadora de agua de 50 metros cúbicos por día.* (Tesis de grado). Escuela Superior Politécnica del Litoral. Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la producción. Guayaquil-Ecuador. 2011

http://www.cib.espol.edu.ec/digipath/d_tesis_pdf/d-91726.pdf

EFEMERIDES, 23 de julio de 1860. <http://www.efemerides.ec/1/julio/tungu.htm>

GUANANGA P. ANA C. *Optimización de la planta de tratamiento de agua potable del cantón Cevallos (tesis de pregrado).* Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ingeniería Químicas. Riobamba-Ecuador. 2013.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3108/1/96T00227.pdf>

IDROVO CECIVEL. *Optimización de la planta de tratamiento de Uchupucun.* (Tesis de grado). Universidad de Cuenca. Facultad de Ciencias Químicas. Escuela de Bioquímica y Farmacia. Cuenca-Ecuador. 2010

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2426/1/tq1066.pdf>

L. CÁNENA DE VARGAS. *Floculadores Hidráulicos* [en línea]. 209. [Consulta: 12 noviembre 2014]. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/scan/014991/014991-04.pdf>

PESANTES. T ITAYA. E *Optimización del sistema de tratamiento de agua potable de la planta san Lorenzo del cantón Chimbo.* (Tesis de grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2013.

<http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3114/1/96T00233.pdf>

ROMERO, J (2009). *Calidad del Agua*. Bogotá - Colombia. Editorial Escuela Colombia de Ingeniería. Pp: 338-372

SALAZAR, Lorena. *Diseño de una Planta Potabilizadora* [en línea]. Bogotá-Colombia UNAD, 2012. [Consulta: 7 noviembre 2015]. Disponible en:

http://datateca.unad.edu.co/contenidos/358040/Contenido_en_linea_Disenio_de_Plantas_Potabilizadoras/ficha_tcnica.html

UVIDIA ÄSSLER, Johana Elizabeth. *Optimización De La Planta De Tratamiento De Agua Potable De La Ciudad De Chambo* (tesis de pregrado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Facultad de Ciencias. Escuela de Ciencias Químicas. Riobamba-Ecuador. 2013. pp. 10-18. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/3203/1/96T00237.pdf>

ANEXOS Y APÉNDICES

Anexo A. Pruebas de tratabilidad



Anexo B. Informe de los análisis físicos-químicos del agua cruda del sistema de potabilización del cantón Mocha

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 15-02-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

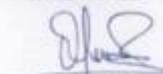
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	10
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.3
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	850
Turbiedad	UNT	5	0.9
Cloruros	mg/L	250	38
Dureza	mg/L	200	664
Calcio	mg/L	70	178
Magnesio	mg/L	30 - 50	39
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	130
Sulfatos	mg/L	200	840
Nitritos	mg/L	0.2	0.095
Nitratos	mg/L	50	0.9
Fluoruros	mg/L	1.5	0.93
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.19
Manganeso	mg/L	0.4	0.085
Sólidos Disueltos	mg/L	500	450

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 27-01-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

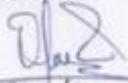
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	14
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.5
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	960
Turbiedad	UNT	5	1.18
Cloruros	mg/L	250	42
Dureza	mg/L	200	640
Calcio	mg/L	70	175
Magnesio	mg/L	30 - 50	42
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	120
Sulfatos	mg/L	200	910
Nitritos	mg/L	0.2	0.025
Nitratos	mg/L	50	1.9
Fluoruros	mg/L	1.5	1.2
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.22
Manganeso	mg/L	0.4	0.085
Sólidos Disueltos	mg/L	500	480

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.

Atentamente.


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS ESPOCH



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 04-02-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	12
pH	Unid	6.5 - 8.5	7.45
Conductividad	µSiems/cm	< 1250	1040
Turbiedad	UNT	5	1.68
Cloruros	mg/L	250	35
Dureza	mg/L	200	684
Calcio	mg/L	70	180
Magnesio	mg/L	30 - 50	45
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	180
Sulfatos	mg/L	200	990
Nitritos	mg/L	0.2	0.006
Nitratos	mg/L	50	0.9
Fluoruros	mg/L	1.5	0.93
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.29
Manganeso	mg/L	0.4	0.099
Sólidos Disueltos	mg/L	500	450

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.

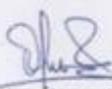
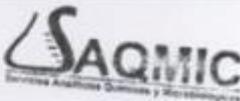
Atentamente.

Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





Contáctanos: 0993387300 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA			
			CÓDIGO 009-16
CLIENTE: Fabián Velasco			
UBICACION: Cantón Mocha			
TIPO DE MUESTRA: Agua de cruda de vertiente			
FECHA DE RECEPCIÓN: 29 de febrero de 2016			
FECHA DE MUESTREO: 29 de febrero de 2016			
EXAMEN FISICO			
COLOR: incolora			
OLOR: inolora			
ASPECTO: Transparente			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	20
Coliformes fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	Ausencia
NORMA INEN 1108 PARA AGUA POTABLE			
OBSERVACIONES:			
FECHA DE ANÁLISIS: 29 de febrero de 2016			
FECHA DE ENTREGA 3 de marzo de 2016			
RESPONSABLE:			
 Dra. Gina Álvarez R.			
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			



Contáctanos: 0993387300 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA

CÓDIGO 004-16

CLIENTE: Fabián Velasco

UBICACION: Cantón Mocha

TIPO DE MUESTRA: Agua cruda

FECHA DE RECEPCIÓN: 4 de febrero de 2016

FECHA DE MUESTREO: 4 de febrero de 2016

EXAMEN FISICO

COLOR: incolora

OLOR: inolora

ASPECTO: Transparente

PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1,1	240
Coliformes fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1,1	25

NORMA INEN 1108 PARA AGUA POTABLE

OBSERVACIONES:

FECHA DE ANÁLISIS: 4 de febrero de 2016

FECHA DE ENTREGA: 7 de febrero de 2016

RESPONSABLE:

Dra. Gina Álvarez R.



El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.



Contáctanos: 0993387300 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA			
			CÓDIGO 007-16
CLIENTE: Fabián Velasco			
UBICACION: Cantón Mocha			
TIPO DE MUESTRA: Agua cruda			
FECHA DE RECEPCIÓN: 15 de febrero de 2016			
FECHA DE MUESTREO: 15 de febrero de 2016			
EXAMEN FISICO			
COLOR: incolora			
OLOR: inolora			
ASPECTO: Transparente			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	180
Coliformes fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	30
NORMA INEN 1108 PARA AGUA POTABLE			
OBSERVACIONES:			
FECHA DE ANÁLISIS: 15 de febrero de 2016			
FECHA DE ENTREGA: 20 de febrero de 2016			
RESPONSABLE:			
 Dra. Gina Álvarez R.			
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			

Anexo D. Informe de los análisis físico-químicos del agua potable del cantón Mocha

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco
Fecha de Análisis: 15-02-2016
Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.
Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACION

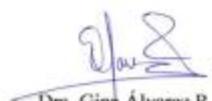
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	10
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.94
Conductividad	µSiems/cm	< 1250	890
Turbiedad	UNT	5	0.74
Cloruros	mg/L	250	16.02
Dureza	mg/L	200	520
Calcio	mg/L	70	144
Magnesio	mg/L	30 - 50	38.8
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100
Sulfatos	mg/L	200	540
Nitritos	mg/L	0.2	0.003
Nitratos	mg/L	50	0.6
Fluoruros	mg/L	1.5	0.91
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.22
Manganeso	mg/L	0.4	0.055
Sólidos Disueltos	mg/L	500	470

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: *Valores Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.*

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 27-01-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACION

Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	9.0
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.99
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	700
Turbiedad	UNT	5	0.54
Cloruros	mg/L	250	12.03
Dureza	mg/L	200	480
Calcio	mg/L	70	121.6
Magnesio	mg/L	30 - 50	42.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100
Sulfatos	mg/L	200	830
Nitritos	mg/L	0.2	0.003
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.52
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.26
Manganeso	mg/L	0.4	0.065
Sólidos Disueltos	mg/L	500	370

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores de Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 04-02-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACION

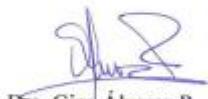
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	8.0
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.75
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	800
Turbiedad	UNT	5	0.58
Cloruros	mg/L	250	25
Dureza	mg/L	200	624
Calcio	mg/L	70	166.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	49.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	120
Sulfatos	mg/L	200	990
Nitritos	mg/L	0.2	0.005
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.83
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.29
Manganeso	mg/L	0.4	0.079
Sólidos Disueltos	mg/L	500	420

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: *Valores Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.*

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 04-02-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACION

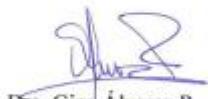
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	8.0
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.75
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	800
Turbiedad	UNT	5	0.58
Cloruros	mg/L	250	25
Dureza	mg/L	200	624
Calcio	mg/L	70	166.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	49.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	120
Sulfatos	mg/L	200	990
Nitritos	mg/L	0.2	0.005
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.83
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.29
Manganeso	mg/L	0.4	0.079
Sólidos Disueltos	mg/L	500	420

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: *Valores Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.*

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703 Telefax: 2998 200 ext 332 Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 04-02-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

TRABAJO DE TITULACION

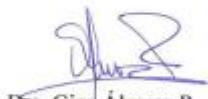
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	8.0
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.75
Conductividad	μSiems/cm	< 1250	800
Turbiedad	UNT	5	0.58
Cloruros	mg/L	250	25
Dureza	mg/L	200	624
Calcio	mg/L	70	166.4
Magnesio	mg/L	30 - 50	49.5
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	120
Sulfatos	mg/L	200	990
Nitritos	mg/L	0.2	0.005
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.83
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.29
Manganeso	mg/L	0.4	0.079
Sólidos Disueltos	mg/L	500	420

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: *Valores Dureza, Calcio, Sulfatos fuera de norma.*

Atentamente.

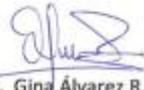


Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





Contáctanos: 0993387300 - 032924322
Av. 11 de Noviembre y Milton Reyes Riobamba – Ecuador

EXAMEN MICROBIOLÓGICO DE AGUA			
CLIENTE: Fabián Velasco			CÓDIGO 026-16
UBICACION: Cantón Mocha			
TIPO DE MUESTRA: Agua tratada			
FECHA DE RECEPCIÓN: 28 de abril de 2016			
FECHA DE MUESTREO: 28 de abril de 2016			
EXAMEN FISICO			
COLOR: incolora			
OLOR: inolora			
ASPECTO: Transparente			
PARÁMETROS	MÉTODO	VALOR REFERENCIAL	RESULTADO
Coliformes totales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	Ausencia
Coliformes fecales UFC/100ml	Filtración por membrana	<1.1	Ausencia
NORMA INEN 1108 PARA AGUA POTABLE			
OBSERVACIONES:			
FECHA DE ANÁLISIS: 28 de abril de 2016			
FECHA DE ENTREGA: 10 de mayo de 2016			
RESPONSABLE:			
 Dra. Gina Álvarez R. 			
El informe sólo afecta a la muestra solicitada a ensayo, el informe no deberá reproducirse sino en su totalidad previo autorización de los responsables.			

Anexo F. Informe de los análisis físico, químico y microbiológico con el tratamiento propuesto

ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 28-03-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

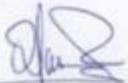
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	6
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.88
Conductividad	μ Siems/cm	< 1250	700
Turbiedad	UNT	5	1.4
Cloruros	mg/L	250	12.03
Dureza	mg/L	200	190
Calcio	mg/L	70	65
Magnesio	mg/L	30 - 50	42.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100
Sulfatos	mg/L	200	180
Nitritos	mg/L	0.2	0.003
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.52
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.26
Manganeso	mg/L	0.4	0.065
Sólidos Disueltos	mg/L	500	370

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores dentro de norma.

Atentamente,


Dra. Gina Álvarez R.

RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS



ESPOCH

LABORATORIO DE ANÁLISIS TÉCNICOS
FACULTAD DE CIENCIAS

Casilla 06-01-4703

Telefax: 2998 200 ext 332

Riobamba - Ecuador

INFORME DE ANÁLISIS DE AGUAS

Análisis solicitado por: Fabián Velasco

Fecha de Análisis: 28-03-2016

Tipo de muestras: Agua para consumo doméstico.

Localidad: Cantón Mocha - Provincia de Tungurahua

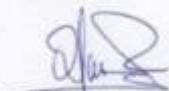
Análisis Físico-Químico

Determinaciones	Unidades	*Límites	Resultados
Color	und Co/Pt	< 15	6
pH	Unid	6.5 - 8.5	6.88
Conductividad	µSiems/cm	< 1250	700
Turbiedad	UNT	5	1.4
Cloruros	mg/L	250	12.03
Dureza	mg/L	200	190
Calcio	mg/L	70	65
Magnesio	mg/L	30 - 50	42.7
Alcalinidad	mg/L	250 - 300	100
Sulfatos	mg/L	200	180
Nitritos	mg/L	0.2	0.003
Nitratos	mg/L	50	0.4
Fluoruros	mg/L	1.5	0.52
Fosfatos	mg/L	< 0.30	0.26
Manganeso	mg/L	0.4	0.065
Sólidos Disueltos	mg/L	500	370

* Valores referenciales para aguas de consumo doméstico

Observaciones: Valores dentro de norma.

Atentamente.



Dra. Gina Álvarez R.
RESP. LAB. ANÁLISIS TÉCNICOS





LABORATORIO DE SERVICIOS AMBIENTALES

Laboratorio de ensayo acreditado por el OAE con acreditación No. OAE LE C 12-006

N° SE: 032-16



INFORME DE ANALISIS

NOMBRE: Sr. Fablán Velasco INFORME N° 032-16
EMPRESA: Proyecto de Tesis ESPOCH N° SE: 032-16
DIRECCIÓN: Mocha
TELÉFONO: 0984600937
NÚMERO DE MUESTRAS: 1, Agua de consumo, Cantón Mocha
IDENTIFICACIÓN: MA - 063-16

FECHA DE RECEPCIÓN: 24 - 05 - 16
FECHA DE INFORME: 26 - 05 - 16
TIPO DE MUESTRA: Agua

El laboratorio se responsabiliza solo del análisis, no de las muestras.

RESULTADO DE ANÁLISIS

MA - 063-16

PARÁMETROS	UNIDADES	MÉTODO/PROCEDIMIENTO	RESULTADO	U(K=2)	FECHA DE ANÁLISIS
pH	[H ⁺]	PE-LSA-01	6.79	+/- 0.06	24 - 05 - 16
Conductividad	µS/cm	PE-LSA-02	457	+/- 8 %	24 - 05 - 16
* Turbiedad	FTU - NTU	STANDARD METHODS 2130 B	0.33	N/A	24 - 05 - 16
* Color	Upt-co	STANDARD METHODS 2120 C	1	N/A	24 - 05 - 16
* Dureza Total	mg CaCO ₃ /l	STANDARD METHODS 2340 - C	176	N/A	24 - 05 - 16
* Calcio	mg/l	STANDARD METHODS 3500 Ca 3111B	42	N/A	24 - 05 - 16
* Sulfatos	mg/l	STANDARD METHODS 4500 SO ₄ -E	91	N/A	24 - 05 - 16

MÉTODOS UTILIZADOS: Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA, AWWA, WPCF, STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN y métodos HACH adaptados del STANDARD METHODS 21ª EDICIÓN

RESPONSABLES DEL ANÁLISIS:

Dr. Juan Carlos Lara
Benito Mendoza T., Ph.D.


Dr. Juan Carlos Lara R.
TÉCNICO L.S.A.

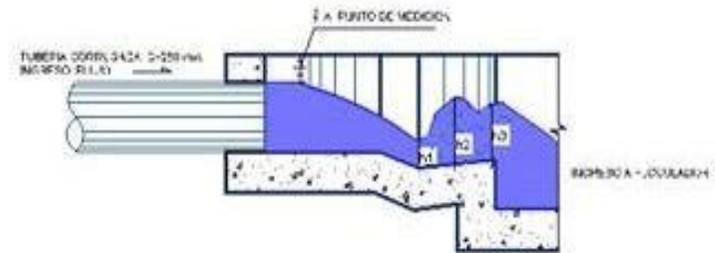
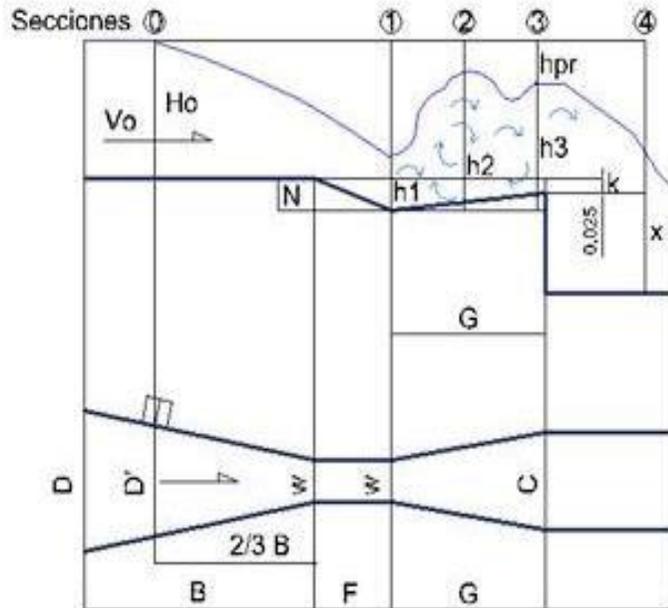
-Los resultados de este informe corresponden únicamente a la(s) muestra(s) analizada(s).
- Los ensayos marcados con (*) no se encuentran dentro del alcance de acreditación del SAE.
-Se prohíbe la reproducción parcial de este informe sin la autorización del laboratorio.

Página 1 de 1

FMC2101-01

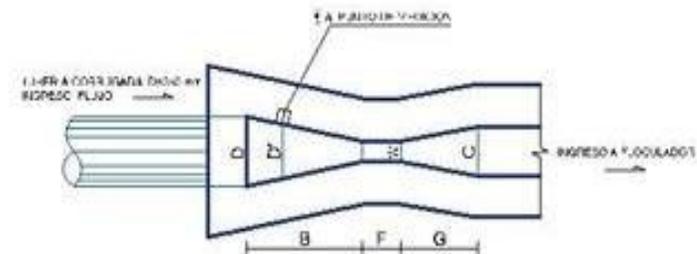
L.S.A. Campus Máster Edison Riera Km 1 1/2 vía a Guano Bloque Administrativo.

Anexo G. Planos del sistema de mezclado



CANAL DE PARSHALL FLUJO

ESC.....1:10

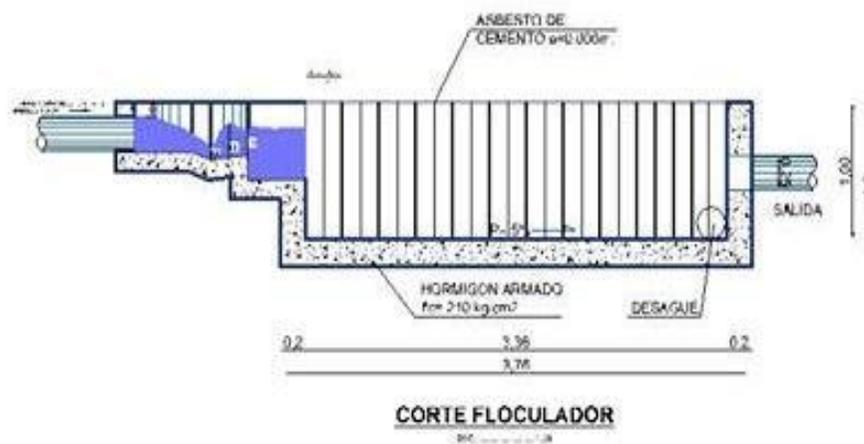
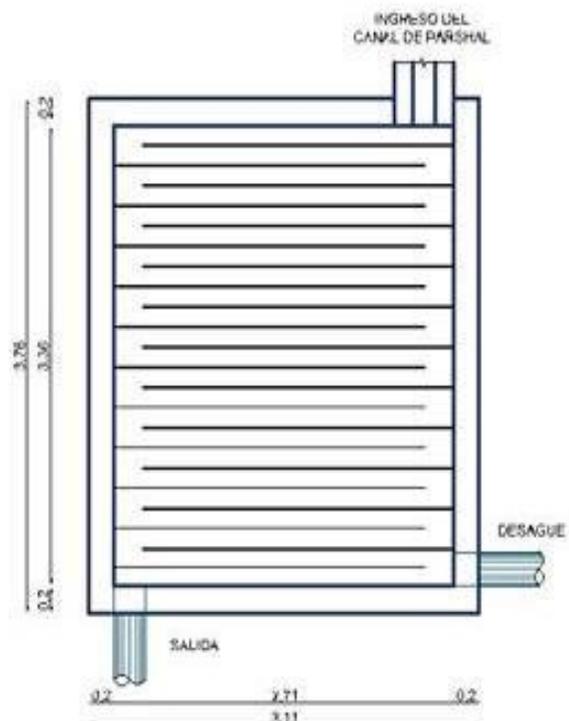


CANAL DE PARSHALL

ESC.....1:10

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA <input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Informacion	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA LEONARDO FABIAN VELASCO CAISAGUANO	CANAL DE PARSHALL		
			Láminas	Escala	Fecha
			1/2	LAS INDICADAS	2016-06-07

PLANTA Y CORTE CANAL DE PARSHALL



CORTE FLOCULADOR

NOTAS	CATEGORIA DEL DIAGRAMA	ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA LEONARDO FABIAN VELASCO CAISAGUANO	FLOCULADOR		
PLANTA Y CORTE FLOCULADOR	<input type="checkbox"/> Certificado <input type="checkbox"/> Por Eliminar <input checked="" type="checkbox"/> Aprobado <input type="checkbox"/> Por Aprobar <input type="checkbox"/> Por Calificar <input type="checkbox"/> Para Información		Láminas	Escala	Fecha
			2/2	LAS INDICADAS	2016-06-07

Anexo H. Normas INEN 1108:2006

El agua potable debe cumplir con los requisitos que se establecen a continuación:

PARAMETRO	UNIDAD	Límite máximo permitido
Características físicas		
Color	Unidades de color aparente	15
Turbiedad	(Pt-Co) NTU	5
Olor	---	no objetable
Sabor	---	no objetable
Ph	---	6,5 – 8,5
Sólidos totales disueltos	---	1000
Inorgánicos		
Aluminio, Al	mg/l	0,25
Amonio, (N-NH ₃)	mg/l	1,0
Antimonio, Sb	mg/l	0,02
Arsénico, As	mg/l	0,01
Bario, Ba	mg/l	0,7
Boro, B	mg/l	0,5
Cadmio, Cd	mg/l	0,003
Cianuros, CN ⁻	mg/l	0,07
Cloro libre residual	mg/l	0,3 a 1,5 ¹⁾
Cloruros, Cl	mg/l	250
Cobalto, Co	mg/l	0,20
Cobre, Cu	mg/l	2,0
Cromo, Cr	mg/l	0,05
Dureza total, CaCO ₃	mg/l	300
Estaño, Sn	mg/l	0,1
Flúor, F	mg/l	1,5
Fosforo, (P-PO ₄)	mg/l	0,1
Hierro, Fe	mg/l	0,3
Litio, Li	mg/l	0,2
Manganeso, Mn	mg/l	0,4
Mercurio, Hg	mg/l	0,006
Molibdeno, Mo	mg/l	0,07
Níquel, Ni	mg/l	0,02
Nitratos, NO ₃	mg/l	50
Nitritos, NO ₂	mg/l	0,2
Plata, Ag	µg/l	0,13
Plomo, Pb	mg/l	0,01
Potasio, K	mg/l	20
Radiación total α *	Bq/l	0,1
Radiación total β **	Bq/l	1,0
Selenio, Se	mg/l	0,01
Sodio, Na	mg/l	200
Sulfatos, SO ₄	mg/l	200
Vanadio, V	µg/l	6
Zinc, Zn	mg/l	3
¹⁾ Es el rango en el que debe estar el cloro libre residual luego de un tiempo mínimo de contacto de 30 minutos * Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ²¹⁰ Po, ²²⁴ Ra, ²²⁶ Ra, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁸ U, ²³⁹ Pu. ** Corresponde a la radiación emitida por los siguientes radionucleidos: ⁶⁰ Co, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Sr, ¹²⁹ I, ¹³¹ I, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs		

Sustancias Orgánicas

Parámetros	Unidad	Límite máximo permitido
Alcanos clarinados		2
Tetracloruro de carbono		20
Diclorometano	µg/l	30
1,2 dicloetano		2000
1,1,1 - tricloetano		
Etanos clorinados		
Cloruro de vinilo		5
1,1 dicloroetano	µg/l	30
1,2 dicloroetano		50
Tricloroetano		70
Tetracloroetano		40
Hidrocarburos aromáticos		
Benceno		10
Tolueno		170
Xileno	µg/l	500
Etilbenceno		200
Estireno		20
Hidrocarburos totales de petróleo (HTP)	µg/l	0,3
Hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs)		
Benzo (a)pireno		0,01
Benzo (a)fluoranteno	µg/l	0,03
Benzo (k) fluoranteno		0,03
Benzo (ghi)pirileno		0,03
Indeno (1,2,3-cd)pireno		0,03
Benceno clorinados		
Monoclorobenceno		300
1,2-diclorobenceno	µg/l	1000
1,3-diclorobenceno		
1,4-diclorobenceno		300
Triclorobenceno (total)		20
di(2-etilhexil)adipato	µg/l	80
di(2-etilhexil)ftalato	µg/l	8
Acrilamida	µg/l	0,5
Epiclorohidrin	µg/l	0,4
Hexaclorobutadieno	µg/l	0,6
Ácido nitrotriácético EDTA	µg/l	200
Ácido nitrotriácético	µg/l	200
Dialquil	µg/l	
Oxido tributiltin	µg/l	2

Pesticidas

Parámetro	Unidad	Límites máximos permisibles
Alaclor	µg/l	20
Aldicarb	µg/l	10
Aldrin/dieldrin	µg/l	0,03
Atrazina	µg/l	2
Bentazona	µg/l	30
Carbofuran	µg/l	5
Clordano	µg/l	0,2
Clorotoluron	µg/l	30
Diclorodifeniltricloroetano DDT	µg/l	2
1,2-dibromo-3-cloropropano	µg/l	1
2,4-ácido diclorofenoxiacético 2,4-D	µg/l	30
1,2-dicloropropano	µg/l	20
1,3- dicloropropeno	µg/l	20
Heptacloro y heptacloro epoxi de etilendibromide	µg/l	0,03
Hexaclorobenceno	µg/l	1
Isoproturon	µg/l	9
Lindano	µg/l	2
Acido 4-cloro-2-metilfenoxiacético MCPA	µg/l	2
Metoxycloro	µg/l	10
Molinato	µg/l	6
Pendimetalin	µg/l	20
Pentaclorofenol	µg/l	9
Permetrin	µg/l	20
Propanil	µg/l	20
Piridato	µg/l	100
Simazina	µg/l	2
Trifluralin	µg/l	20
Herbicidas clorofenoxi, diferentes a 2,4-D y MCPa 2,4-DB	µg/l	90
Dicloroprop	µg/l	100
Fenoprop	µg/l	9
Acido 4-cloro-2-metilfenoxibutirico MCPB	µg/l	2
Mecoprop	µg/l	10
2,4,5-T	µg/l	9

Residuos de desinfectantes

Parámetro	Unidad	Límites máximos permisibles
Monocloramina, di y tricloramina	µg/l	3
Cloro	µg/l	5

Subproductos de desinfección

Parámetro	Unidad	Límites máximos permisibles
Bromato	µg/l	25
Clorito	µg/l	200
Clorofenoles 2,4,6-triclorofenol	µg/l	200
Formaldehído	µg/l	900
Trihalometanos Bromoformo Diclorometano cloroformo	µg/l	100 100 60 200
Ácidos acéticos clorinados Ácido dicloroacético Ácido tricloroacético	µg/l	50 100
Hidrato clorado Tricloroacetaldehído	µg/l	10
Acetonitrilos halogenados Dicloroacetonitrilo Dibromoacetonitrilo Tricloroacetonitrilo	µg/l	90 100 1
Cianógeno clorado (como CN)	µg/l	70

Requisitos microbiológicos

Parámetros	Máximos
Coliformes totales (1) NMP/100 ml	< 2*
Coliformes fecales NMP/100 ml	< 2*
Criptosporidium número de quistes //100 litros	Ausencia
Giardia Lamblia número de quistes/100 litros	Ausencia
<p>< 2* significa que en una serie de 9 tubos ninguno es positivo</p> <p>(1) en el caso de los grandes sistemas de abastecimiento, cuando se examinen suficientes muestras, deberá dar ausencia en el 95 % de las muestras, tomadas durante cualquier periodo de 12 meses.</p>	